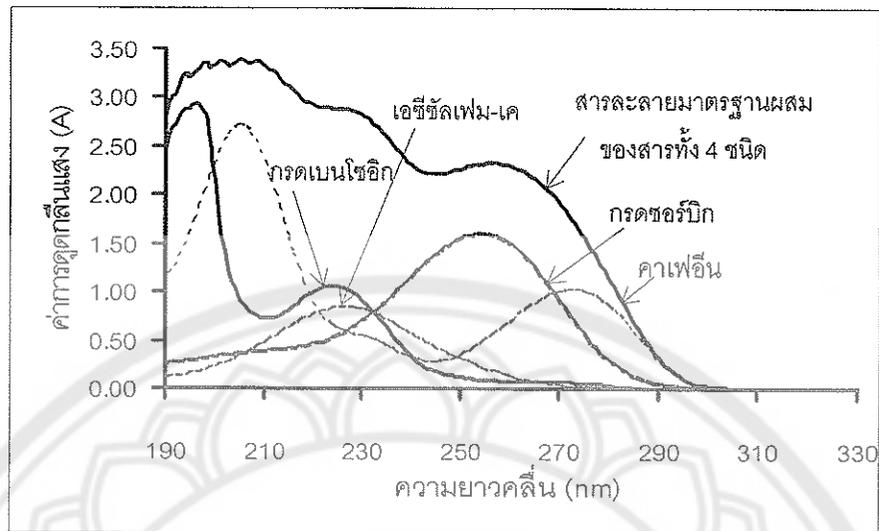


บทที่ 4

ผลการวิจัย

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนด้วยการใช้แอมซอร์พชั่นสเปกตรัม

1. การศึกษาอิทธิพลของ pH ของสารละลายที่ใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน จากการศึกษาอิทธิพลของ pH ของสารละลายที่มีผลต่อค่าการดูดกลืนแสง และตำแหน่งความยาวคลื่นสูงสุดของแอมซอร์พชั่นสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานของ เอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ดังหัวข้อ 1 ได้ผลการทดลองดังภาพ 12-13 และตาราง 8-9 จากผลการทดลองพบว่าแอมซอร์พชั่นสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐาน เอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนในน้ำปราศจากไอออน มีการซ้อนทับกัน อย่างมาก โดยมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดเท่ากับ 227 nm ของเอซีซัลเฟม-เค, 196 และ 224 nm ของกรดเบนโซอิก, 254 nm ของกรดซอร์บิก และ 205 และ 273 nm ของคาเฟอีน ซึ่งจะเลือก ทำการศึกษาที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ 227, 224, 254 และ 273 nm ของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ตามลำดับ และพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกรด HCl เพิ่มขึ้น (หรือมีค่า pH ต่ำลง) สารละลายมาตรฐานของเอซีซัลเฟม-เค และคาเฟอีนมีค่าความยาวคลื่นสูงสุด และค่าการดูดกลืนแสงค่อนข้างคงที่ ที่ 227 และ 273 nm ตามลำดับ ส่วนกรดเบนโซอิกและกรดซอร์บิก จะมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น นั่นแสดงว่าค่า pH มีผลต่อการเตรียม สารละลายมาตรฐานของกรดเบนโซอิกและกรดซอร์บิก ทั้งนี้กรดเบนโซอิกและกรดซอร์บิก ซึ่งเป็นกรดอ่อนสามารถเปลี่ยนรูปเป็นโมเลกุลหรือไอออน เมื่อค่า pH ของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลง โดยที่จากผลการทดลองเมื่อความเข้มข้นของกรด HCl มีค่าอยู่ในช่วง 1.0×10^{-3} - 1.0×10^{-1} mol/L (pH น้อยกว่า 3 ซึ่งกรดเบนโซอิกและกรดซอร์บิกจะ อยู่ในรูปโมเลกุล) กรดเบนโซอิก และกรดซอร์บิกจะเริ่มมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงคงที่ ดังนั้นเพื่อทำการควบคุม ค่า pH ของสารละลาย ได้ทำการเปรียบเทียบผลของการใช้สารละลาย 5.0×10^{-3} mol/L HCl (pH=2.3) และ 0.05 mol/L ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH=2.3) พบว่าค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืน แสงของสารละลายมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด มีค่าไม่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกสารละลาย 0.05 mol/L ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH=2.3) สำหรับใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยมีค่าการดูดกลืน สูงสุดของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ที่ 227, 230, 263 และ 273 nm ตามลำดับ

