

## บทที่ 8

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

**8.1 การเตรียมและทดสอบประสิทธิภาพของอะทาลิโคลัมน์ประเภทซิลิกามอนอลิตและหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับแยกสารกลุ่มฟีนอกซีแอซิด และบิสฟีนอลเอไดโกลซิลิโธเทอร์ บิสฟีนอลเอฟไดโกลซิลิโธเทอร์ และอนุพันธ์**

ได้เตรียมอะทาลิโคลัมน์ประเภทซิลิกามอนอลิตที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 และ 200  $\mu\text{m}$  โดยให้เกิดปฏิกิริยาผ่านกระบวนการ sol-gel และนำไปทดสอบประสิทธิภาพอะทาลิโคลัมน์โดยใช้สารทดสอบเป็นยูราซิลและเฟสเคลื่อนที่เป็น 80% เมทานอล เฉพาะอะทาลิโคลัมน์ที่มีความสูงของเพลตน้อยกว่า 8  $\mu\text{m}$  หรือจำนวนเพลตมากกว่า  $1.25 \times 10^5$  เพลต/เมตร แสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง แล้วจึงนำไปปรับปรุงพื้นผิวซิลิกามอนอลิตให้มีเฟสคงที่เป็น octadecyl (ODS) และ poly(octadecyl metharylat) (ODM) และนำไปทดสอบประสิทธิภาพอะทาลิโคลัมน์โดยใช้สารทดสอบเป็นยูราซิลและอัลคิลเบนซีนที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 1-6 (C1-C6) และเฟสเคลื่อนที่เป็น 80% เมทานอลและ 80% อะซิโตนไนโตรส จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบ ODS และ ODM พบว่า ODM มีความไฮโดรโฟบิกมากกว่าเนื่องจากมีความหนาแน่นของสาย C18 มากกว่า

เมื่อนำอะทาลิโคลัมน์ ODS และ ODM ที่เตรียมได้มาใช้สำหรับแยกสารกลุ่มฟีนอกซีแอซิด และบิสฟีนอลเอไดโกลซิลิโธเทอร์ บิสฟีนอลเอฟไดโกลซิลิโธเทอร์ และอนุพันธ์ เปรียบเทียบกับการแยกด้วย conventional HPLC พบว่า สามารถแยกสารกลุ่มฟีนอกซีแอซิดได้ทั้งใน conventional HPLC และ  $\mu\text{HPLC}$  ที่เป็นอะทาลิโคลัมน์ ODS โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายกรด:ตัวทำละลายอินทรีย์ (เมทานอลหรืออะซิโตนไนโตรส) ด้วย gradient elution และสามารถแยกสารกลุ่มบิสฟีนอลเอไดโกลซิลิโธเทอร์ บิสฟีนอลเอฟไดโกลซิลิโธเทอร์ และอนุพันธ์ได้ทั้งใน conventional HPLC และ  $\mu\text{HPLC}$  ที่เป็นอะทาลิโคลัมน์ ODS เช่นเดียวกัน โดยใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นน้ำ:เมทานอลด้วย gradient elution ในขณะที่ไม่สามารถแยกสารทั้งกลุ่มฟีนอกซีแอซิด และบิสฟีนอลเอไดโกลซิลิโธเทอร์ บิสฟีนอลเอฟไดโกลซิลิโธเทอร์ และอนุพันธ์ได้สมบูรณ์ด้วย  $\mu\text{HPLC}$  ที่เป็นอะทาลิโคลัมน์ ODM เนื่องจากพิกที่ได้มีลักษณะ tailing จึงอาจเกิดอันตรกิริยากับหมู่ซิลานอลที่เหลืออยู่บนเฟสคงที่ได้

**8.2 การเปรียบเทียบค่าจำเพาะการแยกสารของอะทาลิโคลัมน์ประเภทมอนอลิตที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยพอลิออกตะเดซิลเมทาคริเลตและหมู่พอลิออกตะเดซิลสำหรับการแยกสารประกอบกลุ่มแอโรเจนในลิควิดโครมาโทกราฟีแบบรีเวอร์สเฟส**

ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบ selectivity (อัตราส่วนของ retention factor ของสารสองชนิด) ของอะทาลิโคลัมน์ประเภทมอนอลิตซิลิกาที่ปรับปรุงผิวด้วย poly(octadecyl metharylat)

