

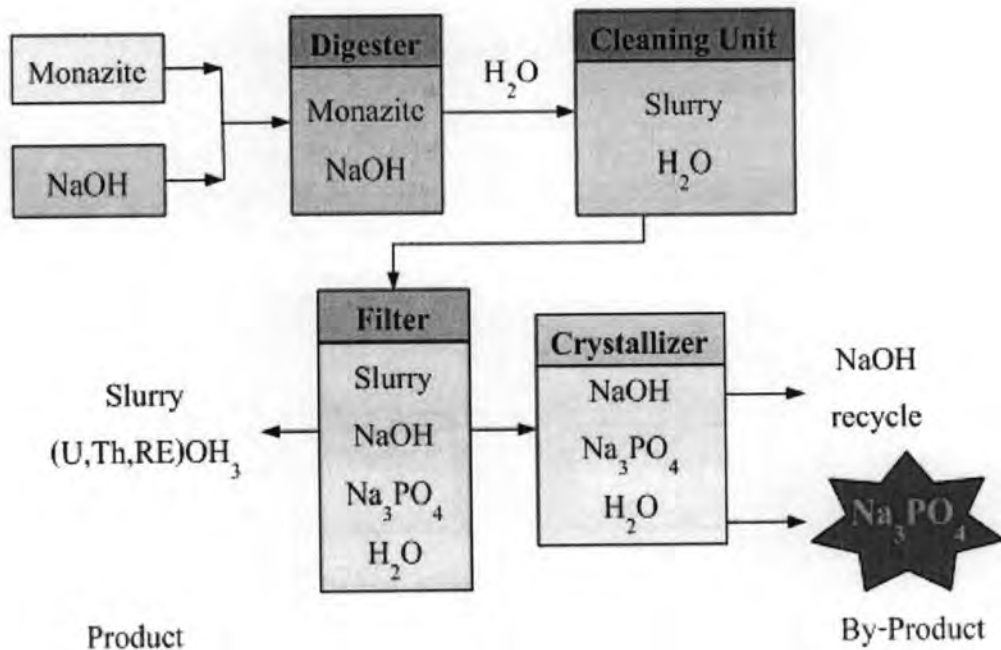


## 1.1 ความเป็นมา

ปริมาณเชื้อเพลิงสำรองจากฟอสซิล ได้แก่ น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินที่มีอยู่จำกัด นำไปสู่วิกฤตของราคาพลังงานที่สูงขึ้นในปัจจุบัน นอกจากนี้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลทำให้เกิดแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ที่สำคัญตัวหนึ่ง คือ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน (Global Warming) แม้จะมีการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ รวมทั้งการใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานชีวมวลในการผลิตไฟฟ้าก็ตาม แต่ก็ไม่เพียงพอที่จะตอบสนองต่อความต้องการในการใช้พลังงาน ดังนั้นพลังงานนิวเคลียร์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่คาดว่าจะสามารถทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ และอาจเป็นพลังงานที่จำเป็นและหลีกเลี่ยงไม่ได้ในอนาคต เช่น โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ใช้พลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชันในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ซึ่งใช้ธาตุยูเรเนียม-235 (U-235) หรือยูเรเนียมธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำในเครื่องปฏิกรณ์เพื่อผลิตไอน้ำไปใช้หมุนกังหันให้ได้พลังงานไฟฟ้าแทนพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินเพื่อต้มน้ำในกระบวนการของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน

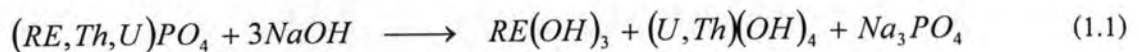
ศูนย์วิจัยพัฒนาแร่หายาก สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ แปรสภาพและแยกธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในแร่โมนาไซต์ ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ แร่โมนาไซต์ ที่มีอยู่ในประเทศไทยเป็นแร่ฟอสเฟตของธาตุแรร์เอิร์ท (Rare Earth) หรือธาตุหายาก โดยมีธาตุทอริยมปนอยู่ประมาณร้อยละ 6 ถึง 9 และธาตุยูเรเนียมปนอยู่ประมาณร้อยละ 0.3 ถึง 0.6 การแปรสภาพแร่โมนาไซต์ นับได้ว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ทรัพยากรธรรมชาติของประเทศ รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการย่อยแร่โมนาไซต์ของศูนย์วิจัยพัฒนาแร่หายากด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลิตภัณฑ์หลักที่ได้นั้นมี 2 กลุ่ม คือ แรร์เอิร์ทไฮดรอกไซด์ผสม และยูเรเนียม-ทอริยมไฮดรอกไซด์ และได้ผลึกของไตรโซเดียมฟอสเฟตเป็นผลพลอยได้ (By-product) การย่อยแร่โมนาไซต์ 1 ตัน จะได้ไตรโซเดียมฟอสเฟต 1 ตัน (บุญเลิศ สวนมะม่วง, 2545) แร่โมนาไซต์ที่ถูกย่อยแล้วจะถูกนำมากรอง ส่วนที่กรองได้คือไตรโซเดียมฟอสเฟตในสารละลายต่าง ซึ่งมีสารประกอบเชิงซ้อนของยูเรเนียม (Uranium Phosphate Complexes) ปริมาณเล็กน้อยเป็นสารเจือปน ปัจจุบันมีการทดลองใช้คาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon) เป็นสารดูดซับไอออนของโลหะหนัก เช่น ยูเรเนียม ออกจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต หรือใช้การ

