

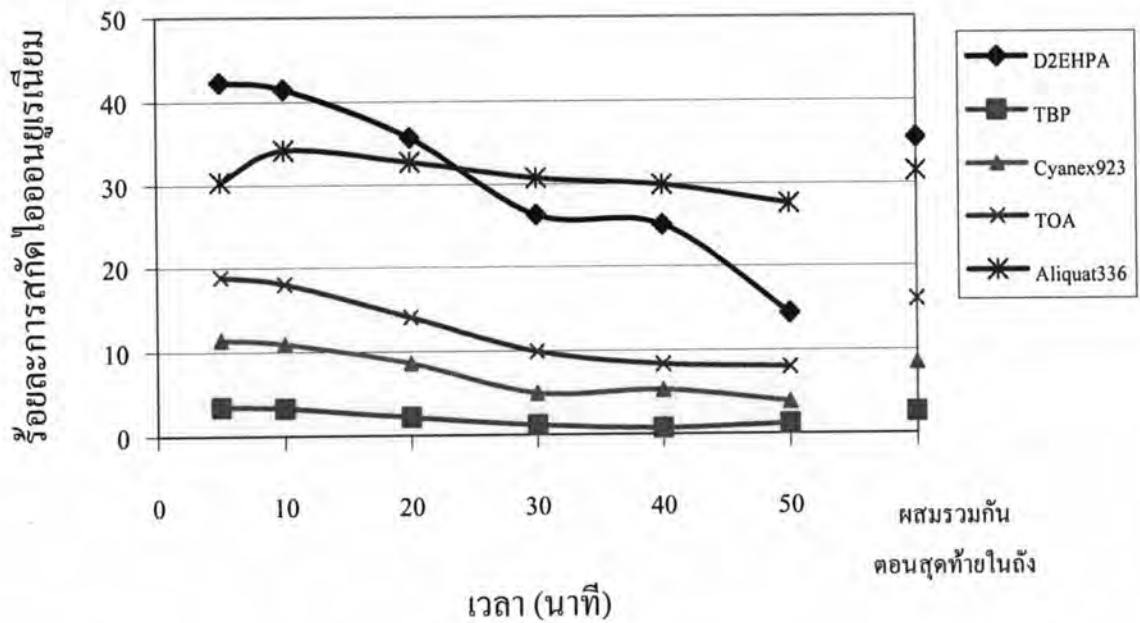
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัด ไอออนยูเรเนียมจากไตรโซเดียมฟอสเฟตที่ได้จากกระบวนการแปรสภาพแร่โมนาไซต์โดยวิธีการสกัดด้วยเยื่อแผ่นเหลวที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ชนิดของสารสกัด ความเข้มข้นของสารสกัดเดี่ยว คู่ของสารสกัดผสม สัดส่วนของสารสกัดผสมในการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ ความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟตในสารละลายป้อน ความเข้มข้นของสารละลายกรดไนตริกในสารละลายนำกลับ อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ และจำนวนรอบในการสกัด นอกจากนี้ยังนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองการถ่ายโอนมวล

#### 4.1 ชนิดของสารสกัด

การทดลองนี้ศึกษาชนิดของสารสกัดที่มีผลต่อการสกัด ไอออนยูเรเนียมจากไตรโซเดียมฟอสเฟตที่ได้จากกระบวนการแปรสภาพแร่โมนาไซต์ โดยใช้สารสกัด D2EHPA, Cyanex 923, TBP, TOA และ Aliquat 336 ซึ่งมีความเข้มข้นของสารสกัดเท่ากันที่ 0.1 โมลต่อลิตร โดยละลายในเคโรซีน และปัจจัยอื่น ๆ คงที่คือ สารละลายป้อนยูเรเนียมเข้มข้นประมาณ 22 ส่วนในล้านส่วน (เจือจางจากสารละลายเริ่มต้นเป็น 2 เท่า) สารละลายนำกลับกรดไนตริกเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1

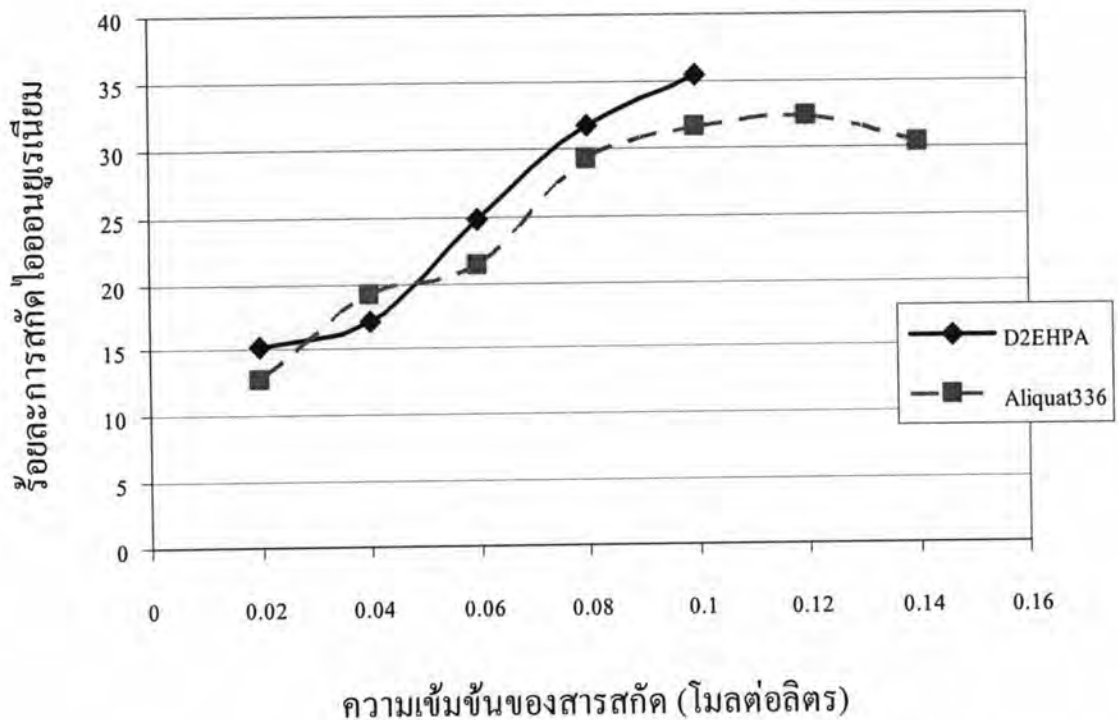


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการสกัดยูเรเนียมกับเวลาของสารสกัดชนิดต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.1 พบว่าสารสกัด D2EHPA และ Aliquat 336 มีค่าการสกัดที่ดีที่สุด แต่จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป ร้อยละการสกัดที่ใช้ D2EHPA จะมีค่าที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วน Aliquat 336 จะลดลงเล็กน้อยหลังจากนาทีที่ 10 แล้วจะมีร้อยละการสกัดที่ค่อนข้างคงที่ ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้สารสกัด Aliquat336

#### 4.2 ผลของความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA และ Aliquat 336 ต่อประสิทธิภาพการสกัดไอออนยูเรเนียมจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต

การทดลองนี้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA เทียบกับ Aliquat 336 ต่อการสกัดไอออนยูเรเนียมที่ค่าความเข้มข้นของสารสกัด 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12 และ 0.14 โมลต่อลิตรละลายในเคโรซีน และกำหนดให้ปัจจัยอื่น ๆ คงที่ คือสารละลายป้อนยูเรเนียมเข้มข้นประมาณ 22 ส่วนในล้านส่วน (เจือจางจากสารละลายเริ่มต้นเป็น 2 เท่า) สารละลายนำกลับกรดไนตริกเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัด D2EHPA และ Aliquat 336 ในตัวทำละลาย เคโรซีนกับร้อยละการสกัดไอออนยูเรเนียม