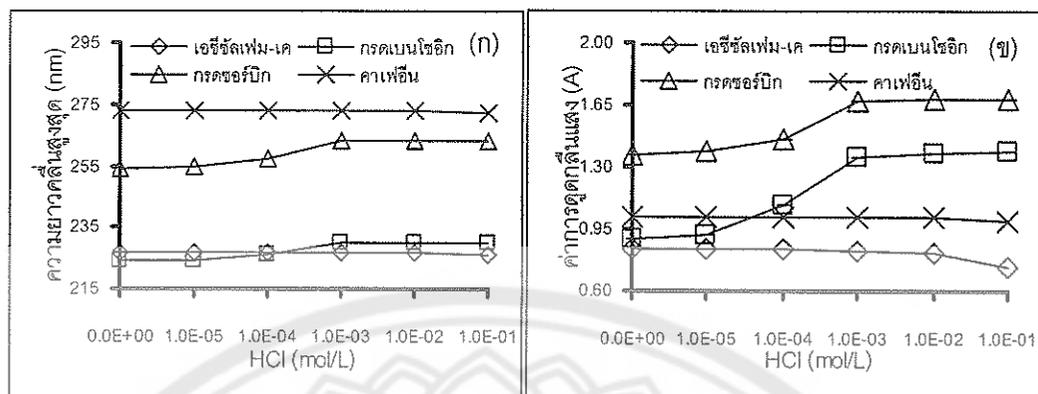


ภาพ 12 แอ็บซอร์ปชันสเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานเอซีซีอัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิกและคาเฟอีน เข้มข้น 15, 20, 10 และ 20 mg/L ตามลำดับ และสารละลายมาตรฐานผสมของสารทั้ง 4 ชนิด ในน้ำปราศจากไอออน

ตาราง 8 อิทธิพลของความเข้มข้นของกรด HCl ที่มีผลต่อค่าความยาวคลื่นสูงสุด และค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเอซีซีอัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนเข้มข้น 15, 20, 10 และ 20 mg/L ตามลำดับ

HCl (mol/L)	เอซีซีอัลเฟม-เค		กรดเบนโซอิก		กรดซอร์บิก		คาเฟอีน	
	ความยาว คลื่นสูงสุด (nm)	ค่าการ ดูดกลืน แสง (A)						
0*	227	0.8356	196	2.9301	254	1.5973	205	2.7124
	-	-	224	1.0605	-	-	273	1.0199
1.0x10 ⁻⁵	227	0.8331	197	3.0588	255	1.6036	205	2.7142
	-	-	224	1.0631	-	-	273	1.0219
1.0x10 ⁻⁴	227	0.8383	197	3.0909	257	1.5823	205	2.6976
	-	-	227	1.0988	-	-	273	1.0157
1.0x10 ⁻³	227	0.8302	196	3.0116	263	1.6717	205	2.7124
	-	-	222	1.3664	-	-	273	1.0203
1.0x10 ⁻²	227	0.8161	197	2.9990	263	1.6869	205	2.7178
	-	-	230	1.4018	-	-	273	1.0141
1.0x10 ⁻¹	226	0.7435	199	2.9237	263	1.6865	205	2.7164
	-	-	230	1.4014	-	-	272	0.9989

* น้ำปราศจากไอออน



ภาพ 13 อิทธิพลของความเข้มข้นของกรด HCl ($0-1.0 \times 10^{-1}$ mol/L) ที่มีผลต่อ (ก) ค่าความยาวคลื่นสูงสุด และ (ข) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเอริชัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนเข้มข้น 15, 20, 10 และ 20 mg/L ตามลำดับ