ตกตะกอนไฮดรอกไซด์ด้วยปฏิกิริยาระหว่างสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ( $\text{FeCl}_3$ ) กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดการตกตะกอนร่วมกันของเหล็กไฮดรอกไซด์ ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) และไฮดรอกไซด์ของยูเรเนียม แต่พบว่าการใช้คาร์บอนกัมมันต์นั้นจะต้องกำจัดของเสียคาร์บอนกัมมันต์ (Activated Carbon Waste) ซึ่งเป็นของเสียอันตรายที่ได้ออกมาและไม่สามารถนำยูเรเนียมกลับมาใช้ได้ ส่วนการใช้สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์จะมีปัญหาการกรองเหล็กไฮดรอกไซด์ที่กรองได้ยาก ถึงแม้ว่าวิธีที่กล่าวนี้จะสามารถลดปริมาณของยูเรเนียมจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟตลงได้แต่ก็ไม่มาก (จารุณี ไกรแก้ว, 2543)



รูปที่ 1.1 กระบวนการย่อยแร่โมนาไซต์ (สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย)

ในกระบวนการผลิตธาตุเร่อร์เรียมโดยการแปรสภาพด้วยด่างนั้น ธาตุเร่อร์เรียม ทอเรียม และยูเรเนียมในรูปสารประกอบฟอสเฟตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะถูกทำปฏิกิริยาได้เป็นธาตุเร่อร์เรียม ทอเรียมและยูเรเนียมไฮดรอกไซด์ และเกิดสารประกอบไตรโซเดียมฟอสเฟต ดังสมการที่ 1.1



### 1.1.1 สมบัติของไตรโซเดียมฟอสเฟต (บุญเลิศ สนวนมะม่วง, 2545)

ผลึกไตรโซเดียมฟอสเฟตมีสูตรเคมี  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  เป็นผลึกใสไม่มีสี ละลายในน้ำ มีสมบัติเป็นด่าง สามารถนำไปใช้ประโยชน์หลายอย่างทั้งในอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน แต่เดิมนิยมใช้เป็นสารทำความสะอาดอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดคราบไขมัน คราบน้ำมันที่ติดตามพื้นได้ดีมาก ปัจจุบันสารประกอบไตรโซเดียมฟอสเฟตจะใช้เป็นสารทำความสะอาดในระดับอุตสาหกรรมหรือใช้ในสารทำความสะอาดบ้าน เช่น ใช้ทำความสะอาดพื้นผิวที่มีคราบเชื้อรา ใช้ปรับสภาพน้ำกระด้างเนื่องจากจะทำให้ไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมตกตะกอน ใช้ล้างตะกรันในหม้อไอน้ำ ใช้ในงานล้างเส้นใยในงานฟอกย้อม ใช้ผสมในน้ำยาล้างรูป ใช้ผสมในการทำสบู่สำหรับงานซักฟอก ผสมในน้ำยาลอกสีเพื่อเตรียมพื้นผิวก่อนทาสีใหม่ ใช้ล้างคราบไขมันจากโลหะ ใช้ทำความสะอาดและกำจัดแบคทีเรียในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น ไตรโซเดียมฟอสเฟตสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ แต่จะต้องมีความบริสุทธิ์ตามมาตรฐานในอุตสาหกรรมอาหารคือปริมาณยูเรเนียมต้องไม่เกิน 15 ppb ผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้ไตรโซเดียมฟอสเฟต เช่น การผลิตนมโดยใช้เป็นส่วนประกอบในการทำให้นมแตกตัวและเป็นตัวทำให้โปรตีนในผลิตภัณฑ์นมมีความเสถียร ใช้ในการฟอกสีกาแฟ ใช้ในการผลิตชีส ([www.astaris.com](http://www.astaris.com)) ผลิตซันปลาแห้งแข็ง ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น แสม ไส้กรอก กุนเชียง เป็นต้น โดยที่ไตรโซเดียมฟอสเฟตจะทำหน้าที่ปรับความเป็นกรด-เบส ช่วยจับอนุภาคโลหะ ช่วยทำให้อาหารมีความคงตัว และเป็นตัวกระทำอิมัลชัน (Emulsifier)