(ODM) และหมู่แทนที่ octadecyl (ODS) สำหรับสารทดสอบที่เป็น mono- และ dihalogenated benzenes ในรีเวอร์สเฟสคลิควิดโครมาโทกราฟี จากผลการทดลองพบว่าสารทดสอบรีเทน บนคอลัมน์ ODM ได้ดีกว่า ODS ในเฟสเคลื่อนที่ทั้งที่เป็น น้ำ:อะซิโตนไทรล์ และน้ำ:เมทานอล เมื่อใช้ alkylbenzenes เป็นสารอ้างอิง อัตราส่วน selectivity ของ halogenated benzenes เทียบกับ toluene บนคอลัมน์ ODM:ODS มากกว่า 1 แสดงว่าคอลัมน์ ODM มีค่า selectivity มากกว่า ODS ทั้งนี้เนื่องจากคอลัมน์ ODM มีความหนาแน่นของสาย C18 มากกว่า ทำให้ dispersion interaction ของคอลัมน์ ODM กับสารกลุ่มฮาโลเจนมีมากกว่า นอกจากนี้สารยังสามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่คาร์บอนิลบนสายโซ่ของพอลิเมอร์ของคอลัมน์ ODM ได้อีกด้วย และเมื่อใช้สารทดสอบเป็นกลุ่ม dihalogenated benzenes ก็ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันกับ monosubstituted benzenes นอกจากนี้สารที่เป็นไอโซเมอร์กันเกิดการแยกบนคอลัมน์ ODM ได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับคอลัมน์ ODS จากนั้นเมื่อใช้สารทดสอบเป็นสารกลุ่ม chlorophenols ทั้งหมด 17 ตัว มีทั้ง mono และ polychlorophenols ซึ่งเป็นสารประกอบที่มี homologue และไอโซเมอร์หลากหลาย มาทำการแยกบนคอลัมน์ ODM และ ODS ก็ให้ผลการทดลองสอดคล้องกับสารทดสอบกลุ่มอื่นๆ โดยสารกลุ่ม chlorophenols เกิดการแยกบนคอลัมน์ ODM ได้ดีกว่า ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน

ดังนั้นคอลัมน์ ODM จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการแยกสารประกอบกลุ่มฮาโลเจน นอกเหนือจากการใช้คอลัมน์ ODS ที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปได้

### 8.3 การเปรียบเทียบและการทำนายรีเทนชันของสารประกอบแอโรแมติกที่มีหมู่แทนที่สองหมู่ในเคพิลลารีอิเล็กโตรโครมาโทกราฟี

งานวิจัยนี้ได้ศึกษารีเทนชันของอนุพันธ์เบนซีนที่มีหมู่แทนที่สองหมู่ (ที่เหมือนกันและแตกต่างกันที่เป็น  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{F}$ ,  $-\text{Cl}$ ,  $-\text{Br}$ ,  $-\text{OCH}_3$  และ  $-\text{CHO}$ ) ในเทคนิคไมเซลล์รีอิเล็กโตรโครมาโทกราฟี (MEKC) และไมโครอิมัลชันอิเล็กโตรโครมาโทกราฟี (MEEKC) โดยที่เฟสคงที่เทียม (pseudo-stationary phase) ของ MEKC เป็นไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว ส่วนของ MEEKC เป็นหยคน้ำมัน (เอซิลแอซิเตต) ที่ล้อมรอบด้วยสารลดแรงตึงผิวและสารลดแรงตึงผิวร่วม (ใช้ 1-บิวทานอล) จากผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเท่ากัน ค่ารีเทนชันทั้ง  $\log k$  ( $k$  คือรีเทนชันแฟกเตอร์) และ  $I$  (รีเทนชันอินเดกซ์) ของสารที่ได้จากทั้งสองเทคนิคมีค่าสอดคล้องกันสำหรับหมู่แทนที่ทั้งสองหมู่อยู่ในกลุ่มแรกที่เป็น  $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{F}$ ,  $-\text{Cl}$  และ  $-\text{Br}$  ค่ารีเทนชันจาก MEEKC น้อยกว่า MEKC มากสำหรับหมู่แทนที่ทั้งสองหมู่อยู่ในกลุ่มที่สองที่เป็น  $-\text{CHO}$  และ  $-\text{OCH}_3$  และค่ารีเทนชันใน MEEKC น้อยกว่า MEKC เล็กน้อยเมื่อหมู่แทนที่หนึ่งอยู่ในกลุ่มที่สองและอีกหมู่หนึ่งอยู่ในกลุ่มแรก จากผลการทดลองสามารถอธิบายได้ว่าอันตรกิริยาของสารในกลุ่มแรกกับเฟสเทียมเกี่ยวข้องกับไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงไม่มีความแตกต่างของ partitioning หรือรีเทนชันของสารเข้าไปในเฟสเทียม ในขณะที่หมู่แทนที่