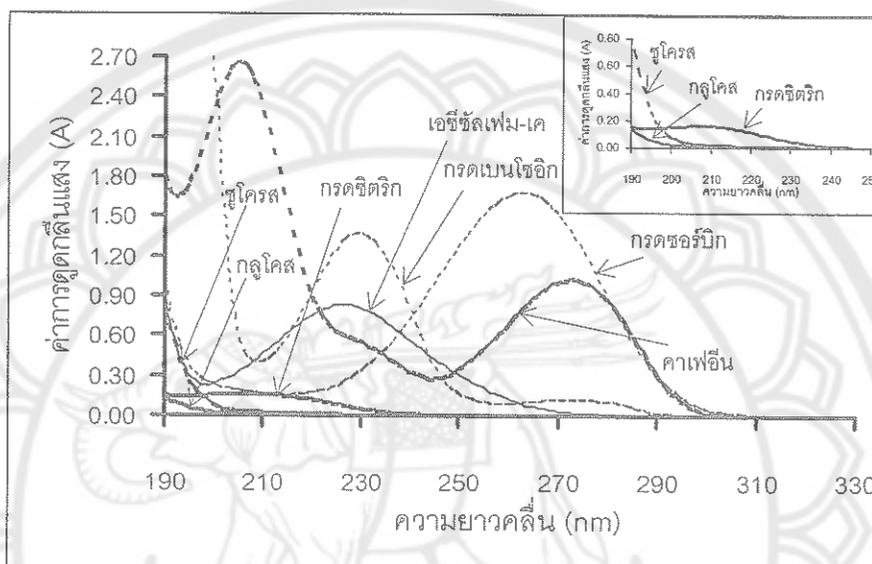
ตาราง 9 การเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานเอริชัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนเข้มข้น 10, 20, 10 และ 20 mg/L ตามลำดับ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์

สารละลายมาตรฐาน	ความยาวคลื่นสูงสุด (nm)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)	
		5.0×10^{-3} mol/L HCl	5.0×10^{-2} mol/L ฟอสเฟตบัฟเฟอร์
เอริชัลเฟม-เค	227	0.5404	0.5476
กรดเบนโซอิก	230	1.3802	1.3775
กรดซอร์บิก	263	1.6717	1.6695
คาเฟอีน	273	1.0188	1.0179

2. การศึกษาอิทธิพลของสารรบกวน

จากการศึกษาอิทธิพลของสารรบกวน คือ กรดซิตริก กลูโคส และซูโครสที่มีผลต่อค่าแอมบอร์พจน์สเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานเอริชัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ในสารละลาย 0.05 mol/L ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (pH=2.3) ดังหัวข้อ 2 ได้ผลการทดลองดังภาพ 14 จากผลของแอมบอร์พจน์สเปกตรัมของสารรบกวน พบว่าสารรบกวนทั้งสามสามารถดูดกลืนแสงที่มีค่าต่ำมากในช่วงอัลตราไวโอเล็ตที่ความยาวคลื่นน้อยกว่า 240 nm ซึ่งไม่รบกวน

หรือรบกวนน้อยมากต่อค่าการดูดกลืนแสงของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนที่มีความยาวคลื่นสูงสุด 227, 230, 263 และ 273 nm ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถทำการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนที่มีความยาวคลื่นสูงสุดดังกล่าวได้



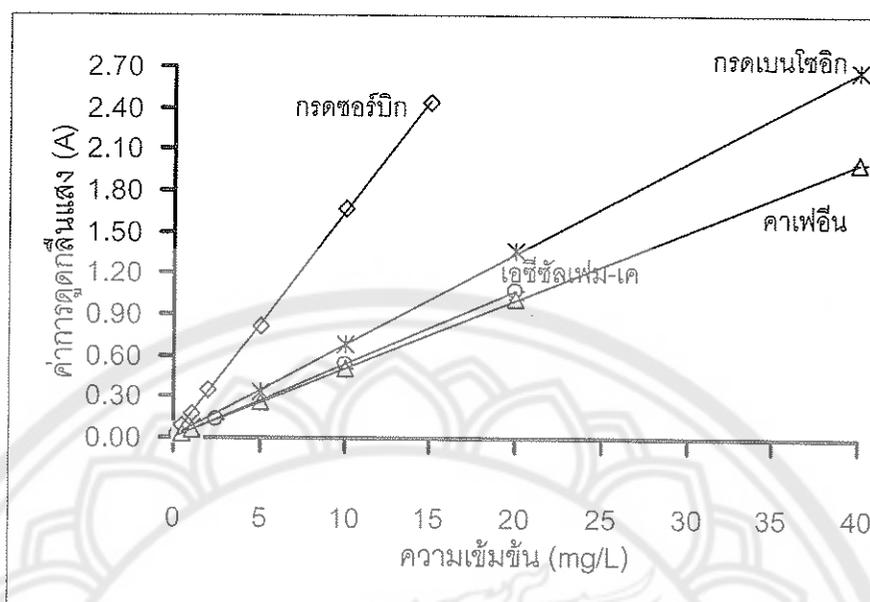
ภาพ 14 แอ็บซอร์ปชันสเปกตรัมของสารรบกวน คือ กรดซิตริก กลูโคส ซูโครสเข้มข้น 150, 500 และ 3500 mg/L ตามลำดับเทียบกับสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน เข้มข้น 15, 20, 10 และ 20 mg/L ตามลำดับ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3)