ผลึกไตรโซเดียมฟอสเฟตที่ได้จากการแปรสภาพในเบื้องต้นจะถูกแยกจากธาตุแอร์รี่เอิร์ท และทอเรียมไฮดรอกไซด์โดยการกรอง แต่บางครั้งอาจจะมีการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาไม่หมด แร่โมนาไซด์ที่ไม่ถูกย่อย ตะกรันแร่ที่กรองไม่สะอาด สนิมเหล็กจากอุปกรณ์ในการบดและย่อยแร่โมนาไซด์ นอกจากนั้นยังมีการปนเปื้อนจากสารประกอบของยูเรเนียมที่สามารถละลายน้ำได้ดีและปนเปื้อนมากับผลึก ซึ่งหากมีการปนเปื้อนมากจะทำให้ปริมาณรังสีรวมของผลึกไตรโซเดียมฟอสเฟตที่ได้มีค่าสูงซึ่งไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์ ตัวอย่างมาตรฐานการซื้อขายไตรโซเดียมฟอสเฟตระบุคุณภาพของไตรโซเดียมฟอสเฟตที่ใช้สำหรับการปรับสภาพน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมดังนี้

สูตรโมเลกุล	:	$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
มวลเชิงโมเลกุล	:	380.16
ลักษณะ	:	เป็นผลึกมีสีขาวหรือไม่มีสี ละลายน้ำ ไม่ละลาย ในแอลกอฮอล์
ความถ่วงจำเพาะ	:	1.62
จุดหลอมเหลว	:	73.3-76.7 °C
ความขาว	:	มากกว่า 75
ความบริสุทธิ์	:	อย่างน้อย 98%
ปริมาณ $\text{P}_2\text{O}_5$	:	18-20%
ปริมาณซัลเฟต	:	ไม่เกิน 0.5%
ปริมาณคลอไรด์	:	ไม่เกิน 0.3%
ปริมาณเหล็ก	:	ไม่เกิน 0.02%
ความเป็นด่างของหมู่เมทิล:		16.0-19.0
ส่วนที่ไม่ละลายน้ำ	:	ไม่เกิน 0.1%

### 1.1.2 สมบัติของยูเรเนียม (สมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย)

ยูเรเนียม (รูปที่ 1.2) เป็นธาตุในอนุกรม Actinide มีสัญลักษณ์ U เป็นธาตุที่มีเลขเชิงอะตอมสูงที่สุดที่พบในธรรมชาติ เลขเชิงอะตอมเท่ากับ 92 เป็นโลหะหนัก มีสีขาวเงิน มีกัมมันตภาพรังสีอ่อน ส่วนใหญ่พบยูเรเนียมในแร่ uraninite (รูปที่ 1.3) และพบได้ในแร่อีกหลายชนิด ได้แก่ autunite, uranophane, torbernite และ coffinite ในวัตถุบางอย่าง เช่น หินฟอสเฟต แร่ลิกไนต์ และทรายโมนาไซต์มีปริมาณยูเรเนียมสูงกว่าปกติซึ่งสูงพอที่จะสกัดออกมาในเชิงพาณิชย์ โดยทั่วไปปริมาณยูเรเนียมที่มากพอที่จะสกัดออกมาอย่างคุ้มค่านั้นจะมียูเรเนียมออกไซด์ 1-4 ปอนด์ต่อตัน หรือมียูเรเนียมออกไซด์ 0.05% - 0.20%



รูปที่ 1.2 ธาตุยูเรเนียม



รูปที่ 1.3 แร่ uraninite

ยูเรเนียมบริสุทธิ์ มีความแข็งกว่าเหล็กเล็กน้อย มีความอ่อนตัว บิดงอได้ มีความเป็นแม่เหล็กเล็กน้อย ธาตุยูเรเนียมมีความหนาแน่นสูงมากกว่าตะกั่ว 65% แต่มีความหนาแน่นน้อยกว่าทอง เมื่อถูกอากาศจะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศ ทำให้เกิดยูเรเนียมออกไซด์ สามารถสกัดยูเรเนียมออกมาจากแร่เพื่อนำมาใช้ทางอุตสาหกรรมด้วยวิธีเคมี โดยทำให้อยู่ในรูปของยูเรเนียมไดออกไซด์หรือสารประกอบรูปอื่น