กลุ่มที่สองมีขั้วมากกว่าหมู่แรก จึงเป็นไปได้ว่าผลของ polarity-polarization ของสารกลุ่มนี้กับ 1-บิวทานอล ที่ผิวหยดน้ำมัน ทำให้ลดรีเทนชันของสารเข้าไปในเฟสเทียมของ MEEKC และเมื่อคำนวณค่า  $\log K_{ow}$  ( $K_{ow}$  คือ octanol-water coefficient) โดยใช้แอลคิลเบนซีนเป็นสารอ้างอิง พบว่าค่า  $\log K_{ow}$  ที่ได้จากสารกลุ่มแรกสอดคล้องกับค่าอ้างอิง และสารกลุ่มที่สองได้ค่า  $\log K_{ow}$  ต่ำกว่าค่าอ้างอิง นอกจากนี้ได้ทำนายค่ารีเทนชันของอนุพันธ์เบนซีนที่มีหมู่แทนที่ต่างกันจากอนุพันธ์เบนซีนที่มีหมู่แทนที่เหมือนกันโดยใช้หลักการเติม (additive approach) พบว่าค่าที่ได้จากการทำนายสอดคล้องกับค่าจากการทดลองสำหรับสารในกลุ่มแรกหรือหมู่แทนที่หนึ่งอยู่ในกลุ่มแรก และแตกต่างกันสำหรับสารในกลุ่มที่สอง แสดงว่าผลของ electronic effects มีผลทำให้ค่ารีเทนชันแตกต่างไปจากการทำนาย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นว่าหมู่แทนที่มีผลต่อความแตกต่างของรีเทนชันของสารใน MEKC และ MEEKC และค่าที่ได้จากการทดลองและการทำนาย

#### 8.4 แบบจำลองทางทฤษฎีของค่าจำเพาะการแยกสารที่มีประจุในเทคนิคไมเซลล์าร์อิเล็กโตรโครมาโทกราฟี

ไมเซลล์าร์อิเล็กโตรโครมาโทกราฟี (MEKC) เป็นเทคนิคเคพิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิสที่บัฟเฟอร์ประกอบด้วยสารลดแรงตึงผิวทำหน้าที่เป็นเฟสคงที่เทียม (pseudo-stationary phase) เหมาะสำหรับการแยกสารที่ไม่มีประจุและมีประจุ แต่ทฤษฎีการแยกของสารใน MEKC ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับสารที่ไม่มีประจุ ซึ่งขึ้นอยู่กับ retention selectivity เท่านั้น ( $\alpha_k$  คือ อัตราส่วน retention factor ( $k$ ) ของสารในไมเซลล์,  $k_2/k_1 \geq 1$  เสมอ) ในงานวิจัยนี้ได้คิดค้นสมการและแบบจำลองทางทฤษฎีเพื่ออธิบายค่าจำเพาะของการแยกสาร ( $\alpha_{MEKC}$ , อัตราส่วนของ effective electrophoretic mobility) ของสารที่มีประจุใน MEKC โดย  $\alpha_{MEKC}$  ขึ้นอยู่กับทั้ง  $\alpha_k$  และ  $\alpha_{CZE}$  โดยที่  $\alpha_{CZE}$  เป็นอัตราส่วนของ electrophoretic mobility ในภาวะไม่มีไมเซลล์หรือเป็นภาวะของ capillary zone electrophoresis (CZE),  $\mu_{0,2}/\mu_{0,1}$  อาจมากกว่าหรือน้อยกว่า 1)

แบบจำลองของ  $\alpha_{MEKC}$  แบ่งได้เป็น 4 แบบ ตามลำดับของ  $|\mu|$  ของสารใน CZE กับค่า  $k$  ใน MEKC และค่า  $\rho$  ซึ่งเป็นอัตราส่วน  $\alpha_k/\alpha_{CZE}$

