

บทที่ 1

บทนำ



## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

### 1.1.1 นิเวศวิทย์เทคโนโลยีกับวิกฤตการณ์พลังงาน

การพัฒนานิเวศวิทย์เทคโนโลยีไปในทิศทางที่สามารถพึ่งตนเองได้ ทั้งทางวัตถุดิบ, เครื่องมือ และความสามารถทางเทคนิค นับว่าเป็นความจำเป็นที่ระดับประเทศต้องกระทำกันในประเทศไทย เพื่อรองรับความต้องการด้านพลังงานในแผนระยะยาว โดยมูลเหตุที่ว่าข้อมูลความรู้ทางเทคนิคไม่อาจเสาะแสวงหามาได้ในเวลาอันสั้น และยังเป็นความลับทางอุตสาหกรรมนิเวศวิทย์ ตลอดจนมีข้อจำกัดระหว่างประเทศ จึงจำเป็นต้องส่งเสริมเป็นขั้นบันได ซึ่งต้องใช้เวลานานนับเป็นทศวรรษทีเดียว และประเทศไทยกำลังพัฒนาไปสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรมตามแผนพัฒนาฉบับที่ 5 ต่อกับฉบับที่ 6 ซึ่งจะต้องบริโภคพลังงานเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 7% ต่อปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งความต้องการพลังงานไฟฟ้าในรอบทศวรรษที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 13% ต่อปี แม้ว่าเราจะขุดค้นพบแหล่งน้ำมันและก๊าซธรรมชาติทั้งในอ่าวไทยและใต้ดินที่กำแพงเพชรและขอนแก่น แต่กำลังผลิตที่คาดการณ์ไว้แต่แรก ก็กลับได้น้อยกว่าที่คำนวณไปมาก ถึงแม้จะหันเหไปใช้ถ่านลิกไนต์ ก็ยังประสบปัญหาเกี่ยวกับปริมาณที่มีอยู่จำกัดและยังก่อให้เกิดมลพิษทั้งจากเถ้าถ่าน คาร์บอนและสารกำมะถันตรงสียอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งพิจารณาโดยสรุปแล้วภายในสองทศวรรษข้างหน้า แหล่งพลังงานต่างๆภายในประเทศเท่าที่ใช้กันในปัจจุบันจะ เหลือ เล็กน้อยจนไม่พอ เพียงต่อความต้องการบริโภค ความหวังที่ยัง เรืองรองให้ใช้ได้ต่อไปก็คือ พลังงานจาก เชื้อเพลิงนิเวศวิทย์ที่สำรวจกันแล้วว่าพอจะมีแหล่งอยู่ในประเทศไทย ทั้งสินแร่ยูเรเนียมและโมนาไซต์ซึ่งมีหอ เรียม เป็นวัสดุเชื้อเพลิงนิเวศวิทย์

ตารางที่ 1.1

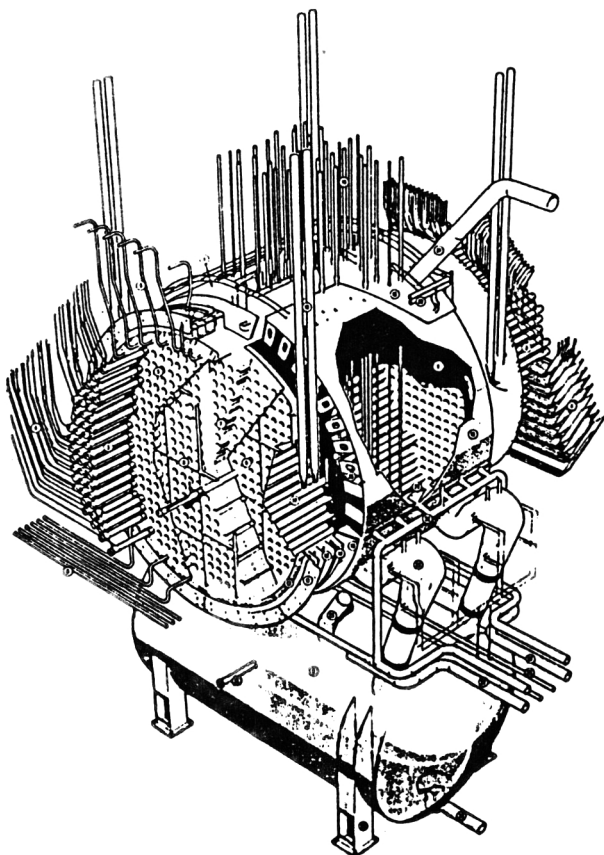
อุปสงค์การใช้พลังงานในอนาคตของประเทศไทย ซึ่งคาดการณ์โดยการพลังงานแห่งชาติ