แร่ยูเรเนียมในธรรมชาติที่มีการพบแล้วนั้นอยู่ในรูปของหินทราย (Sandstone) หรือหินแข็ง (Hard rock) ซึ่งเป็นแร่ยูเรเนียมที่มีคุณภาพระดับต่ำคือมียูเรเนียมประมาณร้อยละ 0.1 - 20 เหมาะสมที่จะสกัดเพื่อทำเป็นเชื้อเพลิง

แหล่งที่มีแร่ยูเรเนียมปริมาณมากในปัจจุบัน พอที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ ออสเตรเลีย มีอยู่มากที่สุด 27% (ปริมาณของยูเรเนียมที่มีอยู่ในโลกทั้งหมด ประมาณ 3.3 ล้านตัน อยู่ในรูปของยูเรเนียมออกไซด์ :  $U_3O_8$ ) คาซัคสถาน 17% แคนาดา 15% แอฟริกาใต้ 11 % นัมเบีย 8% บราซิล 7% รัสเซีย 5% สหรัฐอเมริกา 4% และ อุซเบกิสถาน 4% แร่ยูเรเนียมจะผ่านกระบวนการชะละลาย (Leaching) ด้วยสารละลายกรดและทำให้บริสุทธิ์ ผลผลิตสุดท้ายได้ตะกอนอยู่ในรูปของยูเรเนียมออกไซด์เป็นผงสีเหลือง เรียกว่า เค้กเหลือง (Yellow Cake) ประกอบด้วย uranium oxide ( $U_3O_8$ ) 70 ถึง 90% โดยน้ำหนัก และมี uranium oxides รูปแบบอื่น เช่น  $UO_2$  และ  $UO_3$  โรงไฟฟ้านิวเคลียร์ขนาด 1,000 MW<sub>e</sub> ต้องการเค้กเหลืองประมาณ 200 ตันต่อปี

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการสกัดและแยกไอออนของยูเรเนียมออกจากไตรโซเดียมฟอสเฟต (Trisodiumphosphate, TSP) ที่ได้จากกระบวนการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ด้วยเชื้อแผ่นเหลวเนื่องจากข้อดีของเชื้อแผ่นเหลวคือ มีความสามารถในการคัดเลือกสูง มีอัตราการถ่ายเทมวลสูง ในงานนี้จะใช้เชื้อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวงซึ่งเป็นรูปแบบที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่าเชื้อแผ่นเหลรูปแบบอื่น ๆ เนื่องจากมีพื้นที่ในการถ่ายเทมวลต่อปริมาตรสูง และสามารถ

ฟื้นฟูสภาพเยื่อแผ่นเหลวที่เสื่อมสภาพจากการใช้งานได้ง่าย โดยการเติมเยื่อแผ่นเหลวเข้าไปใหม่ อีกทั้งยังสามารถที่จะนำกลับยูเรเนียมมาใช้ได้โดยไม่ต้องกำจัดทิ้งให้เสียเปล่า และยังได้สารไตรโซเดียมฟอสเฟตที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น โดยการดำเนินการที่ไม่ยุ่งยากมาก

## 1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

### 1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไอออนยูเรเนียม

**ประกร รามกุล (2549)** ศึกษาการแยกไอออนผสมของยูเรเนียมและทอเรียมออกจากกันด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง และศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นภายในระบบเยื่อแผ่นเหลว สารป้อนเป็นไอออนของยูเรเนียมผสมกับไอออนของทอเรียมในสารละลายกรดไนตริก โดยใช้สารละลายไตรบิวทิลฟอสเฟต (Tri-butylphosphate : TBP) ความเข้มข้น 5% โดยปริมาตร ละลายในเคโรซีนเป็นสารสกัด ส่วนสารละลายนำกลับหรือสารละลายสตรีปจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร จากผลการทดลองพบว่าสามารถสกัดไอออนยูเรเนียมออกจากไอออนทอเรียมได้ 75% ที่ความเข้มข้นไอออนยูเรเนียมและทอเรียมในสารละลายป้อนเท่ากับ 300 ppm พบว่าไอออนทอเรียมเกือบจะไม่ถูกสกัดเลย ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของไอออนของยูเรเนียมและทอเรียมในสารละลายป้อน และความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายป้อน เมื่อนำทฤษฎีในการถ่ายเทมวลสารมาสร้างสมการทำนายผลความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อนเมื่อเวลาผ่านไปที่ความเข้มข้นของกรดไนตริกค่าต่าง ๆ แล้วเปรียบเทียบกับผลการทดลองพบว่าสมการทำนายผลการทดลองได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