แบบที่ 1:  $|\mu|$  ของสารใน CZE กับค่า  $k$  ใน MEKC มีลำดับเหมือนกันและ  $\rho > 1$  หากเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha_{MEKC}$  (แกน y) กับ  $k$  (แกน x) ที่ค่า  $\alpha_k$  ต่างๆกัน จะพบว่า  $\alpha_{MEKC}$  จะเพิ่มขึ้นตามค่า  $k$  จนถึงถึงค่าสูงสุดจากนั้นจะลดลงเรื่อยๆที่ค่า  $k$  มากๆ (เช่น  $k > 5$ ) และถ้า  $\alpha_k$  มาก  $\alpha_{MEKC}$  จะมากด้วย ซึ่งสามารถตีความได้ว่าการแยกสารที่มีประจุด้วย MEKC จะดีขึ้น (เปรียบเทียบกับไม่มีไมเซลล์หรือภาวะ CZE) ก็ต่อเมื่อแบบจำลองของ  $\alpha_{MEKC}$  เป็นแบบที่ 1

แบบที่ 2:  $|\mu|$  ของสารใน CZE กับค่า  $k$  ใน MEKC มีลำดับเหมือนกันและ  $\rho \leq 1$  พบว่า  $\alpha_{MEKC}$  จะลดลงขึ้นตามค่า  $k$  ที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่ค่า  $\alpha_k$  ใดๆ ซึ่งสามารถตีความได้ว่า MEKC ไม่ช่วย

ปรับปรุงการแยกสารที่มีประจุ (เปรียบเทียบกับไม่มีไมเซลล์หรือภาวะ CZE) ก็ต่อเมื่อแบบจำลองของ  $\alpha_{\text{MEKC}}$  เป็นแบบที่ 2

แบบที่ 3:  $|\mu|$  ของสารใน CZE กับค่า  $k$  ใน MEKC มีลำดับตรงข้ามกันและ  $\rho > 1$  หากเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\alpha_{\text{MEKC}}$  (แกน y) กับ  $k$  (แกน x) ที่ค่า  $\alpha_k$  ต่างๆกัน จะพบว่าถ้าค่า  $\alpha_k$  มากกว่า 1 ถึง  $1/\alpha_{\text{CZE}}$  ค่า  $\alpha_{\text{MEKC}}$  จากเดิมที่น้อยกว่า 1 จะเพิ่มขึ้นเข้าใกล้เคียงหนึ่ง (แสดงว่าการแยกของสารลดลงหรือ MEKC ไม่ได้ช่วยปรับปรุงการแยก) แต่ถ้าค่า  $\alpha_k$  มากกว่า  $1/\alpha_{\text{CZE}}$  ค่า  $\alpha_{\text{MEKC}}$  จากเดิมที่น้อยกว่า 1 จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าหนึ่ง (ซึ่งอาจปรับปรุงการแยกได้) จากนั้นจะลดลงทำให้การแยกสารลดลง ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะว่าลำดับของ  $|\mu|$  ของสารใน CZE กับค่า  $k$  ใน MEKC มีลำดับตรงข้ามกัน

แบบที่ 4:  $|\mu|$  ของสารใน CZE เท่ากัน ค่า  $k$  ใน MEKC เท่ากัน และ  $\rho = 1$  ดังนั้นฟังก์ชันของสารไม่สามารถแยกกันได้ด้วยเทคนิค MEKC

ได้ตรวจสอบแบบจำลองโดยศึกษาค่าจำเพาะของการแยกสารกลุ่มพาราเบนในภาวะที่สารเหล่านี้มีประจุลบใน MEKC ที่มีโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตเป็นไมเซลล์ พบว่าค่า  $\alpha_{\text{MEKC}}$  ที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับแบบจำลองที่ 1 และ 3

ดังนั้นจุดเด่นของงานวิจัยนี้ คือ สมการและแบบจำลองของค่าจำเพาะของการแยกสารเป็นสิ่งคิดค้นใหม่สำหรับอธิบายการแยกสารที่มีประจุใน MEKC ว่าทำไม MEKC จึงช่วยหรือไม่ช่วยปรับปรุงการแยกของสาร ทำให้เป็นแนวทางในการหาภาวะที่เหมาะสมในการแยกสารได้

