บทที่ 5

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

(DISCUSSION AND CONCLUSION)

จากการศึกษาลักษณะของ absorption spectra ของสารละลาย catechol violet , ของสารละลายของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง catechol violet กับดีบุก (IV) และของสารละลาย ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างดีบุก (IV) กับ catechol violet และ CTAB พบว่าสารละลายแต่ละชนิดดูดกลืนแสงได้มากที่สุด (maximum absorption) ที่ความยาวคลื่น 443.5 nm , 552 nm. และที่ความยาวคลื่น 662.5 nm ตามลำดับ (รูปที่ 1) จะเห็นได้ว่าสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดเป็น binary และ ternary complex ทำให้ค่าความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงมากที่สุดเคลื่อนไปในทางที่ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น (bathochromic shift) ทำให้สะดวกแก่การหาปริมาณของดีบุกได้ผลถูกต้องยิ่งขึ้นและป้องกันข้อผิดพลาดอันอาจจะเกิดจากปริมาณของ catechol violet ที่เติมลงไปมากเกินพอ

จากการศึกษาหาปริมาณดีบุกโดยวิธีสเปคโตรโฟโตเมตรีโดยใช้วิธีทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีระหว่างดีบุก (IV) กับ catechol violet และ cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) เมื่อใช้สารละลายดีบุก (IV) มาตรฐาน พบว่าจะได้กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรง (รูปที่ 2) ทั้งที่ใช้โซดาอินสกัดและที่ไม่ได้ใช้โซดาอินสกัด จากการหาเปอร์เซ็นต์ของการสกัดดีบุก (IV) ออกจากสารอื่นด้วยโซดาอินนั้นก็นับว่าความสามารถของการสกัดได้ผลดี (ประมาณ 90%) ในช่วงประมาณของดีบุก 4 - 30 ไมโครกรัม จากการตรวจหาปริมาณของดีบุกในอาหารกระป๋องชนิดต่าง ๆ (ตารางที่ 3) และจากบริษัทผู้ผลิตต่าง ๆ กัน รวมทั้งเก็บไว้เป็นเวลาต่างกัน พบว่ามีปริมาณดีบุกน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 250 ppm แต่พบว่าอาหารที่มีความเป็นกรด 3.0 - 3.7 มีปริมาณของดีบุกละลายออกมามากกว่า 100 ppm ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเป็นพวกน้ำผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เพราะกรดเป็นตัวที่ทำให้ดีบุกละลายออกมาได้ดีกว่า

แต่ถ้าเป็นอาหารที่มีน้ำตาลผสมอยู่ด้วยแม้จะมีความเป็นกรด (pH) ต่ำก็ตาม จะช่วยลดการละลายของดีบุกได้บ้าง หรืออาหารที่มีความเป็นกรด (pH) สูง การละลายของดีบุกจะน้อยลงไป (ตารางที่ 3) ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของอาหารกระป๋องด้วย

ปริมาณของดีบุกในอาหารกระป๋องอย่างเดียวกันซึ่งเก็บไว้นานขึ้นไปอีก พบว่าการละลายของดีบุกจะไม่เพิ่มขึ้นมากนัก (ตามตารางที่ 4) แต่ถ้าเปิดกระป๋องทิ้งไว้ในอากาศจะทำให้ดีบุกละลายได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเหล็ก (III) (ferric ion) และออกซิเจนในอากาศเป็นตัวช่วยทำให้ดีบุกละลายได้ดียิ่งขึ้น และทำให้ดีบุก (II) กลายเป็นดีบุก (IV) แล้วเกิดเป็นสารเชิงซ้อนทำให้ดีบุกละลายออกมาได้ดียิ่งขึ้น