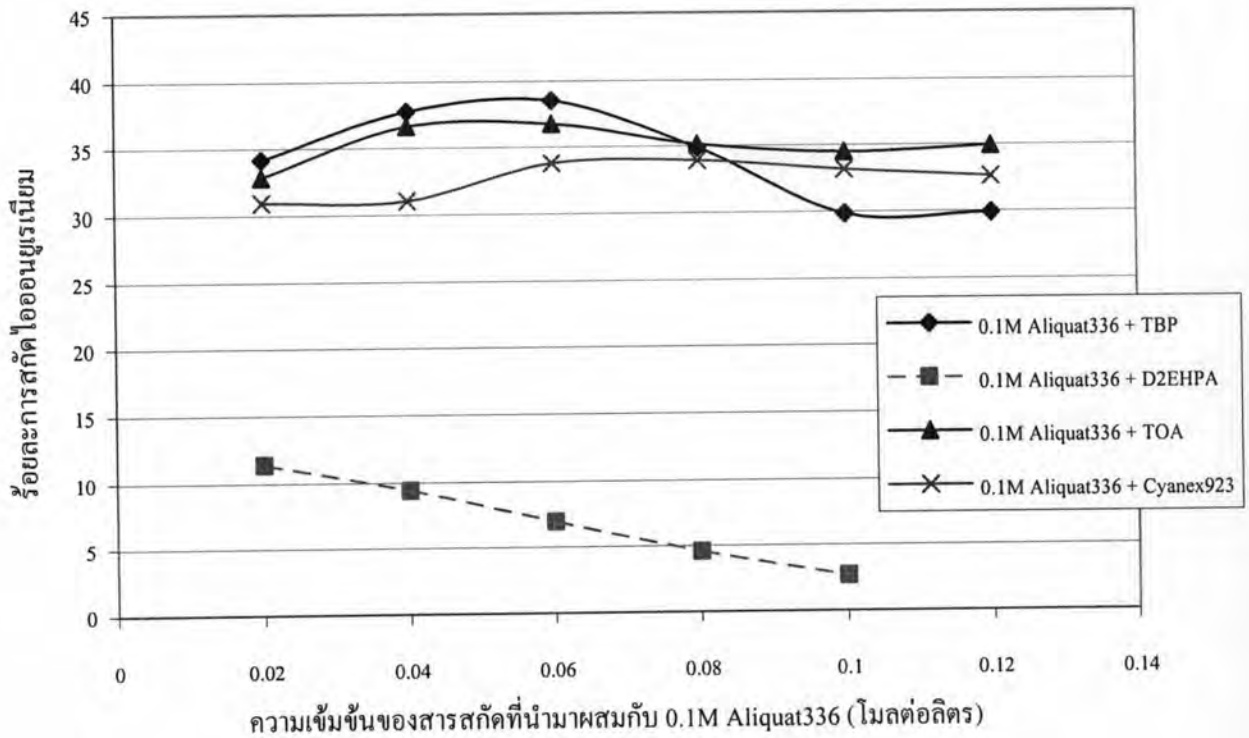
จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดทั้ง D2EHPA และ Aliquat 336 สูงขึ้นร้อยละการสกัดยูเรเนียมจะสูงขึ้น ซึ่งอธิบายได้ด้วยทฤษฎีของเฮนรี หลุยส์ เลอชาเตอริเยร์ ได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ปฏิกิริยาคำเนินไปข้างหน้ามากขึ้น เนื่องจากไอออนยูเรเนียมเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารสกัดกับไอออนยูเรเนียมและถูกสกัดมากขึ้น อีกทั้งการนำกลับก็มากขึ้นเช่นกัน แต่ในใช้สารสกัด D2EHPA ที่มีความเข้มข้นมากกว่า 0.1 โมลต่อลิตร จะทำให้สารละลายป้อนด้านขาออกนั้นขุ่น ทำให้ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์โดยเครื่อง ICP ได้ ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ Aliquat 336 เป็นสารสกัด ซึ่งในการใช้สารสกัด Aliquat 336 จะมีค่าร้อยละการสกัดเริ่มคงที่เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดอยู่ในช่วง 0.08 - 0.14 โมลต่อลิตร เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มมากขึ้นสารละลายเยื่อแผ่นเหลวจะมีความหนืดสูงขึ้น [Luccio et al., 2000] ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนแพร่ได้ช้าลง หรืออีกนัยหนึ่งคือ ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient,  $D'$ ) ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารสกัดกับไอออนโลหะที่ละลายในสารละลายเยื่อแผ่นเหลวมีค่าน้อยลง ดังสมการของ Stokes และ Einestien [Schulz, 1988; Cussler, 1997] ดังนี้

$$D' = \frac{k_B T}{6\pi\eta r} \quad (4.1)$$

เมื่อ  $k_B$  คือ ค่าคงที่ของ Boltzmann,  $T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว,  $\pi$  คือ ค่าคงที่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.1416,  $\eta$  คือ ความหนืดของสารละลายเยื่อแผ่นเหลว,  $r$  คือ รัศมีของโมเลกุลของสารที่แพร่ผ่าน เมื่อสารประกอบเชิงซ้อนแพร่ได้ช้าลง จึงยังมีสารประกอบเชิงซ้อนบางส่วนที่ยังเกาะอยู่ที่ผิวสัมผัสทำให้ไอออนยูเรเนียมทำปฏิกิริยากับสารสกัดตรงบริเวณนั้น ไม่ได้ทำให้ไอออนยูเรเนียมที่ถูกทำปฏิกิริยานั้นมีจำนวนเท่าเดิม ถึงแม้ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด Aliquat336 ดังนั้น เปอร์เซ็นต์การสกัดจึงเริ่มที่จะคงที่ หรือมีอัตราการเพิ่มขึ้นของร้อยละการสกัดที่ลดลง

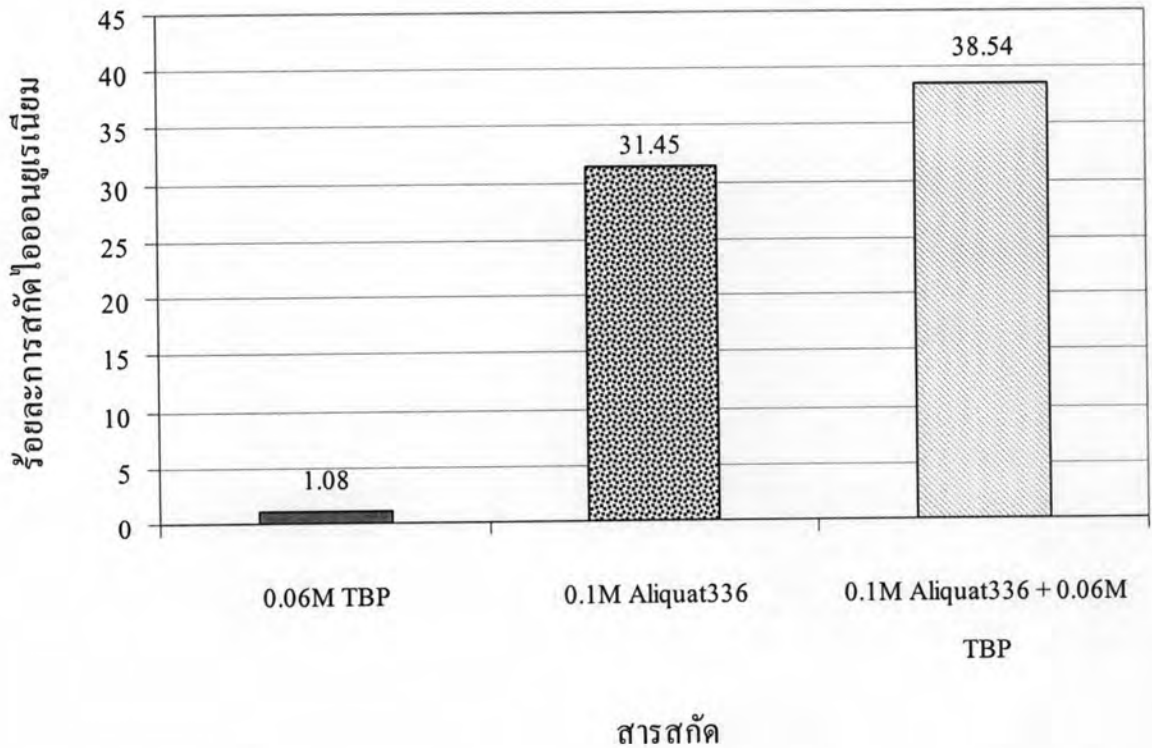
#### 4.3 ผลของชนิดและอัตราส่วนโดยปริมาตรของสารสกัดผสมในการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ต่อการสกัดไอออนยูเรเนียม