3. กราฟมาตรฐานขีดจำกัดต่ำสุด และปริมาณต่ำสุดของการตรวจวัด ด้วยการใช้อ็อบซอร์ปชันเปกตรัม

จากการทดลองในหัวข้อ 3 เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นสูงสุด 227, 230, 263 และ 273 nm ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ตามลำดับที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) พบว่ากราฟมาตรฐานของสารทั้ง 4 ชนิด มีความเป็นเส้นตรงในช่วง 0.25-20 mg/L เอซีซัลเฟม-เค, 0.5-40 mg/L กรดเบนโซอิก, 0.5-15 mg/L กรดซอร์บิก และ 0.5-40 mg/L คาเฟอีน (ดังตาราง 10 และภาพ 15) และสามารถสรุปช่วงความเป็นเส้นตรง พร้อมทั้งค่าขีดจำกัดต่ำสุด และปริมาณต่ำสุดของการตรวจวัด (ดูวิธีการคำนวณดังภาคผนวก ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ) ดังตาราง 11

ตาราง 10 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นต่างๆ
ของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนตามลำดับ

เอซีซัลเฟม-เค (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)					\bar{x}	SD	%RSD
	1	2	3	4	5			
0.25	0.0145	0.0143	0.0144	0.0145	0.0143	0.0144	1E-04	0.69
0.5	0.0275	0.0275	0.0274	0.0273	0.0275	0.0274	9E-05	0.33
2.5	0.1366	0.1367	0.1366	0.1366	0.1365	0.1366	7E-05	0.05
5.0	0.2719	0.2717	0.2719	0.2718	0.2720	0.2719	1E-04	0.04
10.0	0.5475	0.5477	0.5479	0.5475	0.5475	0.5476	1E-04	0.04
20.0	1.0782	1.0784	1.0783	1.0782	1.0782	1.0783	9E-05	0.01
กรดเบนโซอิก (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)					\bar{x}	SD	%RSD
	1	2	3	4	5			
0.5	0.0402	0.0400	0.0399	0.0398	0.0401	0.0400	2E-04	0.40
1.0	0.0717	0.0719	0.0718	0.0718	0.0722	0.0719	2E-04	0.27
5.0	0.3382	0.3381	0.3380	0.3378	0.3381	0.3380	2E-04	0.04
10.0	0.6757	0.6753	0.6756	0.6756	0.6759	0.6756	2E-04	0.03
20.0	1.3572	1.3573	1.3572	1.3572	1.3574	1.3573	9E-05	0.01
40.0	2.6644	2.6643	2.6646	2.6648	2.6644	2.6645	2E-04	0.01
กรดซอร์บิก (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)					\bar{x}	SD	%RSD
	1	2	3	4	5			
0.5	0.0871	0.0868	0.0867	0.0868	0.0869	0.0869	2E-04	0.17
1.0	0.1716	0.1719	0.1718	0.1719	0.1718	0.1718	1E-04	0.07
2.0	0.3449	0.3445	0.3448	0.3449	0.3450	0.3448	2E-04	0.06
5.0	0.8089	0.8086	0.8087	0.8089	0.8089	0.8088	1E-04	0.02
10.0	1.6697	1.6696	1.6695	1.6696	1.6692	1.6695	2E-04	0.01
15.0	2.4309	2.4395	2.4395	2.4392	2.4393	2.4393	2E-04	0.01
คาเฟอีน (mg/L)	ค่าการดูดกลืนแสง (A)					\bar{x}	SD	%RSD
	1	2	3	4	5			
0.5	0.0324	0.0326	0.0325	0.0324	0.0325	0.0325	8E-05	0.26
1.0	0.0578	0.0576	0.0579	0.0578	0.0579	0.0578	1E-04	0.21
5.0	0.2558	0.2561	0.2560	0.2559	0.2563	0.2560	2E-04	0.08
10.0	0.5125	0.5124	0.5121	0.5122	0.5126	0.5124	2E-04	0.04
20.0	1.0180	1.0181	1.0179	1.0175	1.0180	1.0179	2E-04	0.02
40.0	2.0021	2.0023	2.0019	2.0022	2.0023	2.0022	2E-04	0.01