สำหรับการศึกษาการละลายของดีบุกในสารละลายต่าง ๆ กันจะเห็นว่าการละลายของดีบุกจะมีมากในช่วง 2 อาทิตย์แรกแล้วจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นว่ากราฟที่ได้จะค่อย ๆ โค้งลง ในกรณีที่ใช้กรดแก่เช่นใช้กรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟูริกนั้น การละลายของดีบุกจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเป็นกรดเพิ่มขึ้น สำหรับกรดไฮโดรคลอริกถ้าความเป็นกรดน้อย ๆ (pH 2) จะละลายดีบุกได้ดีกว่ากรดซัลฟูริก ทั้งนี้เนื่องจากดีบุกสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกว่ากรดซัลฟูริก แต่ถ้าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น (pH 4) กรดซัลฟูริกจะละลายดีบุกได้ดีกว่า ส่วนในกรณีที่ใช้สารละลายเป็นพวกกรดอ่อนเช่นกรดอะซีติก กรดซิตริกและกรดทาร์ทาริกนั้น เมื่อใช้สารละลายที่ความเป็นกรดต่ำ ๆ (pH 2,3) จะละลายดีบุกออกมาได้มากเพราะมีปริมาณเนื้อกรดมากกว่าสารละลายที่มีความเป็นกรดสูง (pH 4,5) และกรดพวกนี้สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกว่าพวกกรดแก่ แต่ถ้าจะเปรียบเทียบการละลายของดีบุกในกรดทั้ง 3 ชนิดนี้จะเห็นได้ว่าทั้งกรดซิตริกและกรดทาร์ทาริกละลายดีบุกได้ดีกว่ากรดอะซีติก เพราะดีบุก (IV) เกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกว่า แต่เมื่อใช้สารละลายที่มีความเป็นกรดสูงขึ้น (pH 4,5) จะละลายดีบุกออกมาได้มีปริมาณพอ ๆ กัน

การละลายของดีบุกในสารละลายเชื่อกันว่า เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของดีบุกกับลิแกน L ของกรด HL หรือ H_2L สารประกอบเชิงซ้อนตัวใดมีค่า equilibrium constant (K) มากกว่าและอยู่ตัวมากกว่า นั่นคือจะทำให้โลหะนั้นละลายออกมาในสารละลายได้มากกว่า ถ้าเปรียบเทียบค่า equilibrium constant (K) ของสาร

ประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นเมื่อดีบุกละลายอยู่ในสารละลายกรดซิตริกมีค่า $K=(4.5\pm0.6)X10^{7}$ ที่ pH 2.1 - 4.0 และในสารละลายกรดทาร์ทาริกมีค่า $K=(4.6\pm1.0)X10^{6}$ (35) จะเห็นว่าสารประกอบเชิงซ้อนในสารละลายกรดทาร์ทาริกอยู่ตัวน้อยกว่า ดังนั้นดีบุกจึงควรละลายในกรดทาร์ทาริกได้น้อยกว่าในสารละลายกรดซิตริกซึ่งตรงกับผลงานของการทดลอง และจากผลของการทดลองพบว่าดีบุกควรจะละลายในกรดทาร์ทาริกได้น้อยกว่าในกรดอะซีติก แต่จากผลของการทดลองปรากฏว่าดีบุกละลายได้มากกว่า ซึ่งทั้งนี้เป็นเพราะการละลายของดีบุกนั้นมีผลมาจากหลายกรณีด้วย จะพิจารณาเฉพาะจากค่า equilibrium constant หรือ association constant ของสารประกอบเชิงซ้อนเท่านั้นไม่ได้ เพราะ association constant ของกรดซิตริก $=1.80X10^{-5}$ ของกรดทาร์ทาริก $=4.55X10^{-5}$ และของกรดอะซีติก $=1.76X10^{-5}$ จะเห็นว่า association constantของกรดซิตริกมีค่าใกล้เคียงกับของกรดอะซีติก แสดงว่าดีบุกก็ควรละลายได้ใกล้เคียงกันในกรดทั้งสองนี้ แต่ดีบุกกลับละลายได้ในกรดซิตริกได้มากกว่าซึ่งอาจจะอธิบายได้โดยอาศัยดูจากค่า potential ของดีบุกในสารละลายเหล่านั้น Willey (37) ได้ทำการทดลองวัดค่า potential ของดีบุกในสารละลายกรดอะซีติกและกรดซิตริก พบว่าในสารละลายกรดอะซีติกมีค่า potential ของดีบุกเป็นลบน้อยกว่าและในสารละลายกรดซิตริกค่า potential ของดีบุกเป็นลบมากกว่าเหล็ก แสดงว่าดีบุกเมื่ออยู่ในสารละลายกรดซิตริกจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่าจึงละลายได้มากกว่า