พ.ศ.	หน่วย: ล้านลิตรน้ำมันดิบ
2527	19,920.97
2528	21,618.06
2529	23,288.32
2530	24,581.05
2531	25,939.20
2532	27,345.56
2533	29,923.44
2534	30,920.16
2535	32,454.29
2536	34,087.61
2537	35,876.47
2538	37,764.49
2539	39,749.76
2540	41,854.11
2541	44,086.91
2542	46,449.33
2543	48,959.53

การพัฒนานิวเคลียร์เทคโนโลยีในประเทศไทยได้กระทำติดต่อกันมาในสถาบันต่างๆหลายปี อาทิ เช่น ที่ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ และที่กองปรมาณู การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยต่างหน่วยต่างก็ศึกษาค้นคว้าทดลองกันไปในทิศทางของตนเอง ยังไม่มีการรวมตัวกันที่จะมีแผนแม่บท เป็นนโยบายระดับชาติที่จะมุ่งไปสู่การพัฒนานิวเคลียร์เทคโนโลยีเพื่อการพึ่งตนเองอย่าง เป็นขั้นตอนที่ให้นำพลังงานชนิดนี้มาใช้ประโยชน์ให้ได้ในที่สุด ดังเช่นที่กระทำกันในประเทศที่กำลังพัฒนาหลายๆประเทศ ได้แก่ อินเดีย ปากีสถาน อาร์เจนตินา เกาหลี โรมานีเยา ฯลฯ ประเทศเหล่านี้ล้วนมีปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบ PHWR ซึ่งใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมธรรมชาติ และ Heavy water เป็น moderator ด้วยกันทั้งสิ้น

อินเดียเป็นประเทศตัวอย่างของการพัฒนานิวเคลียร์เทคโนโลยีไปสู่การพึ่งตนเองได้ ในที่สุด Dr.Bhabha (1909-1966) ผู้เล็งการณ์ไกล เกี่ยวกับการใช้พลังงานนิวเคลียร์ในทางสันติ ได้ริเริ่มก่อตั้งสถาบันพัฒนานิวเคลียร์เทคโนโลยีในอินเดีย โดยวางแผนการดำเนินการเป็น 3 ขั้น กล่าวคือ ขั้นที่ 1 ใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมไม่มากนักและ heavy water เป็น moderator แต่เนื่องจากอินเดียมีปริมาณยูเรเนียมไม่มากนัก ในขั้นที่ 2 จึงสกัดเอา Plutonium ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากปฏิกรณ์รุ่นแรกไปใช้ใน Fast Breeder Reactor ซึ่งเป็นปฏิกรณ์รุ่นที่ 2 เพื่อนำไปผลิต fissile material คือ  $Pu^{239}$  และ  $U^{233}$  จาก fertile material คือ  $U^{238}$  และ  $Th^{232}$  สำหรับใช้กับปฏิกรณ์ในรุ่นที่สามต่อไป ซึ่งทั้งหมดนี้จะต้องเริ่มต้นด้วยการวิจัยพื้นฐานความรู้ทางนิวเคลียร์เทคโนโลยี ซึ่งบางคนก็วิจารณ์ว่าเปรียบเหมือนการย่ำเท้าตามรอยเดิม แต่ในความเป็นจริงแล้ว เครื่องมือ วัสดุ และ ข้อมูลความรู้เหล่านี้ถูกผูกขาดไว้ในบางประเทศ ซึ่งในยามจำเป็นรีบด่วนก็อาจไม่สามารถซื้อหามาได้ตามความต้องการ จึงจำเป็นต้องพัฒนาขึ้นเอง