การทดลองนี้ทำการศึกษาว่าสารสกัดชนิดใดที่ทำให้เกิดการสกัดแบบเสริมฤทธิ์กับ Aliquat 336 ในการสกัดยูเรเนียมโดยสารสกัดที่ใช้คือ TBP, D2EHPA, TOA และ Cyanex 923 ที่ความเข้มข้น 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1 และ 0.12 โมลต่อลิตร และกำหนดปัจจัยอื่นคงที่ คือ สารละลายป้อนยูเรเนียมเข้มข้นประมาณ 22 ส่วนในล้านส่วน (เจือจางจากสารละลายเริ่มต้นเป็น 2 เท่า) สารละลายนำกลับกรดไนตริกเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.3



**รูปที่ 4.3** ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดผสมของสารละลาย Aliquat 336 กับ สารละลาย TBP, D2EHPA, TOA และ Cyanex 923 ในตัวทำละลายเคโรซีนกับ ร้อยละการสกัดไอออนยูเรเนียม

จากรูปที่ 4.3 พบว่าในการใช้สารสกัดคู่ Aliquat 336 ผสมกับ TBP นั้นมีร้อยละการสกัดที่มากกว่าสารสกัดผสมคู่อื่น โดยมีค่าร้อยละการสกัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ TBP สูงขึ้น แต่เมื่อมีความเข้มข้นสูงกว่า 0.06 โมลต่อลิตรจะมีค่าร้อยละการสกัดลดลง กล่าวคือในการใช้สารสกัดผสมจะมีค่าร้อยละการสกัดสูงที่สุดเมื่อใช้ Aliquat 336 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ผสมกับ TBP เข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร



รูปที่ 4.4 ร้อยละการสกัดไอออนยูเรเนียมของสารสกัดเดี่ยว TBP, Aliquat 336 และสารสกัดผสม Aliquat 336 กับ TBP

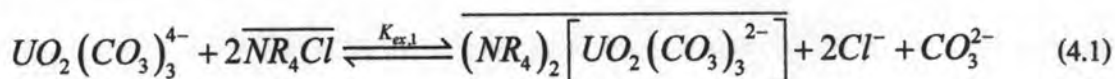
จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อนำ Aliquat 336 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ผสมกับ TBP เข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร จะเกิดการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ขึ้น กล่าวคือมีค่าร้อยละการสกัดที่มากกว่าผลรวมของค่าร้อยละการสกัดเมื่อใช้ TBP เข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร รวมกับค่าร้อยละการสกัดเมื่อใช้ Aliquat 336 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร โดยเพิ่มค่าการสกัดไอออนยูเรเนียมให้สูงขึ้นร้อยละ 6.01

#### 4.3.1 ปฏิกิริยาของสารสกัดหลัก Aliquat336 (Maysa S., 2003),(Y.A. El-Nadi et al., 2005)

ในวัฏภาคสารละลายป้อนจะมียูเรเนียมไอออน ( $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ ) เป็นสารตั้งต้น แม้ว่าในสารละลายป้อนนั้นจะเป็นสารละลายฟอสเฟตแต่ที่ยูเรเนียมอยู่ในรูปของคาร์บอเนต เนื่องจากสารละลายป้อนเป็นเบสแก่ ( $pH \approx 13$ ) ซึ่งสารละลายเบสแก่จะดึงเอาคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเข้ามาในสารละลาย จึงเป็นไปได้ว่ายูเรเนียมที่มีปริมาณน้อยในสารละลายจะอยู่ในรูปคาร์บอเนต อีกทั้งค่า



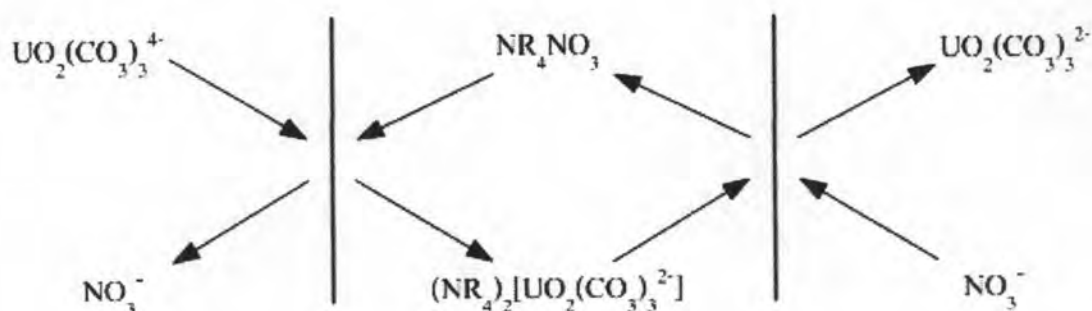
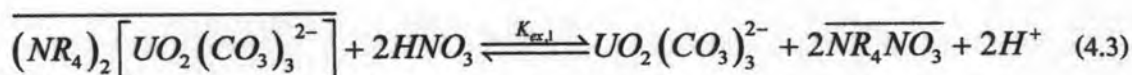
ความสามารถในการละลายของคาร์บอนเนตนั้นมีค่าสูงกว่าฟอสเฟตด้วย โดย  $UO_2(CO_3)_3^{4-}$  จะทำปฏิกิริยากับสารสกัด Aliquat 336 ที่อยู่ในวัฏภาคเชื้อแผ่นเหลว โดยจะทำปฏิกิริยากันที่ผิวสัมผัสเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ คือสารประกอบเชิงซ้อน  $(NR_4)_2[UO_2(CO_3)_3]^{2-}$  ในวัฏภาคเชื้อแผ่นเหลว และจะเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเรื่อยๆจนกว่าจะเข้าสู่สมดุล สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.1



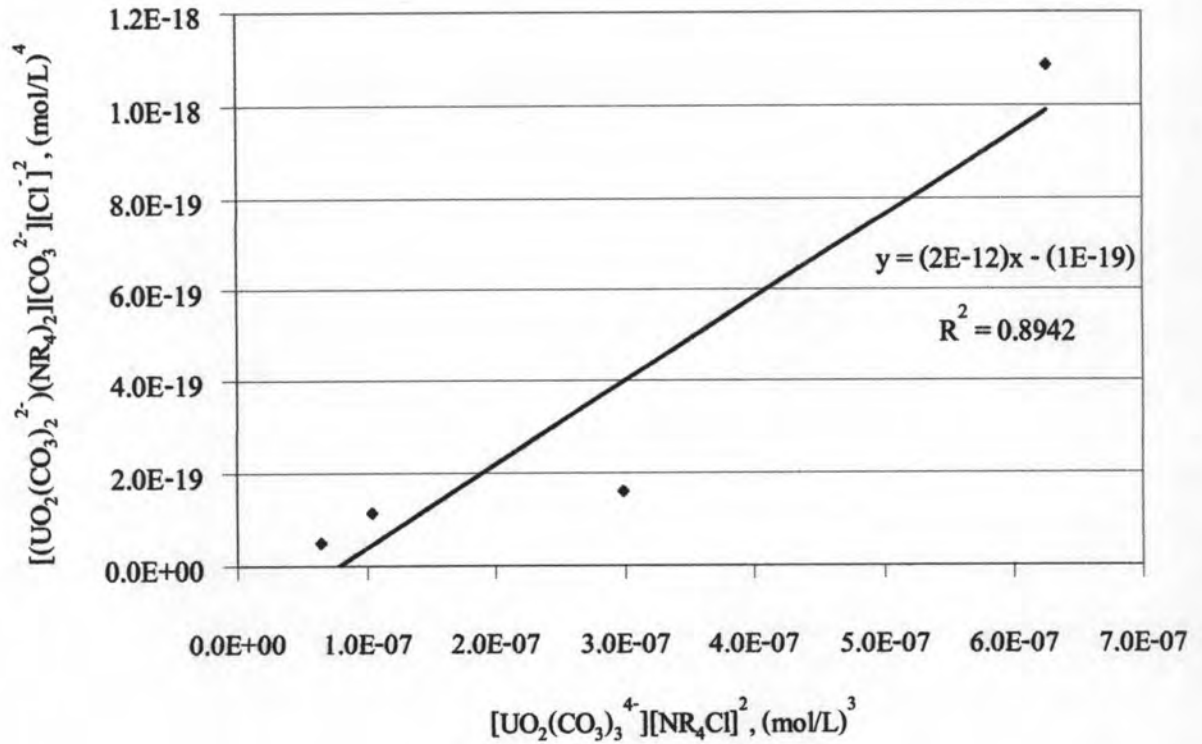
โดยมีค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาดังนี้

$$K_{ex,1} = \frac{[(NR_4)_2[UO_2(CO_3)_3]^{2-}][Cl^-]^2[CO_3^{2-}]}{[UO_2(CO_3)_3^{4-}][\overline{NR_4Cl}]^2} \quad (4.2)$$