สำหรับในกรณีที่ศึกษาการละลายของดีบุกในด่าง เช่น ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ pH 8-12(ตารางที่ 10) จะเห็นว่าดีบุกละลายได้ดีเมื่อสารละลายมี pH สูง ๆ ที่เป็นเช่นนี้เพราะดีบุกอิออนมีความสามารถรวมตัวได้กับอิออนอื่น ๆ เนื่องจากดีบุกเป็น amphoteric element

ส่วนในกรณีการศึกษาการละลายของดีบุกที่มีต่อสารประกอบอื่น ๆ เช่น เกลือไนเตรต เกลือคลอไรด์และน้ำตาล ในสารละลายที่เป็นกรดซิตริกและกรดอะซีติก (ตารางที่ 11, 12, 13) พบว่าเกลือไนเตรตจะช่วยทำให้ดีบุกละลายได้ดีขึ้น เพราะดีบุกจะถูกออกซิไดซ์เป็นดีบุก (II) ไนเตรตจะถูกรีดิวซ์เป็นไนไตรต์ ซึ่งไนไตรต์นี้ยังสามารถออกซิไดซ์ดีบุกให้เป็นดีบุก (II) ได้อีกด้วย ปฏิกิริยาจะเกิดเป็นลูกโซ่ดังกล่าว

โดยมีออกซิเจนเป็นตัวเร่ง (37) ส่วนเกลือคลอไรด์ ที่มีปนอยู่ในสารละลายก็สามารถช่วยให้ดีบุกละลายเพิ่มขึ้นด้วย แต่น้ำตาลที่มีปนอยู่ในสารละลายจะเป็นตัวช่วยลดการละลายของดีบุกให้น้อยลง

ในการทดลองที่ศึกษาการละลายของดีบุกที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ เป็นการทดลองที่มีอากาศปนอยู่บ้าง ซึ่งออกซิเจนและเหล็ก (III) จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการละลายของดีบุกดีขึ้นกว่าการทดลองที่เป็นสูญญากาศ (ตารางที่ 14) ซึ่งแม้ว่าจะแช่ไว้ในกรดไฮโดรคลอริกและกรดอะซีติกเป็นเวลา 240วันก็ตรวจไม่พบว่ามีดีบุกละลายออกมา แต่เมื่อทิ้งไว้ 240 วันจะมีดีบุกละลายออกมาบ้างเล็กน้อย

ดังนั้นจะเห็นว่า ในการบรรจุอาหารกระป๋อง ถ้าสามารถทำให้ภายในกระป๋องเป็นสูญญากาศได้ จะช่วยลดการละลายของดีบุกได้อย่างดี จากการทดลองครั้งนี้ผู้เขียนคิดว่าคงจะได้รับประโยชน์บ้าง อย่างน้อยก็เป็นการกระตุ้นเตือนให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมทำเครื่องกระป๋องได้ระวังถึงอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้บริโภค ในกรณีที่อาหารบางชนิดมีส่วนประกอบที่ช่วยทำให้ดีบุกละลายออกมาได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารกระป๋องที่เก็บไว้นานจนเกินไปย่อมจะมีดีบุกละลายออกมามีปริมาณมากพอที่จะเป็นอันตรายได้ ผู้เขียนคิดว่าองค์การรัฐบาลที่มีหน้าที่ควบคุมโรงงานเหล่านี้ควรจะได้มีมาตรฐานและมาตรการป้องกันเกี่ยวกับเรื่องเหล่านี้ โดยคำนึงถึงอันตรายที่อาจเกิดกับประชาชนคนไทยโดยส่วนรวม