อินเดียกับสหรัฐอเมริกาลงนามในสัญญาสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ขนาด 400 MWe ที่ Tarapur ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของ Bombay ไป 70 กิโลเมตร ซึ่งเป็นแบบ light water reactor ต้องใช้เชื้อเพลิงชนิด enriched uranium ในครั้งแรกถึง 40 ตัน และเปลี่ยนเชื้อเพลิงเฉลี่ยปีละ 20 ตัน โดยผลิตและจัดส่งมาจากสหรัฐอเมริกาภายใต้เงื่อนไขข้อกำหนดมากมาย อาทิเช่น อินเดียจะต้องไม่ใช้วัสดุนิวเคลียร์อื่นใดนอกเหนือจากที่สหรัฐอเมริกากำหนดให้ และเชื้อเพลิงจะมีความเข้มข้นของ U-235 ไม่เกิน 20% โดยจัดส่งให้ไม่เกินปีละ 14.5 ตัน ฯลฯ ขณะเดียวกันอินเดียก็ตัดสินใจสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์แบบที่จะนำไปสู่การพึ่งตนเองได้ สถานีแห่งใหม่สร้างขึ้นที่ Kata โดยใช้ปฏิกรณ์แบบ CANDU ขนาด 220 MWe จำนวน 2 เครื่องซึ่งแล้วเสร็จและดำเนินการได้ในปีค.ศ. 1973 แม้ว่าแบบและอุปกรณ์สำคัญจะจัดส่งมาจากแคนาดา แต่อินเดียก็ใช้ส่วนประกอบที่สร้างขึ้นเอง และยังใช้เชื้อเพลิงที่ผลิตเองถึงครึ่งหนึ่งของจำนวนที่ใช้ในการเริ่มต้นเดินเครื่องโดยใช้ยูเรเนียมจากธรรมชาติ และใช้ Heavy Water เป็นทั้ง moderator และ coolant ภายใน calandria tubes เป็นปริมาณถึง 140 ตัน



รูปที่ 1.1

แสดง Calandria ซึ่ง  
บรรจุ Heavy Water



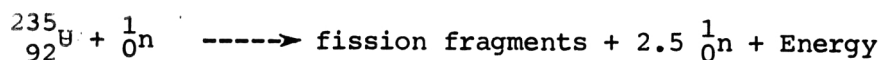


เป็นที่แน่นอนว่า Heavy Water ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในปฏิกรณ์นิวเคลียร์ จะต้องผลิตขึ้นด้วยตนเอง ในการเริ่มต้นเดินเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์แต่ละเครื่องจะต้องใช้ Heavy Water ประมาณ 1 ตัน ต่อทุกๆหน่วยกำลังผลิตไฟฟ้า 1 MWe และจะต้องเติมเข้าไปชดเชยส่วนที่สูญเสียไปเนื่องจากการเดินเครื่อง ประมาณ 5% ของปริมาณเริ่มต้นทุกๆปี ตลอดอายุการใช้งานของตัวปฏิกรณ์ประมาณ 30 ปี ตัวอย่างปฏิกรณ์นิวเคลียร์ขนาด 200 MWe เมื่อคำนวณแล้วจะต้องใช้ Heavy Water ถึง 500 ตัน และกระบวนการผลิต Heavy Water ก็เต็มไปด้วยอุปสรรค เริ่มตั้งแต่ภาวะเงื่อนไขการเดินเครื่องภายใต้ความดันสูง และอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากๆ ต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์พิเศษที่ทนต่อความดัน อุณหภูมิและการกัดกร่อนของสารเคมี ยิ่งไปกว่านั้น คือ อุปกรณ์แต่ละส่วนมีขนาดใหญ่และหนักมาก เช่น โรงงานที่ Baroda ใช้ Tower ขนาดหนักถึง 530 ตัน สูง 33 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.75 เมตร โครงการผลิต Heavy Water ในอินเดียเริ่มต้นมาตั้งแต่ ค.ศ. 1954 ที่ Trombay ซึ่งการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ชี้แนวไปในการใช้กระบวนการที่สร้างโรงงานขึ้นเคียงคู่ไปกับโรงงานผลิตปุ๋ยขนาดใหญ่ใน Punjab ซึ่งมีกำลังผลิตได้ 14 ตัน ต่อปี ขณะเดียวกันที่ Trombay ก็มีการทดลองกระบวนการผลิต Heavy Water แบบต่าง ๆ และหนึ่งในจำนวนนั้น คือ กระบวนการแลกเปลี่ยนไอโซโทประหว่างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับน้ำ ซึ่งทดลองกันถึงระดับ Pilot Plant แล้วนำข้อมูลไปออกแบบโรงงานผลิตขนาด 100 ตัน ที่ Kota โดยใช้ไอน้ำและพลังงานจากปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่สถานีที่สองที่ Kota เอง