ในการทำงานเดียวกันที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคเชื้อแผ่นเหลวกับวัฏภาคสารละลายนำกลับจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับไปเรื่อยๆ จนกว่าปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลดังสมการที่ 4.3 และมีค่าคงที่สมดุลค่าเดียวกันกับปฏิกิริยาไปข้างหน้า แต่แรงขับของปฏิกิริยาการสกัดนี้คือไนเตรด ( $NO_3^-$ ) ฉะนั้นเมื่อความเข้มข้นของไนเตรดทางด้านสารละลายนำกลับมากกว่าด้านสารละลายป้อนก็ยังสามารถสกัดไอออนของโลหะจากสารละลายป้อนให้แพร่มาทางด้านสารละลายนำกลับได้ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของไอออนโลหะทางด้านสารละลายนำกลับจะมีค่ามากกว่าก็ตาม แผนผังการถ่ายเทมวลแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การถ่ายเทมวลในการสกัดไอออนยูเรเนียมด้วยสารสกัด Aliquat 336 และสารละลายนำกลับกรดไนตริก

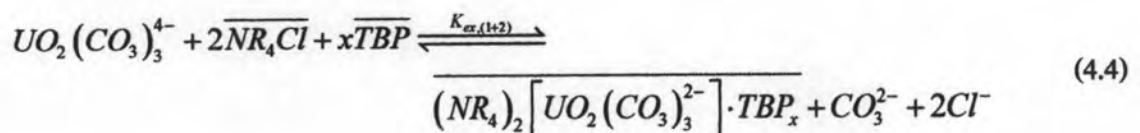


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นสุดท้ายของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อนไตร โซเดียมฟอสเฟต เมื่อใช้สารสกัด Aliquat 336 ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร

จากรูปที่ 4.6 สามารถหาค่าคงที่สมดุลได้จากความชันของกราฟ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $2 \times 10^{-12}$  โมลต่อลิตร

#### 4.3.2 ปฏิกริยาการช่วยสกัดของ TBP

ภายในเยื่อแผ่นเหลวจะมีสารคือนอร์อินที่นี้คือ TBP จะร่วมกันกับสารสกัด Aliquat 336 ในการทำปฏิกริยากับไอออนโลหะ โดยจะทำปฏิกริยากันที่ผิวสัมผัสเกิดเป็นผลิตภัณฑ์สารประกอบเชิงซ้อน  $(NR_4)_2 [UO_2(CO_3)_3] \cdot TBP_x$  อยู่ในวัฏภาคเยื่อแผ่นเหลว และจะเกิดปฏิกริยาไปข้างหน้าเรื่อยๆจนกว่าจะเข้าสู่สมดุล ดังสมการที่ 4.4 [A.G. Gaikwad., 2003][Mercedes E.C. and Jose M., 2001]

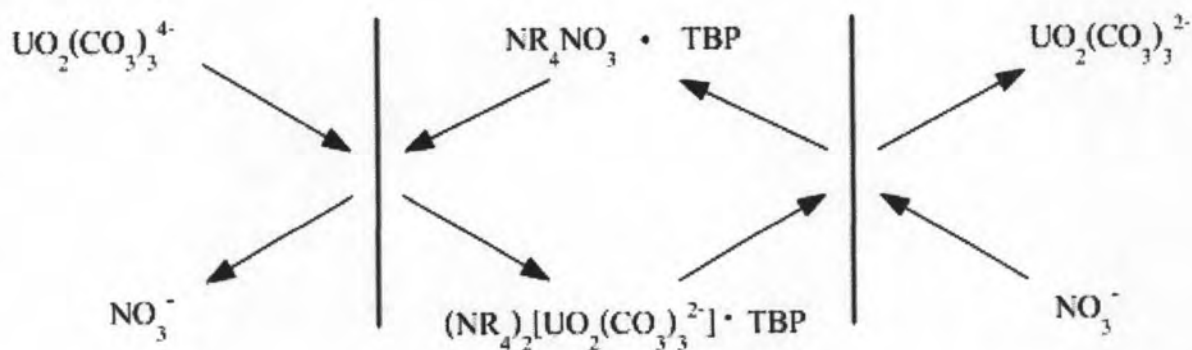
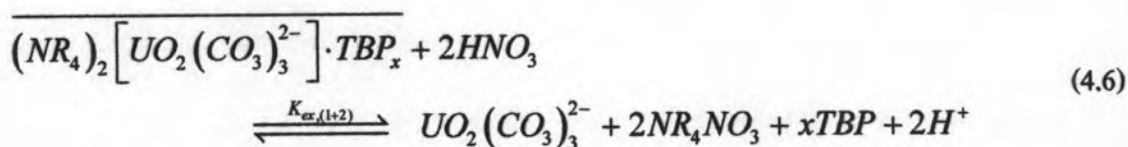




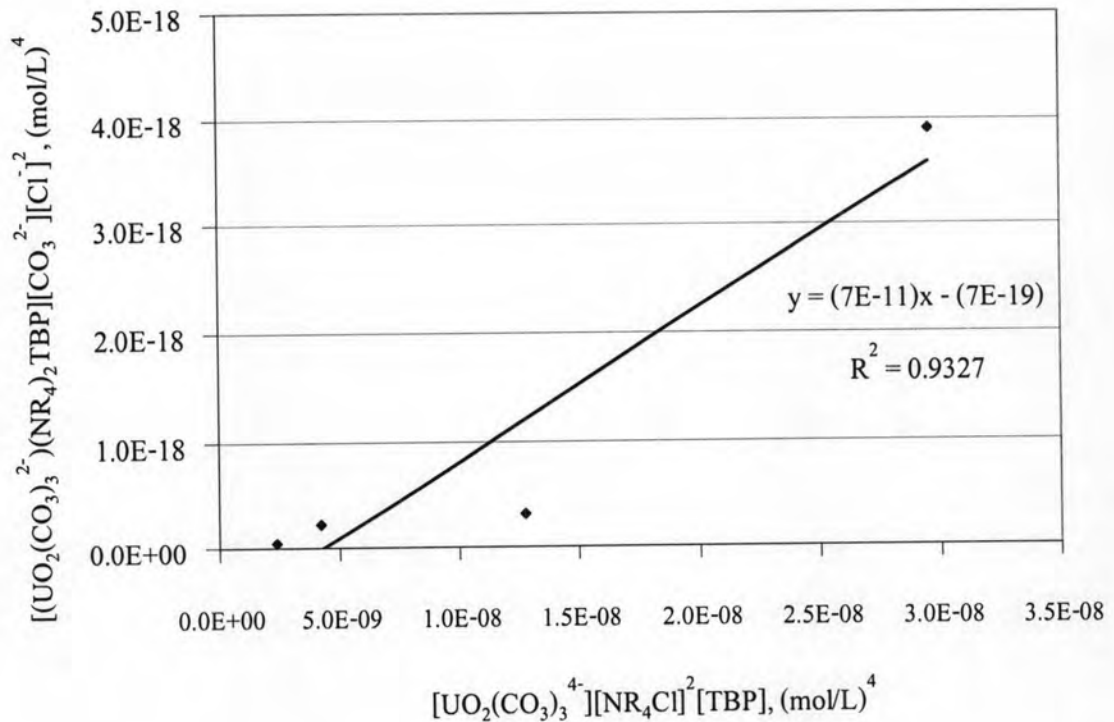
โดยมีค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาดังนี้

$$K_{ex,(1+2)} = \frac{[(NR_4)_2(UO_2(CO_3)_3)^{2-}] \cdot TBP_x [CO_3^{2-}] [Cl^-]^2}{[UO_2(CO_3)_3^{4-}] [TBP]^x [NR_4Cl]^2} \quad (4.5)$$