**Nazari et al. (2003)** ศึกษาการสกัดแยกไอออนยูเรเนียมจากกรดฟอสฟอริกที่มีไอออนยูเรเนียม 0.083 กรัมต่อลิตร ด้วยการสกัดแบบกะที่ใช้ในห้องทดลอง สารสกัดที่ใช้ ได้แก่ สารละลาย PN-1200 (Polyalkyl Phosphazenes), 2-ethylhexyl Phosphoric Acid (D2EHPA) ผสมกับ Tri-n-octyl Phosphine Oxide (TOPO) และ D2EHPA ผสมกับ Trialkyl Phosphine Oxides (TRPO) โดยสารสกัดเหล่านี้ละลายใน normal aliphatic kerosene จากผลการทดลองพบว่า PN-1200 มีสมบัติที่ดีหลายประการเมื่อเทียบกับสารสกัดชนิดอื่น เช่น มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายที่สูง มีความเสถียรที่ดี มีการแยกวัฏภาคที่ดี และสามารถสกัด  $U^{4+}$  และ  $U^{6+}$  ได้พร้อมกัน

**Kulkarni (2003)** ศึกษาการนำกลับไอออนยูเรเนียมจากของเสียกรดที่เกิดระหว่างการทำให้ยูเรเนียมบริสุทธิ์ในกระบวนการผลิตยูเรเนียมและมีความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมต่ำโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวอิมัลชัน ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคของเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชันเพื่อการคัดแยกและนำกลับไอออนยูเรเนียม ทำการสกัดแยกแบบกะ 2 ขั้นตอน และมีการถ่ายเทมวลแบบสวนทาง ใช้สารละลาย TOPO ในพาราฟินเป็นสารสกัด และใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารละลายนำกลับ องค์ประกอบในของเสียกรดซึ่งเป็นสารป้อนโดยประมาณมีดังนี้ U (VI) 600 ppm , Fe (III) 360 ppm , Ca (II) 325 ppm , Mg (II) 390 ppm ที่ภาวะกรด 1.2 M HNO<sub>3</sub> ในสารละลายป้อน และศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความเสถียรของอิมัลชัน ร้อยละในการสกัด ไอออนยูเรเนียมมากที่สุด และร้อยละในการนำกลับไอออนยูเรเนียมจากของเสียกรดมากที่สุด ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายสกัด ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน ความหนืดของเยื่อแผ่นเหลวอิมัลชัน และความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ พบว่าความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อนที่ผ่านการสกัดแล้วหรือราฟฟินेट (Raffinate) มีค่าที่ต่ำกว่า 50 ppm

**บัญชา คำสิงห์ (2544)** ศึกษาการสกัดธาตุยูเรเนียมและทอเรียมจาก hydrous metal oxide cake ที่ได้จากการย่อยแร่โมนาไซต์ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้หอสกัดแบบจานหมุนมีรูสารสกัดที่ใช้คือสารละลายไตรบิวทิลฟอสเฟตที่ความเข้มข้นไม่เกิน 30% โดยปริมาตร ละลายในน้ำมันก๊าด สารป้อนคือสารละลายในกรดที่มีความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียม ทอเรียม และธาตุหายากอื่น ๆ รวมกัน 1,000 ppm ความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายป้อนอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 5 โมลต่อลิตร จากผลการทดลองพบว่าความสามารถในการสกัดไอออนยูเรเนียมและทอเรียมออกจากไอออนของธาตุหายากขึ้นกับอัตราส่วนของการไหลเชิงปริมาตรของสารละลายไตรบิวทิลฟอสเฟตต่อสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารละลายสกัด ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกในสารละลายป้อน และความเร็วรอบของการกวน

**Xian et al. (1999)** ศึกษาจลนพลศาสตร์ในการสกัดไอออนยูเรเนียมด้วยสารละลาย D2EHPA โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงที่มีรูพรุนจุลภาคชนิดไม่ชอบน้ำ ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมและไฮโดรเนียมไอออนในวัฏภาคสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารละลายสกัด D2EHPA อัตราการไหลเชิงปริมาตรของวัฏภาคสารละลายสกัดและวัฏภาคสารละลายป้อน และอุณหภูมิในการสกัด ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นแนวทางในการควบคุมอัตราการสกัดโดยการแปร พบว่าอัตราการสกัดไอออนยูเรเนียมขึ้นกับความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมใน