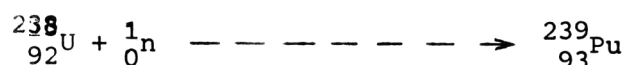
#### 1.1.2 ทิศทางการพัฒนานิวเคลียร์เทคโนโลยีในประเทศไทย

เมื่อพิจารณาข้อมูลความเป็นไปได้ของรูปแบบพลังงานนิวเคลียร์ที่อาจพัฒนาขึ้นในประเทศไทยในลักษณะที่เราสามารถพึ่งตนเองได้ ไม่ว่าจะในด้านเทคโนโลยีหรือวัตถุดิบแล้ว ปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบใช้น้ำชนิดหนัก (Heavy Water Reactor) เป็นแบบที่เหมาะสมที่สุด เพราะใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมธรรมชาติ (Natural Uranium) ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการผลิตความเข้มข้น (Enrichment Process) ซึ่งต้องอาศัยเทคโนโลยีระดับสูงและการลงทุนจำนวนมากมหาศาล

น้ำชนิดหนัก หรือดีวเทอเรียมออกไซด์ ( $D_2O$ ) เป็นสารสำคัญในปฏิกรณ์นิวเคลียร์แบบแตกตัวที่ใช้เชื้อเพลิงยูเรเนียมธรรมชาติ กล่าวคือ ในปฏิกิริยา



การควบคุมให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ จะต้องอาศัยนิวตรอนที่เกิดใหม่วิ่งเข้าสู่นิวเคลียสของยูเรเนียมที่มีอยู่ แต่ทว่าความเร็วและพลังงานของนิวตรอนที่เกิดจากการแตกตัวของนิวเคลียสสูงเกินไป ต้องหน่วงให้ลดลงจนพอเหมาะ ในการนี้จะต้องใช้สารบางชนิดเป็นตัวหน่วง (Moderator) และจากการทดลองปรากฏว่า น้ำชนิดหนักมีคุณสมบัติเป็นตัวหน่วงที่เหมาะสม และยังทำหน้าที่เป็น coolant ที่ดีอีกด้วย นอกจากนี้ ผลพลอยได้จากปฏิกิริยาดังกล่าว ยังเกิดเชื้อเพลิงใหม่ขึ้นด้วย คือ Plutonium ตามปฏิกิริยา



ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในปฏิกรณ์รุ่นต่อไป หรือทำระเบิดนิวเคลียร์ได้

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่า น้ำชนิดหนัก เป็นสารสำคัญชนิดหนึ่งในตัวแหล่งพลังงานนิวเคลียร์ นอกจากนั้นยังเป็นสารที่จะไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบหลอมตัว (Nuclear Fusion Reaction) โดยอาศัยแสงเลเซอร์ ซึ่งเป็นความหวังใหม่ของวิทยาด้านพลังงาน และประเทศไทยก็พอที่จะพัฒนาเทคโนโลยีในด้านนี้ได้เช่นกัน แต่ทว่า การผลิตน้ำชนิดหนัก กระทำกันอยู่ในบางประเทศ นอกเหนือจากราคาแพงมากแล้ว ตามนโยบายควบคุมอาวุธนิวเคลียร์ ทำให้ผู้ผลิตไม่ขายให้แก่ประเทศที่ไม่เป็นลูกค้าปฏิกรณ์นิวเคลียร์ในปริมาณที่มากพอจะเดินเครื่องได้ จึงเห็นว่า ประเทศไทยจำเป็นต้องเริ่มต้นพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตน้ำชนิดหนัก โดยอาศัยวัตถุดิบจากแหล่งในประเทศไทย ซึ่งสำรวจแล้วว่ามียูเรเนียมหลายแหล่งที่อาจเป็นจุดเริ่มต้นได้ เช่น ที่บ่อน้ำร้อนในจังหวัดเชียงใหม่ และน้ำจากแม่น้ำโขง