## 8.5 แบบจำลองทางทฤษฎีของค่าจำเพาะการแยกสำหรับสารที่มีประจุในเทคนิคไซโคลเด็กซ์ทรินอิเล็กโตรโครมาโทกราฟี

ได้จัดรูปแบบการให้สัมพันธ์กับตัวแปรที่ไม่มีหน่วยและสร้างแบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับค่าจำเพาะการแยกสาร ( $\alpha_{\text{CD}}$ ) ในเทคนิคไซโคลเด็กซ์ทรินอิเล็กโตรโครมาโทกราฟี (cyclodextrin electrokinetic chromatography, CD-EKC) เพื่อใช้สำหรับอธิบายการเปลี่ยนแปลง  $\alpha_{\text{CD}}$  และลำดับการเคลื่อนที่ของสารที่มีประจุที่มีค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า ( $\mu_0$ ) ใน capillary zone electrophoresis (CZE, ภาวะที่ไม่มี CD) แตกต่างกันและใช้ CD ที่ไม่มีประจุ ในการจำแนกแบบจำลองค่าจำเพาะการแยกใน CD-EKC พิจารณาจาก selectivity ratio ( $\rho$ ) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของ  $k/\alpha_{\text{CZE}}$  ( $k$  เป็นอัตราส่วนของ binding constant ( $K$ ) ของสารกับ CD และ  $\alpha_{\text{CZE}}$  เป็นอัตราส่วนของ  $\mu_0$ ) และลำดับของ  $|\mu_0|$  ใน CZE กับ  $K$  ใน CD-EKC โดยสามารถจำแนกแบบจำลอง 4 แบบ ดังนี้ i) แบบที่ 1 (ลำดับของ  $|\mu_0|$  ใน CZE กับ  $K$  ใน CD-EKC เหมือนกัน และ  $\rho > 1$ ) เปรียบเทียบกับ CZE เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ CD ( $C$ ) ลงไปในบัฟเฟอร์ การแยกของสารจะดีขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่งจากนั้นจึงค่อยๆ ลดลง และลำดับการเคลื่อนที่ของสารเหมือนเดิม ii) แบบที่ 2 (ลำดับของ  $|\mu_0|$  ใน CZE กับ  $K$  ใน CD-EKC เหมือนกัน และ  $\rho < 1$ ) แบบจำลองนี้ตรงกันข้ามกับ

แบบจำลองที่ 1 โดยเมื่อเพิ่ม  $C$  ส่งผลให้การแยกสารแย่งเมื่อเทียบกับใน CZE และลำดับการเคลื่อนที่ของสารเหมือนเดิม iii) แบบที่ 3 (ลำดับของ  $|\mu_0|$  ใน CZE กับ  $K$  ใน CD-EKC สลับกัน และ  $p > 1$ ) เมื่อเพิ่ม  $C$  ในช่วงแรกการแยกจะแย่งเริ่มจาก  $1/\alpha_{CD} > 1$  จนถึง  $\alpha_{CD}$  ใกล้ 1 ที่  $KC$  มีค่า  $\beta(1-\alpha_{CZE})/[\beta(\alpha_{CZE}K-1)+\alpha_{CZE}(1-K)]$  โดย  $\beta$  เป็นอัตราส่วนของ  $\mu$  ในภาวะที่ไม่มี CD กับ  $\mu$  ของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสารกับ CD หลังจากนั้นสารจะแยกจากกันได้ดีขึ้น  $\alpha_{CD} > 1$  ที่  $KC$  สูงๆ และในแบบจำลองนี้ลำดับการเคลื่อนที่ของสารใน CD-EKC และ CZE อาจเหมือนหรือสลับกันก็ได้ และ iv) แบบที่ 4 ( $p = 1$ ) สารไม่สามารถแยกออกจากกันได้ทั้งใน CZE และ CD-EKC

นอกจากนี้ได้เปรียบเทียบค่าความจำเพาะการแยกที่ได้จากการทำนายและจากการทดลองที่ความเข้มข้นของ  $\beta$ -CD ต่างๆ (0-16 mM) โดยใช้สารทดสอบเป็นสารประกอบกลุ่มอนุพันธ์ของกรดเบนโซอิกและกรดฟีนอกซีอะซีติก พบว่าค่า  $\alpha_{CD}$  ที่ได้จากการทำนายและจากการทดลองมีความสอดคล้องกันอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นของ CD และ  $KC$  ต่างๆ