วิทยาศาสตร์ละลายป้อน โดยในช่วงแรกนั้นอัตราการสกัดไอออนยูเรเนียมเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเป็นกรด-เบสของวิทยาศาสตร์ละลายป้อน และความเข้มข้นของสารละลายสกัด D2EHPA เพิ่มขึ้น แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-เบสของวิทยาศาสตร์ละลายป้อนมากกว่า 2 และความเข้มข้นของสารละลาย D2EHPA มากกว่า 0.01 โมลต่อลิตร อัตราการสกัดไอออนยูเรเนียมแทบจะไม่เปลี่ยนแปลง พบว่าอัตราการสกัดไอออนยูเรเนียมเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลของวิทยาศาสตร์ละลายป้อนเพิ่มขึ้น แต่แทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของวิทยาศาสตร์ละลายสกัด ส่วนผลกระทบของอุณหภูมิในการสกัดในช่วง 8 ถึง 46 องศาเซลเซียสแทบจะไม่มีผลต่อการสกัด

**Jamal Stas et al. (2005)** ศึกษาการสกัดไอออนยูเรเนียมออกจากสารละลายป้อนที่เตรียมจากกรดไนตริกและสารละลายไนเตรดและมีไอออนยูเรเนียม โดยใช้ TBP ละลายในเคโรซีน และศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสกัด คือ ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารละลาย TBP ความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายป้อน เวลา และอุณหภูมิในการสกัด จากผลการทดลองพบว่าการสกัดไอออนยูเรเนียมแปรตามความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมและสารละลายกรดไนตริกที่เพิ่มขึ้น จากการสกัด 2 ขั้นตอน สามารถสกัดไอออนยูเรเนียมจากสารละลายกรดไนตริกได้มากกว่า 98% โดยปริมาตร เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของไอออนยูเรเนียม 5.75 โมลต่อลิตร ที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกเท่ากับ 5 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของสารละลาย TBP เท่ากับ 0.363 และ 0.726 โมลต่อลิตร และอัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลายสกัดต่อสารละลายป้อนเท่ากับ 1/6 และ 1/3 ตามลำดับ การสกัดไอออนยูเรเนียมแทบไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากเวลาในการสกัดผ่านไป 30 วินาที ทั้งนี้การสกัดไอออนยูเรเนียมจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการสกัดเพิ่มขึ้น

**Seref Girgin et al. (2004)** ศึกษาการสกัดแยกแบบเสริมฤทธิ์ไอออนยูเรเนียมจาก wet process phosphoric acid ด้วยสารละลายสกัดอินทรีย์ผสมระหว่าง D2EHPA และ TOPO ในตัวทำละลายเคโรซีนปัจจัยที่มีผลต่อการแยกและการนำกลับไอออนยูเรเนียมที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียม อัตราส่วนโดยโมลของ D2EHPA และ TOPO อัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลายสกัดต่อตัวทำละลายเคโรซีน และจำนวนขั้นตอนการสกัด ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าการสกัดไอออนยูเรเนียมจาก wet process phosphoric acid โดยใช้สารละลายสกัดผสมแบบเสริมฤทธิ์แปร โดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้นของสารละลายสกัดผสม และอัตราส่วน โดยปริมาตรของสารละลายสกัดต่อตัวทำละลายเคโรซีน



**Maysa S. (2003)** ศึกษาการสกัดไอออนยูเรเนียมโดยเยื่อแผ่นเหลวแบบอิมัลชัน สารละลายสกัดที่ใช้ คือ Aliquat 336 (Methyltrioctylammonium Chloride) ในเคโรซีน พบว่าสามารถสกัดไอออนยูเรเนียมได้มากกว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายนำกลับ อัตราส่วนโดยปริมาตรของสารละลายสกัดต่อสารละลายป้อน และความเร็วในการปั่นกววน

**Y.A. El-Nadi et al. (2005)** ศึกษาการสกัดธาตุยูเรเนียมจาก hydrous oxide cake ที่ประกอบด้วยธาตุยูเรเนียม ทอเรียม และแรร่อร์ท พบว่าสามารถแยกไอออนยูเรเนียมออกได้โดยใช้สารละลายผสมของโซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากผลการทดลองพบว่า สารประกอบไตรคาร์บอเนต-ยูเรเนียมจะถูกสกัดออกมาโดยใช้สารละลายสกัด Aliquat 336 ละลายในเคโรซีน และสามารถสกัดไอออนยูเรเนียมได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99