การพัฒนากระบวนการผลิตน้ำชนิดหนักได้เริ่มต้นมาตั้งแต่ สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 และพัฒนาติดต่อกัน เรื่อยมา ที่กระทำกัน เป็นอุตสาหกรรมแล้วอาศัยหลักการใหญ่ๆ 3 หลักการ คือ การกลั่นลำดับส่วนน้ำ (Fractional Distillation of Water) และการแลกเปลี่ยนที่โดยใช้สาร เร่งปฏิกิริยา (Catalytic Exchange) และการแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีวิธีการอื่น ๆ ที่วิจัยค้นคว้ากันไว้ เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) การกลั่นลำดับส่วนก๊าซไฮโดรเจน (Fractional Distillation of Hydrogen) ฯลฯ และมีการพัฒนากระบวนการแลกเปลี่ยนที่โดยใช้สาร เร่งปฏิกิริยาด้วยการ แลกเปลี่ยนกับแอมโมเนีย เมอร์แคปแทน ฟอสฟิน และไซโคลเฮกเซน เป็นต้น ฯลฯ

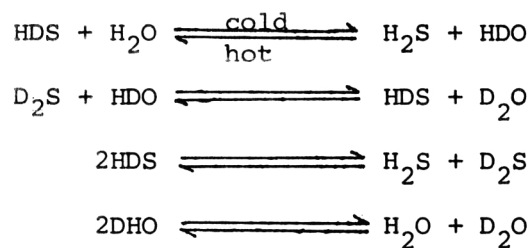
จากข้อมูลการผลิต เท่าที่ค้นคว้าได้จาก เอกสารการวิจัยและสิทธิบัตร ปรากฏว่า การผลิตในขั้นสุดท้าย เพื่อให้ได้น้ำชนิดหนักในระดับนิวเคลียร์ (Nuclear grade) ต้องอาศัยวิธีการแยกสลายน้ำด้วยไฟฟ้า ส่วนขั้นต้นแต่ละแห่งจะใช้วิธีการแตกต่างกันตามความเหมาะสมกับวัตถุดิบ และความเหมาะสมกับต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการผลิต เพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด

#### 1.1.3 ข้อมูลโดยย่อจากการค้นคว้า เอกสารวิจัย เกี่ยวกับการผลิตน้ำชนิดหนัก (Heavy Water)

กระบวนการผลิตน้ำชนิดหนักโดยการกลั่นลำดับส่วนน้ำและการกลั่นลำดับส่วนไฮโดรเจน อาศัยความแตกต่างทางกายของความดันไอของไอโซโทป แต่เนื่องจากการกลั่นลำดับส่วนน้ำ ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากถึงจุดเดือด ส่วนการกลั่นลำดับส่วนไฮโดรเจนก็ต้องใช้อุณหภูมิต่ำมาก ดังนั้นต้นทุนในการผลิตจะแปรตามราคาพลังงาน ณ แหล่งผลิต ซึ่งไม่เหมาะสมกับประเทศไทย เพราะราคารูปแบบพลังงานต่าง ๆ สูงกว่าประเทศอุตสาหกรรมที่มีโรงงานประเภทนี้ ส่วนการแลกเปลี่ยนที่โดยใช้สาร เร่งปฏิกิริยาด้วยการแลกเปลี่ยนที่ระหว่างไฮโดรเจนกับน้ำนั้น มีปัญหาเรื่อง poisoning ของสารเร่งปฏิกิริยา และการ activate สารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เว้นแต่จะมีอุตสาหกรรมประเภทนี้อยู่แล้วในประเทศ การใช้ amine process ก็มีปัญหาเรื่องอาจเกิดระเบิดขึ้นได้ ส่วนวิธีการอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้ว ยังอยู่ในขั้นการวิจัยปรับปรุงประสิทธิภาพ