ภาพ 15 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเข้มข้นในช่วง 0.25-20, 0.5-40, 0.5-15 และ 0.5-40 mg/L ของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนไซอิก กรดชอร์บิก และคาเฟอีน ตามลำดับ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3)

ตาราง 11 ช่วงความเป็นเส้นตรง ค่าขีดจำกัดต่ำสุด และค่าปริมาณต่ำสุดของการตรวจวัด สำหรับการศึกษาด้วยแอมซอร์พชันสเปกตรัม สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนไซอิก กรดชอร์บิก และคาเฟอีน

วัตถุเจือปนอาหาร	ความยาวคลื่นสูงสุด (nm)	ช่วงความเป็นเส้นตรง (mg/L)	สมการเส้นตรง	r^2	%RSD	ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (mg/L)	ปริมาณต่ำสุดของการวิเคราะห์ (mg/L)
เอซีซัลเฟม-เค	227	0.25-20	$y = 0.0539x + 0.0014$	1.0000	0.1-0.9	0.06	0.19
กรดเบนไซอิก	230	0.5 -40	$y = 0.0665x + 0.0089$	0.9999	0.1-1.3	0.44	1.45
กรดชอร์บิก	263	0.5 -15	$y = 0.1629x + 0.0105$	0.9997	0.1-1.1	0.35	1.18
คาเฟอีน	273	0.5 -40	$y = 0.0499x + 0.0098$	1.0000	0.1-1.9	0.37	1.22

4. การวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ในตัวอย่างสังเคราะห์ด้วยการใช้แอบซอร์พชันสเปกตรัม

จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนในตัวอย่างสังเคราะห์ด้วยการใช้แอบซอร์พชันสเปกตรัม ดังหัวข้อ 4 เมื่อการใช้สภาวะของการทดลองดังตาราง 11 จากผลการทดลองพบว่าปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนที่ตรวจพบมีค่ามากกว่าปริมาณที่เติมของเกือบทุกตัวอย่าง (ดังตาราง 12) โดยมีค่าร้อยละการกลับคืนมากกว่า 100 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลของการรบกวนซึ่งกันและกัน เพราะมีแอบซอร์พชันสเปกตรัมซ้อนทับกันอย่างมากในช่วงที่ศึกษา (190-330 nm) ยกเว้นการวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีน ซึ่งมีค่าร้อยละการกลับคืนในช่วง 100 ± 2 - 117 ± 1 เมื่อตรวจวัดตัวอย่างแบบคู่ระหว่างคาเฟอีนกับเอซีซัลเฟม-เค, คาเฟอีนกับกรดเบนโซอิก และแบบสามระหว่างคาเฟอีนกับเอซีซัลเฟม-เคกับกรดเบนโซอิก ทั้งนี้เนื่องจากที่ความยาวคลื่นสูงสุดของคาเฟอีนเท่ากับ 273 nm ไม่มีสัญญาณรบกวน หรือรบกวนน้อยมากจากเอซีซัลเฟม-เคและกรดเบนโซอิกนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้ข้อมูลจากแอบซอร์พชันสเปกตรัมไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนในตัวอย่าง ดังนั้นเพื่อพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณของวัตถุเจือปนอาหารทั้ง 4 ชนิด พร้อมกัน จึงทำการศึกษาด้วยวิธีซีโร-ক্রอสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์ในลำดับต่อไป

ตาราง 12 ปริมาณที่ตรวจพบและร้อยละการกลายพันธุ์ของเอชพีเอ็ม-เค (ASK) กรดเบนโซอิก (BEN) กรดซอร์บิก (SOR) กรดซอร์บิก (SOR) และคาเฟอีน (CAF) ตามลำดับในตัวอย่างสังเคราะห์

