# REMOVAL OF TRACE CADMIUM IONS USING CONTINUOUS MULTISTAGE ION FOAM FRACTIONATION

Visarut Rujirawanich

A Dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy
The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University
in Academic Partnership with
The University of Michigan, The University of Oklahoma,
and Case Western Reserve University
2011

| | |
|---|---|
| **Thesis Title:** | Removal of Trace Cadmium Ions Using Continuous Multistage Ion Foam Fractionation |
| **By:** | Visarut Rujirawanich |
| **Program:** | Petrochemical Technology |
| **Thesis Advisors:** | Prof. Sumaeth Chavadej |
| | Prof. John H. O'Haver |
| | Assoc. Prof. Ratana Rujiravanit |

---

Accepted by The Petroleum and Petrochemical College, Chulalongkorn University, in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.

..... College Dean
(Asst. Prof. Pomthong Malakul)

**Thesis Committee:**

..... (Asst. Prof. Pomthong Malakul)

..... (Prof. Sumaeth Chavadej)

..... (Prof. John H. O'Haver)

..... (Assoc. Prof. Ratana Rujiravanit)

..... (Asst. Prof. Thammanoon Sreethawong)

..... (Assoc. Prof. Adrian E. Flood)

# บทคัดย่อ

วิศรุต รุจิรวนิช : การแยกไอออนแคดเมียมปริมาณน้อยมากโดยการแยกลำดับส่วนฟองไอออนแบบต่อเนื่อง (Removal of Trace Cadmium Ions Using Continuous Multistage Ion Foam Fractionation) อ. ที่ปรึกษา : ศ. ดร. สุเมธ ชวเดช ศ. ดร. จอห์น เอช โอฮาเวอร์ และ รศ. ดร. รัตนา รุจิรวนิช

ในการศึกษานี้ คอลัมน์สัดส่วนฟองไอออนหลายขั้นตอนแบบต่อเนื่องที่มีถาดประกอบด้วยถ้วยฟองถูกนำมาใช้เพื่อแยกไอออนแคดเมียมจากน้ำที่มีความเข้มข้นแคดเมียมในระดับต่ำ (10 มก./ล.) และโซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (SDS) ถูกใช้สร้างฟอง ในการทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมสูงสุดในรูปของอัตราส่วนการกำจัด แฟคเตอร์การแยก และแฟคเตอร์ที่เหลือของแคดเมียม ระบบต้องถูกควบคุมให้มีการขนส่งในแบบดูดซับสูงสุดด้วยมีการขนส่งแบบของเหลวต่ำสุด ในการเพิ่มของอัตราส่วนโมล SDS ต่อแคดเมียมในน้ำสามารถเพิ่มการกำจัดไอออนแคดเมียมอย่างมีนัยสำคัญ สัดส่วนโมลของ SDS ต่อแคดเมียมในน้ำของฟอง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนทางทฤษฎีที่เท่ากับ 2 ต่อ 1 ในการดูดซับบนผิวอากาศต่อน้ำของฟองภายใต้สภาวะการทำงานที่เหมาะสม ระบบที่ศึกษานี้สามารถแยกไอออนแคดเมียมได้สูงกว่า 99 เปอร์เซนต์ การมีไอออนร่วม ($SO_4^{2-}$, $NO_3^-$, และ $Cl^-$) พบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดทั้ง SDS และไอออนแคดเมียม แต่ทางตรงกันข้ามพบว่า การเติมไอออนตรงกันข้าม ($Na^+$, $K^+$, $Ca^{2+}$ และ $Mg^{2+}$)มีผลทำให้การกำจัดแคดเมียมลดลงแต่การแยก SDS สูงขึ้น ในการเติมไอออนบวกที่มีวาเลนซีสอง ($Ca^{2+}$ และ $Mg^{2+}$) ให้ผลสูงกว่าการเติมไอออนบวกที่มีวาเลนซีหนึ่ง ($Na^+$และ $K^+$) ทั้งนี้เพราะไอออนบวกที่มีวาเลนซีสองสามารถดูดซับร่วมกับ SDS ได้ดีกว่าไอออนบวกที่มีวาเลนซีหนึ่ง