#### 1.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดไอออนของธาตุอื่น ๆ

**Pancharoen et al. (2005)** ศึกษาการแยกไอออนผสมของซีเรียมและแลนทานัมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้สารละลาย TOA ในเคโรซีนเป็นสารสกัด สารป้อนคือสารละลายกรดซัลฟิวริกและใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารละลายนำกลับ โดยจะแยกและนำกลับไอออนซีเรียม ได้ไอออนของซีเรียม 67% และไม่มีไอออนแลนทานัมติดออกมา ซึ่งภาวะที่ดีที่สุด คือ ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกในสารละลายป้อนเท่ากับ 0.2 M ความเข้มข้นของสารละลาย TOA เท่ากับ 5% โดยปริมาตร และความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเท่ากับ 1 M

**Kim et al. (2005)** ศึกษาการนำกลับไอออนโครเมียมจากสารละลายโลหะผสมโครเมียม นิกเกิล ตะกั่ว ทองแดง และแคดเมียม โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง สารสกัดที่ใช้ คือ สารละลาย D2EHPA , TBP, Lix 79 และ TOA ศึกษาการสกัดสารองค์ประกอบเดี่ยวและผสมโดยใช้สารสกัดเพียงชนิดเดียวและสารสกัดผสม และความแตกต่างของกระบวนการสกัดแบบกะและแบบต่อเนื่อง และหาภาวะที่ดีที่สุด พบว่ากระบวนการสกัดถูกควบคุมโดยการถ่ายเทมวลในวิภาคของสารละลายป้อน ไอออนโลหะอื่น ๆ ที่อยู่ในสารละลายป้อนไม่ส่งผลต่อการสกัดโครเมียม ส่วนสารสกัดผสมระหว่างสารละลาย D2EHPA กับ TBP สามารถสกัดไอออนโครเมียมได้มากที่สุดที่ 84%

ขณะที่สารสกัดผสม Lix 79 กับ TBP และสารสกัดผสม TOA กับ TBP ได้ผลของการสกัดไอออนโครเมียมต่ำกว่า พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างกระบวนการสกัดแบบกะและแบบต่อเนื่องต่อร้อยละของการสกัด

**Ramakul et al. (2003)** ศึกษาการแยกไอออนผสมของแลนทานัมและนีโอดีเมียมด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ (Synergistic Extraction) และการนำกลับไอออนแลนทานัม สารสกัดผสม 2 ชนิด คือ สารละลาย Thenoyltrifluoroacetone (HTTA) และ Trioctylamine (TOA) ซึ่งละลายในเบนซีน จากผลการทดลองจะได้ว่าเปอร์เซ็นต์การสกัดขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน โดยเปอร์เซ็นต์การสกัดสูงสุดที่ค่าความเป็นกรด-เบสเท่ากับ 2.5 เมื่อใช้สารสกัดผสม HTTA กับ TOA ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การสกัดที่สูงขึ้น ไอออนแลนทานัมจะถูกสกัดและนำกลับได้มากกว่าไอออนนีโอดีเมียม เปอร์เซ็นต์การสกัดจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย HTTA มากขึ้น และจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย TOA มากขึ้น

**Ramakul et al. (2004)** ศึกษาการแยกไอออนทองแดงและโครเมียมจากสารละลายโลหะผสม (ทองแดง โครเมียม และสังกะสี) โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวงโดยใช้ 2 คอลัมน์ และดำเนินการเพียงรอบเดียว คอลัมน์แรกใช้สารละลายสกัด LIX 84-I สำหรับการสกัดไอออนทองแดง ส่วนคอลัมน์ที่สองใช้สารละลายสกัด Aliquat 336 สำหรับการสกัดไอออนโครเมียม ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารละลายสกัด ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ และจำนวนรอบในการผ่านมอดูลเส้นใยกลวง จากผลการทดลองพบว่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมของสารละลายป้อนเท่ากับ 2.5 ซึ่งสามารถทำการสกัดได้สูงสุด และในการดำเนินการภายใต้ภาวะที่เหมาะสมจะได้ค่าร้อยละของการสกัดไอออนทองแดงและโครเมียมเท่ากับ 33 และ 92 ตามลำดับ กล่าวได้ว่าการแยกไอออนโลหะเหล่านี้ในสารละลายเจือจางสามารถทำได้โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พุงด้วยเส้นใยกลวง