ดังนั้นสมการที่ได้จัดรูปแบบขึ้นสามารถใช้สำหรับทำนาย  $\alpha_{CD}$  ที่  $KC$  และที่ความเข้มข้นของ CD ต่างๆ ได้ จึงเป็นแนวทางในการหาภาวะที่เหมาะสมของการแยกสารได้

## 8.6 การเปรียบเทียบค่าจำเพาะการแยกในเทคนิคเคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิสสำหรับสารกลุ่มเอโรแมติกแอซิดที่มีหมู่แทนที่เป็นคลอโรและเมทิล

ได้ศึกษาและเปรียบเทียบค่าจำเพาะการแยก ( $\alpha$ ) ในเทคนิค capillary electrophoresis ทั้ง 3 ประเภท ได้แก่ CZE, MEKC และ CD-EKC เพื่อใช้สำหรับการแยกสารกลุ่มที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้า ( $\mu$ ) ใกล้เคียงกันหรือ  $\alpha$  มีค่าน้อยๆ ประมาณ 1 เช่น ไอโซเมอร์ของอนุพันธ์กรดเบนโซอิกที่มีหมู่แทนที่เป็นหมู่เมทิลและหมู่คลอโรจำนวนหนึ่งและสองหมู่ จากการทดลองพบว่าการแยกสารด้วยบัฟเฟอร์ของ CZE ที่ประกอบด้วย 10 mM บอเรตบัฟเฟอร์ที่ pH 9.2 และไม่มีการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ ให้ค่าจำเพาะการแยกใน CZE ( $\alpha_{CZE}$ ) น้อย มีค่าอยู่ในช่วง 1.018-1.038 สำหรับแต่ละไอโซเมอร์ของมอนอคลอโรเบนโซเอต/มอนอเมทิลเบนโซเอต (2-, 3- และ 4- $C^-/M^-$ ) และไอโซเมอร์ของไดคลอโรเบนโซเอต/ไดเมทิลเบนโซเอต (2,3-, 2,4-, 2,5-, 2,6-, 3,4- และ 3,5- $DC^-/DM^-$ ) และเมื่อใช้บัฟเฟอร์ของ MEKC ที่ประกอบด้วย 40 mM SDS ใน 10 mM บอเรตบัฟเฟอร์ที่ pH 9.2 และไม่มีการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ พบว่า ค่าจำเพาะการแยกใน MEKC ( $\alpha_{MEKC}$ ) สูงขึ้นกว่า  $\alpha_{CZE}$  เพียงเล็กน้อย โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.019-1.046 เนื่องจากสารมี retention selectivity (อัตราส่วนของรีเทนชันแฟกเตอร์ของสารที่เข้าไปในไมเซลล์) น้อย จากนั้นเมื่อมีการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็น 10-20% โดยปริมาตรของเมทานอลหรืออะซิโตไนไตรล์ลงใน CZE และ MEKC พบว่าค่า  $\alpha_{CZE}$  และ  $\alpha_{MEKC}$  ลดลงเล็กน้อย และเมื่อใช้บัฟเฟอร์ของ CD-EKC ที่ประกอบด้วย  $\alpha$ -CD (2-60 mM),  $\beta$ -CD (2-16 mM) หรือ dimethyl  $\beta$ -CD (2-50 mM DM- $\beta$ -CD) ใน 10 mM บอเรตบัฟเฟอร์ที่ pH 9.2 และไม่มีการเติมตัวทำละลายอินทรีย์ พบว่า  $\alpha_{CD}$  มีค่ามากกว่า  $\alpha_{CZE}$  และ