ตัวอย่างที่	ปริมาณที่เติม (mg/L)			ปริมาณที่ตรวจพบ (mg/L)			ร้อยละการกลายพันธุ์***					
	ASK	BEN	SOR	CAF	ASK	BEN	SOR	CAF	ASK	BEN	SOR	CAF
1	2.5	5.0	-	-	8.8±0.1*	10.4±0.1	..**	-	353±3*	207±2	-	-
2	5.0	10.0	-	-	17.5±0.1	21.3±0.1	-	-	351±2	213±1	-	-
3	10.0	20.0	-	-	35.1±0.1	43.2±0.1	-	-	351±1	216±1	-	-
4	2.5	-	2.0	-	3.6±0.1	-	2.3±0.1	-	143±3	-	113±4	-
5	5.0	-	5.0	-	7.3±0.1	-	5.5±0.1	-	146±2	-	110±2	-
6	10.0	-	10.0	-	14.7±0.1	-	11.0±0.1	-	147±1	-	110±1	-
7	2.5	-	-	5.0	5.2±0.1	-	-	5.0±0.1	210±4	-	-	100±2
8	5.0	-	-	10.0	10.4±0.1	-	-	10.1±0.1	208±2	-	-	101±1
9	10.0	-	-	20.0	20.8±0.1	-	-	20.4±0.1	208±1	-	-	102±1
10	-	5.0	2.0	-	-	8.8±0.1	2.3±0.1	-	-	177±2	115±3	-
11	-	10.0	5.0	-	-	18.9±0.1	5.6±0.1	-	-	189±1	112±2	-
12	-	20.0	10.0	-	-	38.5±0.1	11.1±0.1	-	-	193±1	112±1	-
13	-	5.0	-	5.0	-	10.6±0.1	-	5.6±0.1	-	219±2	-	112±1
14	-	10.0	-	10.0	-	21.5±0.1	-	11.2±0.1	-	215±1	-	112±1
15	-	20.0	-	20.0	-	43.8±0.1	-	22.7±0.1	-	219±1	-	114±1
16	-	-	2.0	5.0	-	-	3.4±0.1	10.5±0.1	-	-	169±4	210±2
17	-	-	5.0	10.0	-	-	7.8±0.1	23.5±0.1	-	-	155±2	235±1
18	-	-	10.0	20.0	-	-	15.2±0.1	45.8±0.1	-	-	152±1	229±1

ตาราง 12 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	ปริมาณที่เติม (mg/L)				ปริมาณที่ตรวจพบ (mg/L)				ร้อยละการกลับคืน***			
	ASK	BEN	SOR	CAF	ASK	BEN	SOR	CAF	ASK	BEN	SOR	CAF
19	2.5	5.0	2.0	-	9.7±0.1*	8.0±0.1	2.3±0.1	-**	386±4	160±2*	113±3	-
20	5.0	8.0	5.0	-	17.4±0.1	14.7±0.1	5.7±0.1	-	348±2	184±1	113±2	-
21	8.0	10.0	8.0	-	24.2±0.1	20.6±0.1	9.0±0.1	-	302±2	206±1	112±1	-
22	2.5	5.0	-	5.0	11.5±0.1	9.1±0.1	-	5.7±0.1	459±3	183±2	-	115±2
23	5.0	8.0	-	8.0	19.4±0.1	15.6±0.1	-	9.3±0.1	388±2	194±1	-	116±1
24	8.0	10.0	-	10.0	26.0±0.1	20.9±0.1	-	11.7±0.1	324±1	209±1	-	117±1
25	2.5	-	2.0	5.0	6.1±0.1	-	3.4±0.1	10.8±0.1	242±3	-	168±4	215±2
26	5.0	-	5.0	8.0	11.5±0.1	-	7.4±0.1	22.3±0.1	230±2	-	148±1	278±1
27	8.0	-	8.0	10.0	16.9±0.1	-	11.1±0.1	32.5±0.1	212±1	-	139±2	325±1
28	-	5.0	2.0	5.0	-	8.1±0.1	3.4±0.1	11.3±0.1	-	162±2	170±5	226±2
29	-	8.0	5.0	8.0	-	14.0±0.1	7.4±0.1	23.1±0.1	-	175±2	149±2	289±1
30	-	10.0	8.0	10.0	-	18.3±0.1	11.1±0.1	33.4±0.1	-	183±1	138±1	334±1
31	2.5	5.0	2.0	5.0	12.3±0.1	10.0±0.1	3.5±0.1	11.3±0.1	493±4	201±2	175±4	227±2
32	5.0	8.0	5.0	8.0	21.6±0.1	17.9±0.1	7.6±0.1	23.3±0.1	432±2	224±1	153±2	290±2
33	8.0	10.0	8.0	10.0	29.6±0.1	24.7±0.1	11.4±0.1	33.6±0.1	370±1	247±1	142±2	336±1