**Mercedes E.C. and Jose M. (2001)** ศึกษาการถ่ายเทมวลของไอออนนีโอเบียมในสารละลายคลอไรด์โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวรองรับชนิดแผ่น สารสกัดที่ใช้คือ สารละลายผสมระหว่าง Alamine 336 และ TBP โดยพิจารณาภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดและการนำกลับ พบว่าเมื่อใช้สารสกัด Alamine 336 ผสมกับ TBP จะมีค่าการสกัดไอออนนีโอเบียมสูงในสารละลายคลอไรด์เข้มข้นและความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกในสารละลายนำกลับต่ำ สามารถนำกลับไอออนนีโอเบียมได้

สูงสุดเมื่อใช้ Alamine 336 ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ใน TBP และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกอยู่ระหว่าง 6 และ 7 โมลต่อลิตร

**A.G. Gaikwad (2003)** ศึกษาการสกัดแยกแบบเสริมฤทธิ์ไอออนิตเตรียมโดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวรองรับชนิดแผ่น สารสกัดที่ใช้คือ สารละลายผสมระหว่าง Aliquat 336 ซึ่งใช้แลกเปลี่ยนไอออนลบ และ TBP ซึ่งเป็นสารสกัดที่เป็นกลาง ได้ทำการศึกษาการสกัดแบบเสริมฤทธิ์เทียบกับการใช้สารสกัดชนิดเดียว ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายสกัดผสมที่  $10^{-5}$  ถึง 0.1 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของไอออนิตเตรียมในสารละลายป้อน  $10^{-6}$  ถึง  $2 \times 10^{-2}$  โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไทโอไซยาเนตในสารละลายป้อนที่ 0.5 ถึง 3 โมลต่อลิตร ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับ  $10^{-6}$  ถึง  $10^{-2}$  โมลต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับที่ 0.5 ถึง 5 ความเร็วรอบในการปั่นกวนทั้งด้านสารละลายป้อนและด้านสารละลายนำกลับที่ 40 ถึง 140 รอบต่อนาที รวมทั้งศึกษาความคงตัวของเยื่อแผ่นเหลวที่มีตัวรองรับชนิดแผ่นที่ใช้ทดลอง

### 1.3 วัตถุประสงค์

- 1.3.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดไอออนยูเรเนียมจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟตที่ได้จากการย่อยแร่โมนาไซต์โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง
- 1.3.2 ศึกษาการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ด้วยสารสกัดผสมต่อการสกัดไอออนของยูเรเนียมจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาความสามารถในการสกัดไอออนยูเรเนียมและความเข้มข้นของสารละลายสกัด D2EHPA, TBP, TOA, Cyanex 923 และ Aliquat 336
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการสกัดแบบเสริมฤทธิ์และอัตราส่วน โดยปริมาตรของสารสกัดผสมชนิดต่าง ๆ
- 1.4.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อนต่อการสกัด
- 1.4.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับกรดไนตริกต่อการสกัด
- 1.4.5 ศึกษาผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับต่อการสกัดและ

## การนำกลับไอออนยูเรเนียม

### 1.4.6 ศึกษาผลของจำนวนรอบในการสกัดผ่านมอดูลเส้นใยกลวง

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการสกัดและการนำกลับไอออนยูเรเนียม การสกัดแบบเสริมฤทธิ์ และทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องยูเรเนียมและไตรโซเดียมฟอสเฟต
- 1.5.2 ศึกษาวิธีการทดลอง เตรียมสารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง
- 1.5.3 ทดลองสกัดและนำกลับไอออนยูเรเนียม โดยใช้เยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง สารสกัดที่ใช้ คือ สารละลาย D2EHPA, TOA, TBP, Cyanex 923 และ Aliquat 336 ในเคโรซีน
- 1.5.4 ศึกษาการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ ด้วยสารสกัดผสมชนิดต่าง ๆ
- 1.5.5 ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารสกัด อัตราส่วนโดยปริมาตรของสารสกัดผสม ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารละลายนำกลับกรดไนตริก อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ และจำนวนรอบในการสกัด
- 1.5.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

โครงการนี้เป็นทางเลือกในการสกัดไอออนยูเรเนียมจากไตรโซเดียมฟอสเฟตที่ได้จากกระบวนการย่อยแร่โมนาไซต์ และสามารถนำกลับไอออนยูเรเนียมเพื่อหาแนวทางนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และยังได้สารไตรโซเดียมฟอสเฟตที่มีความบริสุทธิ์สูงขึ้น