วิธีการที่ได้รับการพัฒนามามากพอสมควรได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอโซโทปโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิจน 2 กระบวนการ และการใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวแลกเปลี่ยนวิธีการดังกล่าวนี้จัดได้ว่าเป็นวิธีการที่ economic ที่สุด ผู้จดสิทธิบัตรดังกล่าวไว้คือ Jerome Spevack และมีผู้พัฒนาแต่ละขั้นตอนในกระบวนการดังกล่าวเพิ่มเติมมาอีกมาก เช่น Dale Bablock, Jomar Brun, V.R.Thayer, etc.

สำหรับประเทศไทย เมื่อพิจารณาจากต้นทุนพลังงานที่จะใช้ในการผลิตตลอดจนวัตถุดิบที่มีอยู่ในประเทศแล้ว กระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่สุด คือการผลิตน้ำชนิดหนักโดยการแลกเปลี่ยนไอโซโทปกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยอาศัยปฏิกิริยา ดังนี้



กระบวนการผลิตดังกล่าวนี้ประกอบด้วยขั้นตอนมูลฐาน 4 ขั้นตอน คือ

1. การผ่านน้ำสวนทางกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในถังปฏิกิริยาที่ควบคุมอุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 30°C)
2. การให้ความร้อนแก่น้ำและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จนอุณหภูมิสูงถึงที่กำหนด (ประมาณ 130°C) โดยใช้อุปกรณ์ให้ความร้อนที่ออกแบบไว้
3. การผ่านน้ำและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สวนทางกันในถังปฏิกิริยาที่ควบคุมอุณหภูมิสูง (ประมาณ 130°C)
4. การหล่อเย็นของไหลทั้งสองชนิดในอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนที่ออกแบบไว้ แล้วผ่านก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กลับคืนสู่ถังปฏิกิริยาเย็น และอีกส่วนหนึ่งไปสู่ถังปฏิกิริยาร้อน

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อพัฒนากระบวนการผลิตน้ำชนิดหนักในรูปแบบที่เหมาะสมขึ้นในประเทศไทย
- 1.2.2 เพื่อให้ทราบเงื่อนไขตัวแปรและข้อมูลทางเทคนิคทั้งในด้านการสร้าง เครื่องมือ และควบคุมตัวแปรการผลิต

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาข้อมูลจาก เอกสารวิจัยและสิทธิบัตร เกี่ยวกับการผลิตน้ำชนิดหนักแบบต่างๆ
- 1.3.2 ออกแบบ เครื่องมือและชิ้นส่วนวงจรควบคุมตัวแปร
- 1.3.3 สร้างและประกอบชุด เครื่องมือ
- 1.3.4 ดำเนินการทดลอง เพื่อ เก็บข้อมูลการผลิตตาม เงื่อนไขควบคุม
- 1.3.5 เปรียบเทียบวิเคราะห์ผล เพื่อสรุปภาวะการผลิตน้ำชนิดหนักโดยกระบวนการ ที่พัฒนาขึ้น

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้

- 1.4.1 ได้ประมวลวิเคราะห์ เอกสารข้อมูลการผลิตน้ำชนิดหนักด้วยวิธีต่างๆ เพื่อ เป็น จุดเริ่มต้นในการพัฒนา เทคโนโลยีการผลิตในประเทศ
- 1.4.2 ได้ชุด เครื่องมือซึ่งสามารถผลิตน้ำชนิดหนักได้
- 1.4.3 ได้ข้อมูลทาง เทคนิค เกี่ยวกับการควบคุมตัวแปรการผลิต
- 1.4.4 ได้แนวทางในการประเมินความ เหมาะสมในการลงทุน เพื่อขยายสเกลไปสู่ การผลิต เป็นอุตสาหกรรม
- 1.4.5 ได้แนวทางในการวิจัยในด้านอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไป อาทิ เช่น การ เปลี่ยน เงื่อนไขตัวแปรการผลิต การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิต การศึกษาการ เสื่อม

ของ เครื่องมือจากการกัดกร่อนของสารและกระบวนการ