ในทำนองเดียวกันกับการปฏิกิริยาสกัดด้วย Aliquat 336 ที่ผิวสัมผัสระหว่างวัฏภาคเชื้อแผ่นเหลวกับวัฏภาคสารละลายนำกลับจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับจนกว่าปฏิกิริยาจะเข้าสู่สมดุลดังสมการที่ 4.6 และมีค่าคงที่สมดุลค่าเดียวกันกับปฏิกิริยาไปข้างหน้า แต่แรงขับของปฏิกิริยาการสกัดนี้คือไนเตรต ( $NO_3^-$ ) ฉะนั้นเมื่อความเข้มข้นของไนเตรตทางด้านสารละลายนำกลับมากกว่าด้านสารละลายป้อนก็ยังสามารถสกัดไอออนของโลหะจากสารละลายป้อนให้แพร่มาทางด้านสารละลายนำกลับได้ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของไอออนโลหะทางด้านสารละลายนำกลับจะมากกว่าก็ตาม แผนผังการถ่ายเทมวลแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การถ่ายเทมวลในการสกัดไอออนยูเรเนียมด้วยสารสกัดผสม Aliquat 336 กับ TBP และสารละลายนำกลับกรดไนตริก



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นและความเข้มข้นสุดท้ายของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อนไตรโซเดียมฟอสเฟต เมื่อใช้สารสกัดผสม Aliquat 336 ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตรและ TBP ความเข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร

จากรูปที่ 4.8 สามารถหาค่าคงที่สมดุลได้จากความชันของกราฟ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $7 \times 10^{-11}$

สำหรับสารสกัด TBP นั้นจะไม่เกิดปฏิกิริยาการสกัดกับไอออนยูเรเนียมที่อยู่ในรูป  $UO_2(CO_3)_3^{4-}$  ได้โดยตรง เนื่องจาก TBP นั้นเป็นสารสกัดชนิดที่เป็นกลางซึ่งจะทำปฏิกิริยากับไอออนบวกเท่านั้น ซึ่งในการใช้ TBP เป็นสารสกัดนั้นจะมีค่าร้อยละการสกัดที่น้อยมากหรือแทบจะไม่สกัดเลย ดังรูปที่ 4.1 โดยไอออนยูเรเนียมที่ TBP ทำปฏิกิริยาดังนั้นจะอยู่ในรูป  $UO_2^{2+}$

ดังนั้นค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาจะมีค่าเป็นศูนย์

$$K_{ex,2} = 0 \quad (4.7)$$

เหตุที่ TBP ช่วยให้เกิดการสกัดแบบเสริมฤทธิ์เนื่องจาก TBP จะไปดึงไอออนยูเรเนียมของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการสกัดโดยสารสกัดหลักในสมการที่ 4.1 ทำให้สารสกัดหลักสามารถจับไอออนยูเรเนียมได้มากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาจึงไปข้างหน้ามากขึ้น

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ (Synergistic coefficient, S.C.) คือ

$$S.C. = \log \left[ \frac{K_{ex,1} \frac{[NR_4Cl]^2}{[Cl^-]^2 [CO_3^{2-}]} + K_{ex,2} [TBP] + K_{ex,(1+2)} \frac{[TBP]^x [NR_4Cl]^2}{[Cl^-]^2 [CO_3^{2-}]}}{K_{ex,1} \frac{[NR_4Cl]^2}{[Cl^-]^2 [CO_3^{2-}]} + K_{ex,2} [TBP]} \right] \quad (4.8)$$

เนื่องจากค่า  $K_{ex,2}$  มีค่าน้อย เพราะสามารถจับไอออนโลหะได้น้อยมากจึงให้พจน์นี้มีค่าเป็นศูนย์

$$\therefore K_{ex,2} = 0 \quad (4.9)$$

จากสมการที่ 4.8 จะได้ว่า

$$S.C. = \log \left[ 1 + \frac{K_{ex,(1+2)} \frac{[TBP]^x [NR_4Cl]^2}{[Cl^-]^2 [CO_3^{2-}]}}{K_{ex,1} \frac{[NR_4Cl]^2}{[Cl^-]^2 [CO_3^{2-}]}} \right]$$

$$\therefore S.C. = \log \left[ 1 + \frac{K_{ex,(1+2)} [TBP]^x}{K_{ex,1}} \right] \quad (4.10)$$

จากค่าคงตัวความเสถียรของปฏิกิริยาการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ที่เกิดขึ้นในเชิงแผ่นเหลว

$$\beta_{n,x} = \frac{K_{ex,(1+2)}}{K_{ex,1}} \quad (4.11)$$

สามารถเขียนสมการของปฏิกริยารวมได้เป็น

$$S.C. = \left( 1 + \sum_{i=1}^{i=x} \beta_{n,x} [TBP]^i \right) \quad (4.12)$$

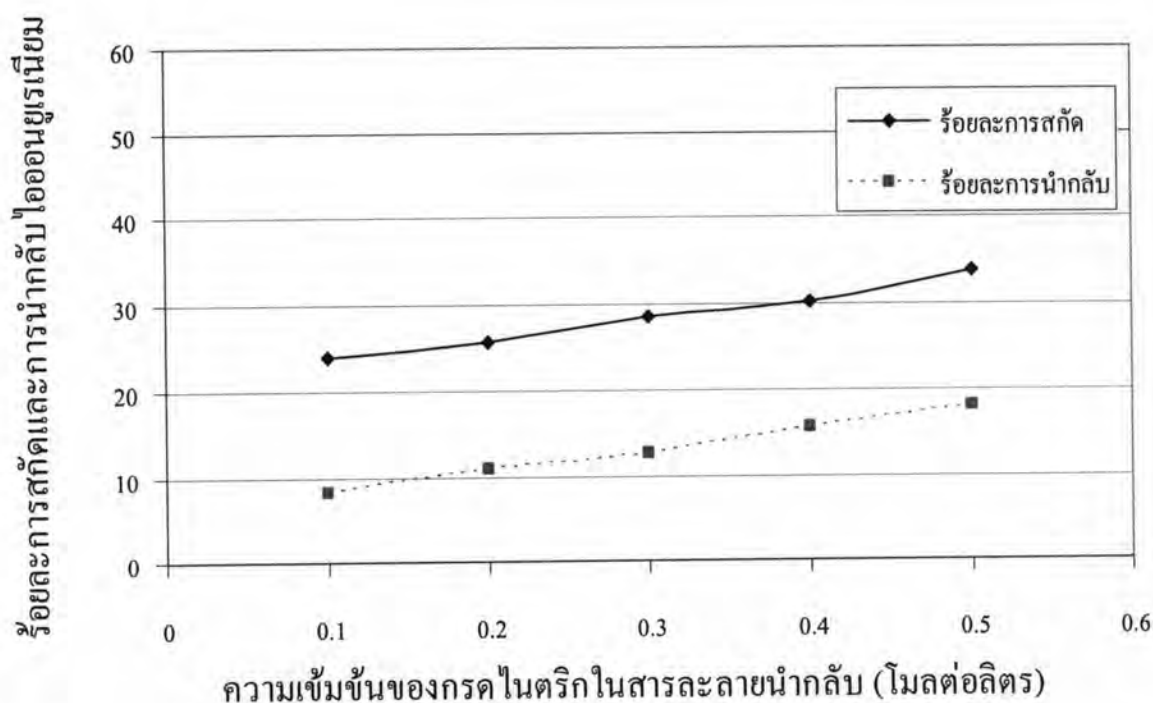
พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ เท่ากับ 0.491 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0 หมายความว่า เกิดการสกัดแบบเสริมฤทธิ์ขึ้น

#### 4.4 ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อนไตรโซเดียมฟอสเฟต

การทดลองนี้ทำการศึกษาความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมในสารละลายป้อนที่มีผลต่อการสกัดยูเรเนียม แต่ในงานวิจัยนี้สารละลายตั้งต้นเตรียมโดยการนำผลึกไตรโซเดียมฟอสเฟตที่มีไอออนยูเรเนียมเจือปนอยู่มาละลายน้ำ ซึ่งจะมีไอออนยูเรเนียมอยู่ประมาณ 45 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งถ้าทำการเจือจางลงเป็น 2, 3 และ 4 เท่า ความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียมจะมีประมาณ 22, 15 และ 10 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ผู้ทำวิจัยเห็นว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเจือจางสารละลายตั้งต้นอีก จึงใช้สารละลายป้อนที่มีความเข้มข้นของไอออนยูเรเนียม 45 ส่วนในล้านส่วน