$\alpha_{\text{MEKC}}$  โดย  $\alpha_{\text{CD}}$  มีค่าสูงถึง 2.02 สำหรับ  $\text{C}^-/\text{M}^-$  และ  $\text{DC}^-/\text{DM}^-$  ยกเว้น  $2\text{C}^-/2\text{M}^-$  ใน  $\text{DM-}\beta\text{-CD}$  และ  $2,6\text{DC}^-/2,6\text{DM}^-$  ใน  $\beta\text{-CD}$  และ  $\text{DM-}\beta\text{-CD}$  สามารถอธิบายได้โดยสารเกิดความแตกต่างของ binding selectivity ( $\kappa$  เป็นอัตราส่วนของ binding constant ของสารกับ CD) ตัวอย่างเช่น  $4\text{C}^-/4\text{M}^-$  ใน 30 mM  $\alpha\text{-CD}$  ให้ค่า  $\alpha_{\text{CD}} = 1.44$  และ  $\kappa = 4.69$  และ  $3,5\text{DC}^-/3,5\text{DM}^-$  ใน 50 mM  $\text{DM-}\beta\text{-CD}$  ให้ค่า  $\alpha_{\text{CD}} = 1.63$  และ  $\kappa = 21.2$  นอกจากนี้ได้ทำการแยกทุกไอโซเมอร์ของ  $\text{C}^-/\text{M}^-$  และ  $\text{DC}^-/\text{DM}^-$  ในคราวเดียวกัน พบว่า CD-EKC ให้การแยกที่ดีกว่า CZE และ MEKC อีกทั้งได้ประยุกต์สำหรับแยกสารปราบวัชพืชที่มีฤทธิ์เป็นกรด โดยเน้นสารในกลุ่มกรดฟีนอกซีที่มีหมู่แทนที่บนวงเบนซีนแตกต่างกันเพียงหมู่เมทิลและหมู่คลอโร 1 ตำแหน่ง พบว่า สารแยกออกจากกันได้สมบูรณ์เมื่อใช้ CD-EKC ที่เติม  $\alpha\text{-CD}$  หรือ  $\text{DM-}\beta\text{-CD}$  ในขณะที่ไม่สามารถแยกได้ใน CZE และ MEKC

ดังนั้น CD-EKC สามารถใช้เป็นทางเลือกที่ดีกว่าสำหรับการแยกสารที่มีหมู่แทนที่ที่แตกต่างกันเพียงหมู่คลอโรหรือหมู่เมทิล เมื่อเทียบกับ CZE และ MEKC

## 8.7 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาทางทฤษฎีและทางปฏิบัติของการแยกที่มีประสิทธิภาพสูงในเทคนิคการแยกสารด้วยกะปิลาริขนาดไมโครเมตร (microseparation) ที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคกะปิลาริอิเล็กโตรโฟรีซิส (CE) และไมโครไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิกวิดโครมาโทกราฟี ( $\mu\text{HPLC}$ ) การศึกษารีเทนชัน (retention) ทำให้เกิดประโยชน์ในเชิงวิชาการของเทคนิคการแยกสาร เข้าใจถึงพฤติกรรม การเคลื่อนที่ของสารที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ส่วนการศึกษาค่าจำเพาะของการแยกสารทำให้เข้าใจระบบและปัจจัยที่มีผลต่อค่าการแยกของสาร ซึ่งเป็นแนวทางในการเลือกภาวะที่ให้ประสิทธิภาพของการแยกสารที่ดี แนวทางของงานวิจัยที่สามารถศึกษาต่อในอนาคต อาทิเช่น

- 1) ด้านเฟสคงที่มอนอลิทใน  $\mu\text{HPLC}$  และ CE กำลังเป็นที่น่าสนใจในปัจจุบัน การพัฒนาชนิดของมอนอลิทที่ปรับปรุงผิวด้วยหมู่แทนที่อื่นๆ ทั้งที่มีขั้ว ไม่มีขั้วและประเภทพอลิเมอร์ รวมทั้งการศึกษาเชิงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรีเทนชันและค่าจำเพาะของการแยกสาร

- 2) สมการและแบบจำลองของค่าจำเพาะของการแยกสารที่มีประจุใน MEKC และ CD-MEKC อาจศึกษาเพิ่มเติมในระบบอื่นๆ เช่น การแยกสารที่มีประจุด้วยสารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุใน MEKC การแยกสารที่ไม่มีประจุโดยใช้ CD สองชนิดที่มีประจุใน CD-EKC อีกทางการเสนอสมการของค่าการแยกสาร (resolution) ที่มีประจุ ที่สัมพันธ์กับตัวแปรไม่มีหน่วยเป็นต้น

- 3) การพัฒนาเทคนิค CE,  $\mu\text{HPLC}$  ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง รวมทั้งการตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับ mass spectrometer (MS) ที่ให้สภาพไวสูงและข้อมูลของโครงสร้างของสาร เช่น CE-MS และ  $\mu\text{HPLC-MS}$  สำหรับการแยกและวิเคราะห์สารในตัวอย่างที่ซับซ้อนเป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการแพทย์ ชีวโมเลกุล proteomics สิ่งแวดล้อมและอาหาร เป็นต้น