# ABSTRACT

4981002063: Petrochemical Technology Program
Visarut Rujirawanich: Removal of Trace Cadmium Ions Using Continuous Multistage Ion Foam Fractionation.
Thesis Advisors: Prof. Sumaeth Chavadej, Prof. John H. O'Haver, and Assoc. Prof. Ratana Rujiravanit 132 pp.
Keywords: Ion foam fractionation/ Heavy metal/ Cadmium removal

In this work, a continuous multistage ion foam fractionation column with bubble-cap trays was used to remove cadmium ions from water having a low cadmium concentration (10 mg/L) and sodium dodecyl sulphate (SDS) was used to generate the foam. To optimize the removal efficiency of cadmium ions in terms of enrichment ratio, removal, separation factor and residual factor of cadmium, the system has to be operated to have the highest adsorptive transport with the lowest bulk liquid transport. An increase in feed SDS/Cd molar ratio enhanced significantly the removal of cadmium ions. The molar ratio of SDS/Cd in foamate was found to be close to the theoretical adsorption molar ratio of 2/1 on the air–water interface of foam. Under the optimum operational conditions, the studied multistage ion foam fractionation system was able to remove cadmium ions greater than 99 %. The presence of added co-ions ($SO_4^{2-}$, $NO_3^-$, and $Cl^-$) was found to exhibit no effect on the removal efficiency of both SDS and cadmium ions. In contrast, the addition of counterions ($Na^+$, $K^+$, $Ca^{2+}$, and $Mg^{2+}$) decreased the cadmium removal whereas it increased the SDS separation. The added divalent cations ($Ca^{2+}$ and $Mg^{2+}$) gave the higher effect than the added monovalent cations ($Na^+$ and $K^+$) because the divalent cations can co-adsorb more preferentially than the monovalent ones with the SDS.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work is dedicated to my beloved parents who have gone forever from my life but will stay constantly in my memory.

I had never dreamt of attending Ph.D. program until one day in March, 2007 when I met Assoc. Prof. Ratana Rujiravanit by chance. No one still knows whether good or bad on this way but I would like to give appreciative thanks to her who encouraged me to attend Ph.D. program when I was a second year Master's degree student. My Ph.D. experience would not have begun Prof. Sumaeth Chavadej had not selected me as his student for RGJ scholarship received. I would like to give deeply grateful thanks for the great opportunity and support. It's my honour to work with and learn so great lessons, ranging from lifestyle to academic subject, from him. Without such the good and generous advisor, this book is not possible to be finished. I would like to give thanks to Asst. Prof. Pomthong Malakul, Asst. Prof. Thammanoon Sreethawong, and Assoc. Prof. Adrian E. Flood for being as my dissertation committees and their useful suggestions on this work. I am grateful for the scholarship and funding of the thesis work provided by the Royal Golden Jubilee Ph.D Program; the Petroleum and Petrochemical College; and the National Center of Excellence for Petroleum, Petrochemicals, and Advanced Materials, Thailand.

I would like to thank Prof. John H. O'Haver, Prof. Robert B. Albritton, and Ms. Nantaporn Albritton for taking care of me during visit to US, especially when I had a surgery. I specially thank to Prof. John H. O'Haver for great advice and recommendation on this work.

On the day of Wai Kru ceremony 2010, I missed an excellent English teacher forever, Mr. Robert Wright, who improves my English skill. Thank him for reviewing and grammatical correcting my papers. Without aid of PPC staffs, this work cannot be done successfully. I would like to thank all PPC staffs, especially Ms. Jintana Chumnunmanoonthum, Mr. Polrat Mansripatanakul, and Ms. Waeonet Mansripatanakul. Among my friends, I would like to mention my best friend, Ms. Thritima Sritapunya, who has made an invaluable to this work, in my memory. Lastly, thanks to the earth for providing natural resources and energy for this work.

## TABLE OF CONTENTS

**CHAPTER** **PAGE**

CHAPTER PAGE

**CHAPTER** **PAGE**

# LIST OF TABLES

**TABLE** **PAGE**

# LIST OF FIGURES

**FIGURE** **PAGE**

**FIGURE** **PAGE**

**CHAPTER IV**

**FIGURE** **PAGE**

**FIGURE** **PAGE**