#### 4.5 ผลของความเข้มข้นของสารละลายนำกลับกรดไนตริกต่อการสกัดไอออนยูเรเนียมจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต

การทดลองนี้ทำการศึกษาความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายนำกลับที่มีผลต่อการสกัดไอออนยูเรเนียม โดยใช้ความเข้มข้นที่ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 โมลต่อลิตร และกำหนดปัจจัยอื่นคงที่ คือ สารสกัด Aliquat 336 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ผสมกับ TBP เข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร สารละลายป้อนไอออนยูเรเนียมเข้มข้นประมาณ 45 ส่วนในล้านส่วน อัตราการไหลของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายนำกลับกรดไนตริกในกับร้อยละการสกัดและการนำกลับไอออนยูเรเนียม

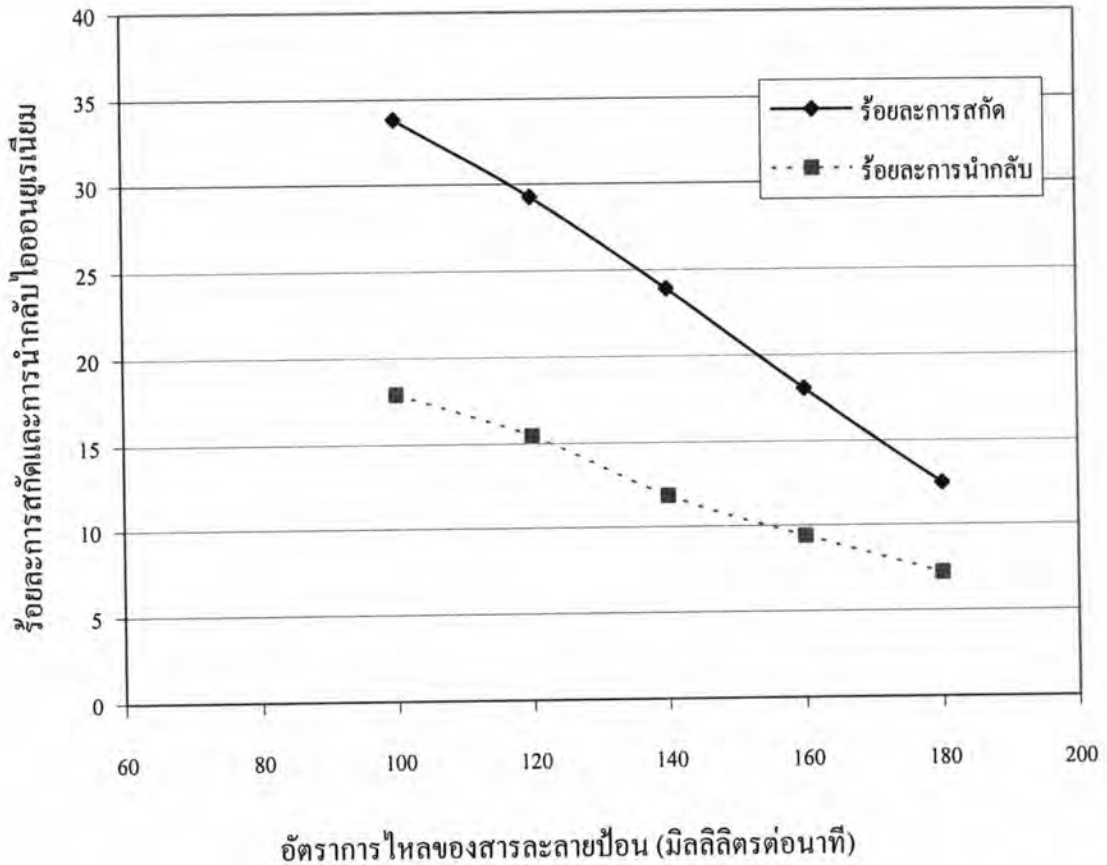
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของกรดไนตริกในสารละลายนำกลับมากขึ้น จะมีค่าร้อยละการสกัดและการนำกลับมากขึ้น ซึ่งตามสมการที่ 4.6 เมื่อกรดไนตริกเข้มข้นมากขึ้นจะส่งผลให้ปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับหลักของเลอชาเตอริเยร์ และเมื่อปฏิกิริยาในสมการที่ 4.6 ไปข้างหน้ามากขึ้นทำให้ปฏิกิริยาในสมการที่ 4.4 ไปข้างหน้ามากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงทำให้สามารถสกัดและนำกลับไอออนยูเรเนียมได้มากขึ้น ในที่นี้กรดไนตริกในสารละลายนำกลับเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร จะมีค่าร้อยละการสกัดและนำกลับไอออนยูเรเนียมมากที่สุด

#### 4.6 ผลของอัตราการไหลของสารละลายป้อนต่อการสกัดไอออนยูเรเนียมจากสารละลาย

##### ไตรโซเดียมฟอสเฟต

การทดลองนี้ทำการศึกษาอัตราการไหลของสารละลายป้อนต่อการสกัดไอออนยูเรเนียมโดยใช้อัตราการไหลต่อปริมาตรที่ 100, 120, 140, 160 และ 180 มิลลิลิตรต่อนาที และกำหนดปัจจัยอื่นคงที่ คือ สารสกัด Aliquat 336 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ผสมกับ TBP เข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร

สารละลายป้อนไอออนยูเรเนียมเข้มข้นประมาณ 45 ส่วนในล้านส่วน สารละลายกรดไนตริกในสารละลายนำกลับเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร อัตราการไหลของสารละลายนำกลับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.10



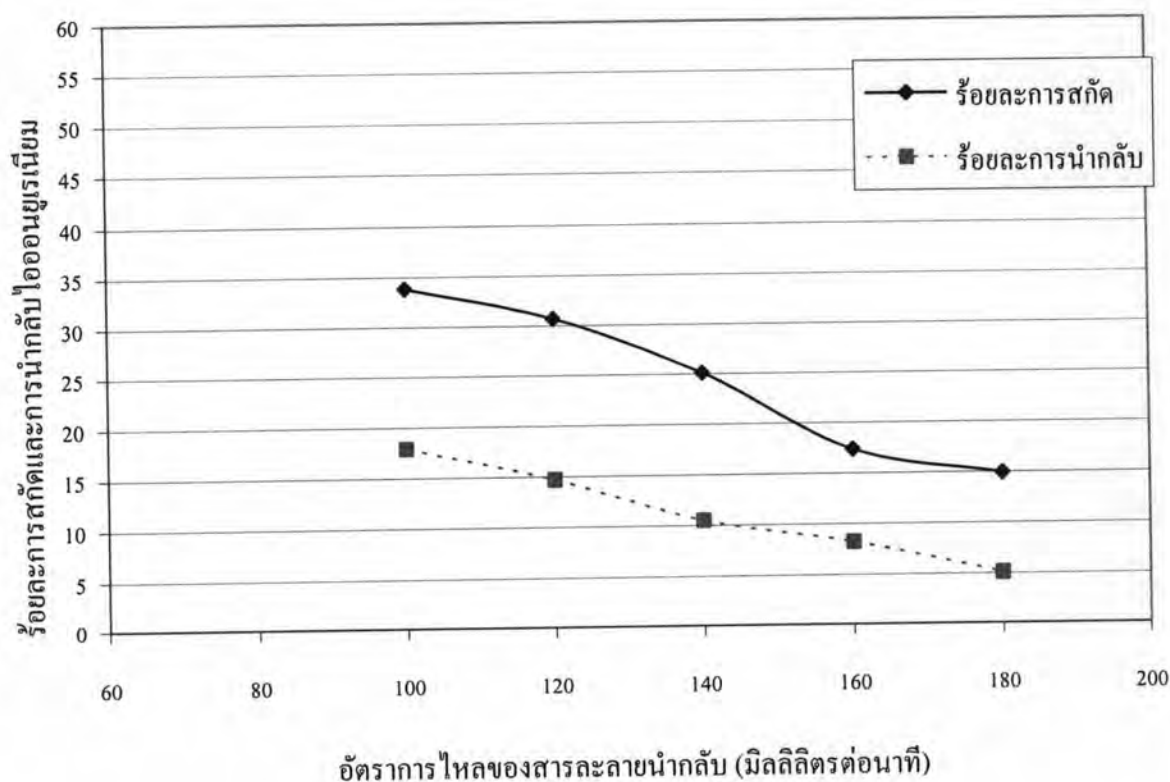
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายป้อนกับรอยละการสกัด และการนำกลับไอออนยูเรเนียม

จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายป้อนมากขึ้นจะทำให้รอยละการสกัดและนำกลับมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากว่าอัตราการไหลที่สูงขึ้นนั้นจะทำให้สารละลายเยื่อแผ่นเหลวที่ฝังตัวอยู่ในรูพรุนของเส้นใยกลวงมีการหลุดออกจากรูพรุนได้ง่ายขึ้น อีกทั้งในการทดลองนี้ได้ใช้อัตราการไหลโดยปริมาตรของสารละลายนำกลับคงที่คือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ดังนั้นถ้าอัตราการไหลของสารละลายป้อนยิ่งสูงขึ้นก็จะส่งผลต่อแรงแคปิลลารีที่ยึดเยื่อแผ่นเหลว ทำให้เยื่อแผ่นเหลวหลุดออกจากรูพรุนได้ง่าย และเวลาในการถ่ายโอนมวลของไอออนจะน้อยลงเมื่ออัตราการไหลเร็วขึ้น



#### 4.7 ผลของอัตราการไหลของสารละลายนำกลับต่อการสกัดไอออนยูเรเนียมจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต

การทดลองนี้ทำการศึกษาอัตราการไหลของสารละลายนำกลับที่มีผลต่อการสกัดไอออนยูเรเนียม โดยใช้อัตราการไหลที่ 100, 120, 140, 160 และ 180 มิลลิลิตรต่อนาที และกำหนดปัจจัยอื่นคงที่ คือ สารสกัด Aliquat 336 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ผสมกับ TBP เข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร สารละลายป้อนไอออนยูเรเนียมเข้มข้นประมาณ 45 ส่วนในล้านส่วน สารละลายกรดไนตริกในสารละลายนำกลับเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร อัตราการไหลของสารละลายป้อน 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.11



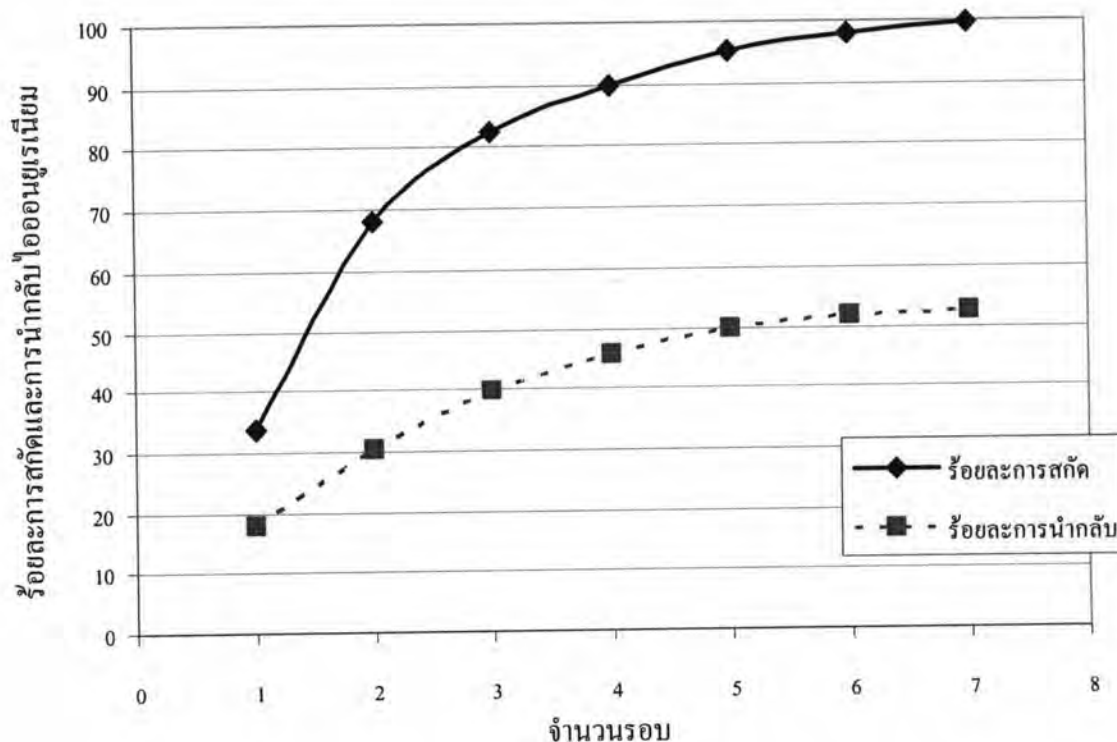
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของสารละลายนำกลับกับร้อยละการสกัดและการนำกลับไอออนยูเรเนียม

จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของสารละลายนำกลับมากขึ้นจะทำให้ร้อยละการสกัดและนำกลับมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากว่าอัตราการไหลที่สูงขึ้นนั้นจะทำให้สารละลายเชื่อมแผ่นเหลวที่ฝังตัวอยู่ในรูพรุนของเส้นใยกลวงมีการหลุดออกจากรูพรุนได้ง่ายขึ้น อีกทั้งในการทดลองนี้ได้ใช้

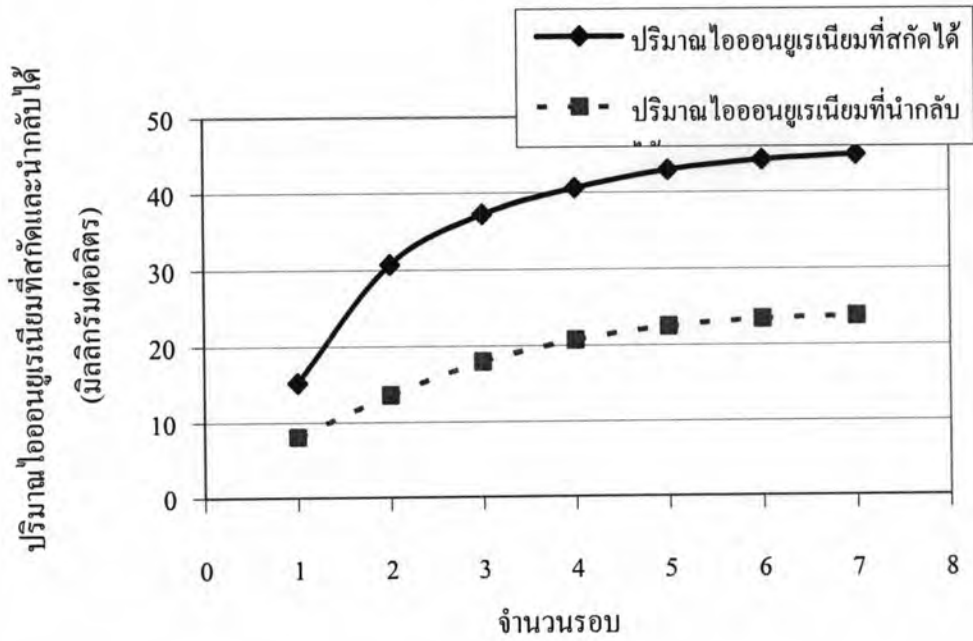
อัตราการไหลโดยปริมาตรของสารละลายป้อนคงที่คือ 100 มิลลิลิตรต่อนาที ดังนั้นถ้าอัตราการไหลของสารละลายป้อนยิ่งสูงขึ้นก็จะส่งผลต่อแรงแคปิลลารีที่ยึดเยื่อแผ่นเหลว ทำให้เยื่อแผ่นเหลวหลุดออกจากรูพรุนได้ง่าย และเวลาในการถ่ายโอนมวลของไอออนจะน้อยลงเมื่ออัตราการไหลเร็วขึ้น

#### 4.8 ผลของจำนวนรอบในการสกัดไอออนยูเรเนียมจากสารละลายไตรโซเดียมฟอสเฟต

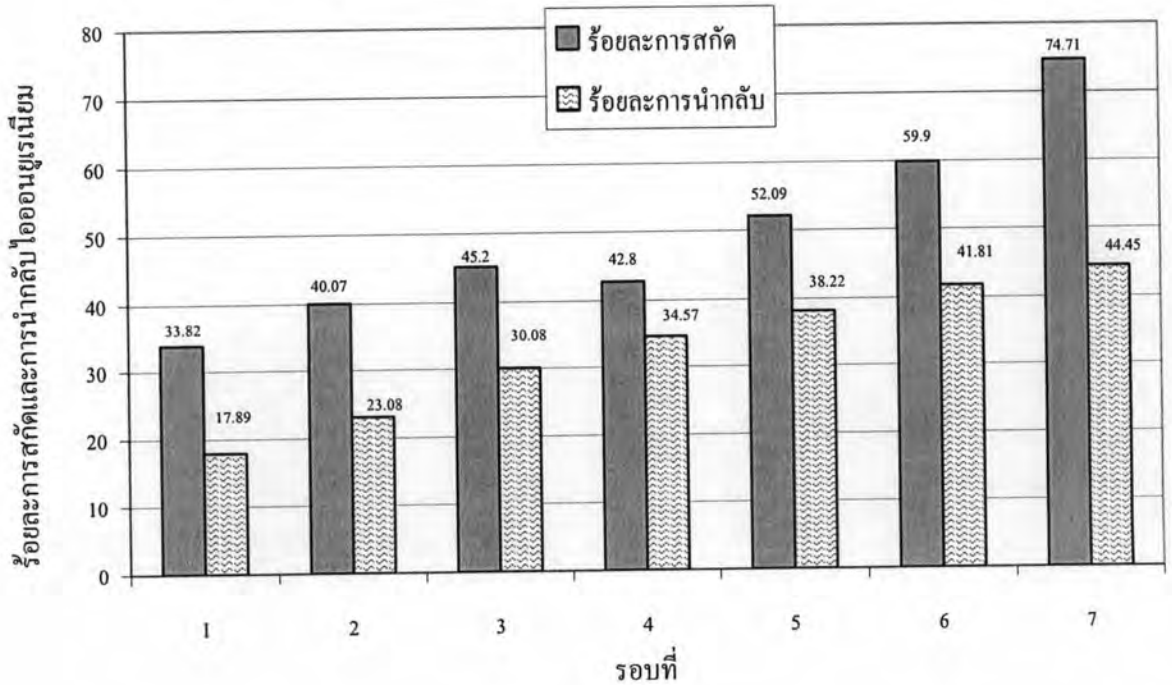
การทดลองนี้ทำการศึกษาจำนวนรอบในการสกัดไอออนยูเรเนียม โดยในการสกัดรอบแรกนั้นใช้สารละลายป้อนไอออนยูเรเนียมเข้มข้นประมาณ 45 ส่วนในล้านส่วน ส่วนการสกัดรอบที่สองและรอบที่สามจะใช้สารละลายป้อนด้านขาออกของการสกัดรอบแรกและรอบที่สองตามลำดับ และกำหนดปัจจัยคงที่ต่าง ๆ คือ สารสกัด Aliquat 336 เข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร ผสมกับ TBP เข้มข้น 0.06 โมลต่อลิตร สารละลายกรดไนตริกในสารละลายนำกลับเข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร อัตราการไหลโดยปริมาตรของสารละลายป้อนและสารละลายนำกลับ 100 มิลลิลิตรต่อนาที รูปแบบการไหลเป็นแบบสวนทางกัน และเป็นการไหลผ่านครั้งเดียว ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.12 ถึง 4.14



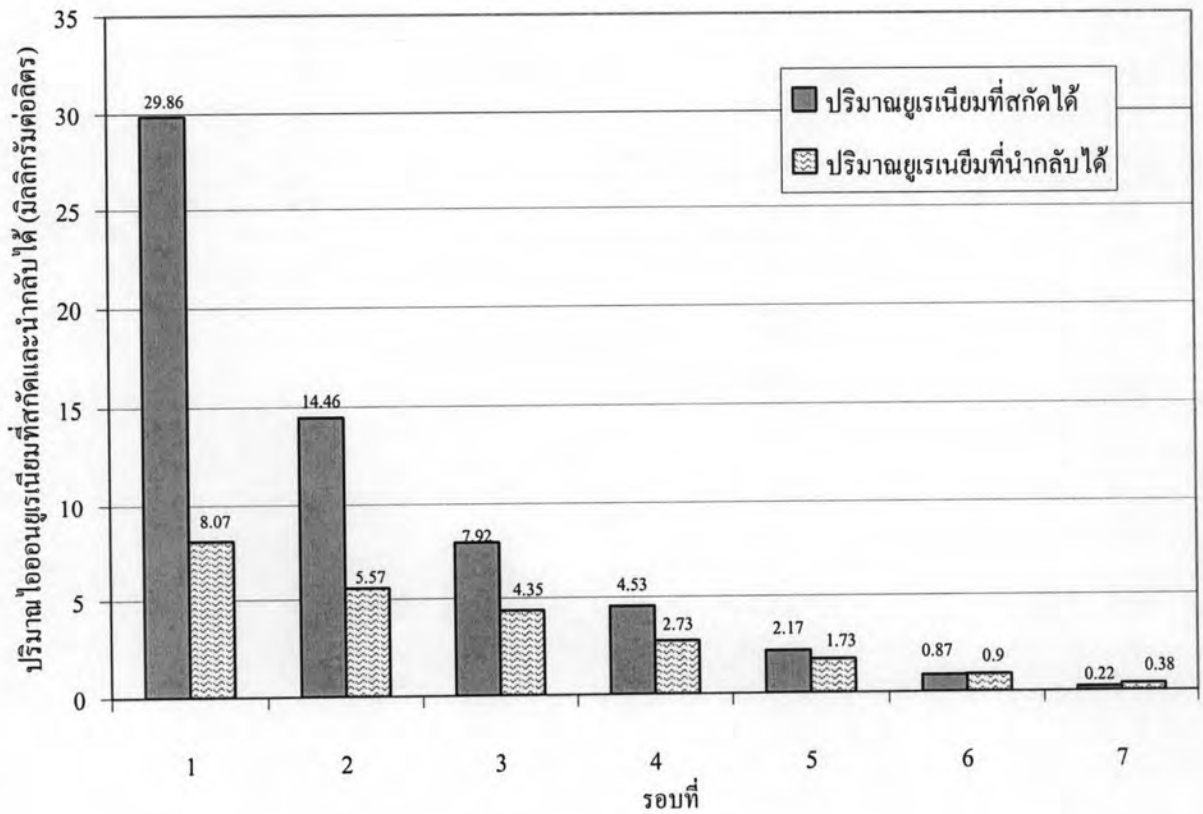
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการสกัดกับร้อยละการสกัดและการนำกลับยูเรเนียมสะสม



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการสกัดไอออนยูเรเนียมกับปริมาณที่สกัดและนำกลับได้



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการสกัดไอออนยูเรเนียมกับร้อยละการสกัดและการนำกลับของแต่ละรอบการสกัด



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการสกัดไอออนูรีเนียมกับปริมาณที่สกัดและนำกลับได้ของแต่ละรอบการสกัด

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อทำการสกัดหลายรอบขึ้นจะได้ร้อยละการสกัดและการนำกลับไอออนูรีเนียมสะสมที่มากขึ้น และจากรูปที่ 4.13 ร้อยละการสกัดและการนำกลับไอออนูรีเนียมของแต่ละรอบการสกัดจะสูงขึ้น โดยที่ในรอบที่ 7 นั้นจะสามารถสกัดยูเรเนียมได้รวมร้อยละ 99.51 โดยปริมาณไอออนูรีเนียมที่สกัดได้คือ 44.9 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งจะเหลือไอออนูรีเนียมในสารละลายเท่ากับ 0.22 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถนำกลับไอออนูรีเนียมได้ร้อยละ 52.59 โดยปริมาณไอออนูรีเนียมที่นำกลับได้คือ 23.73 มิลลิกรัมต่อลิตร