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation หรือ $\bar{X} \pm SD$) เมื่อทำการตรวจวัด 5 ซ้ำ (n = 5)

** - คือ ไม่ได้ทำการทดลอง

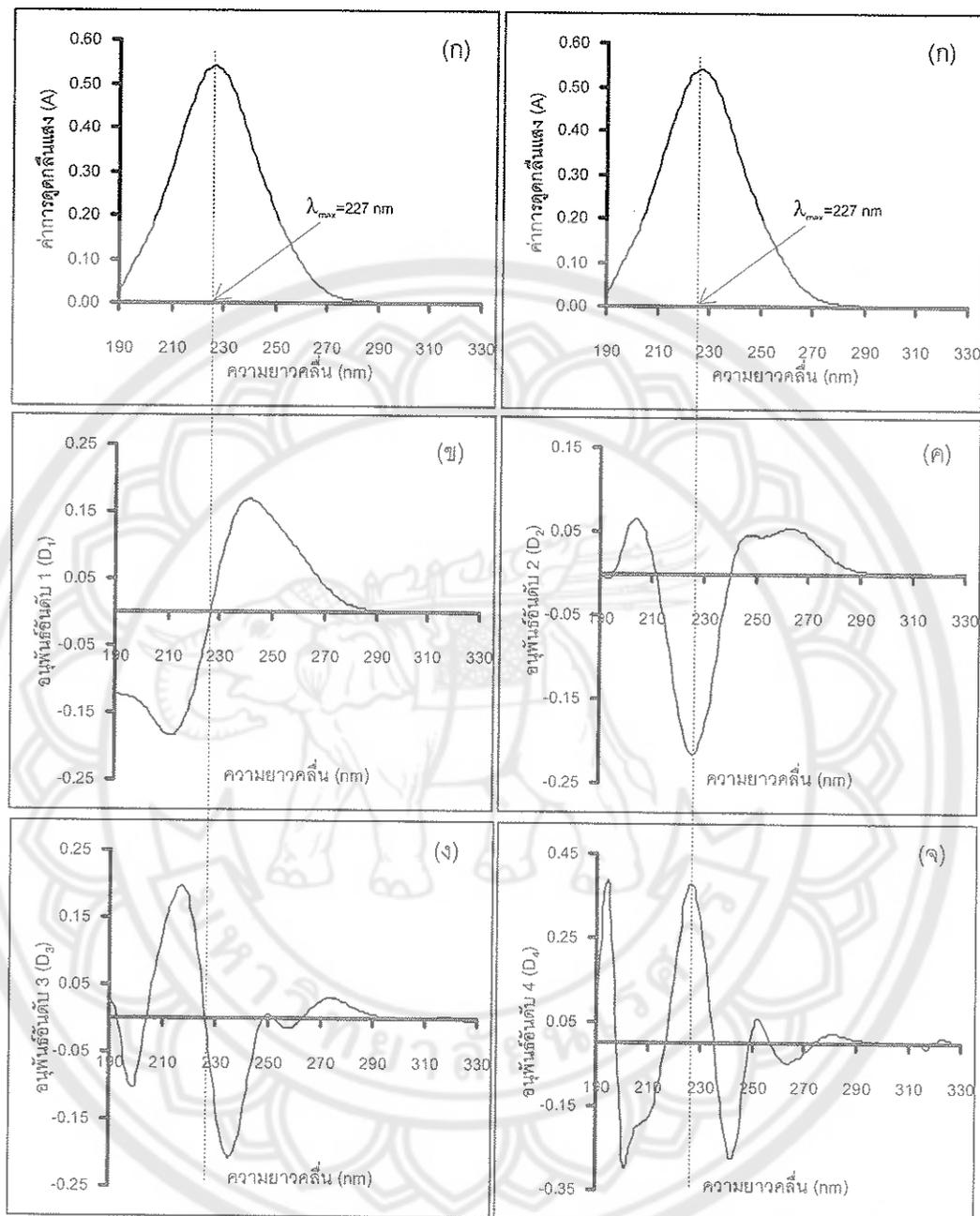
*** ร้อยละการกลับคืน (%Recovery) = (ความเข้มข้นที่ตรวจพบจากผลการทดลอง ÷ ความเข้มข้นที่เติม) x 100

การศึกษาหาสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน

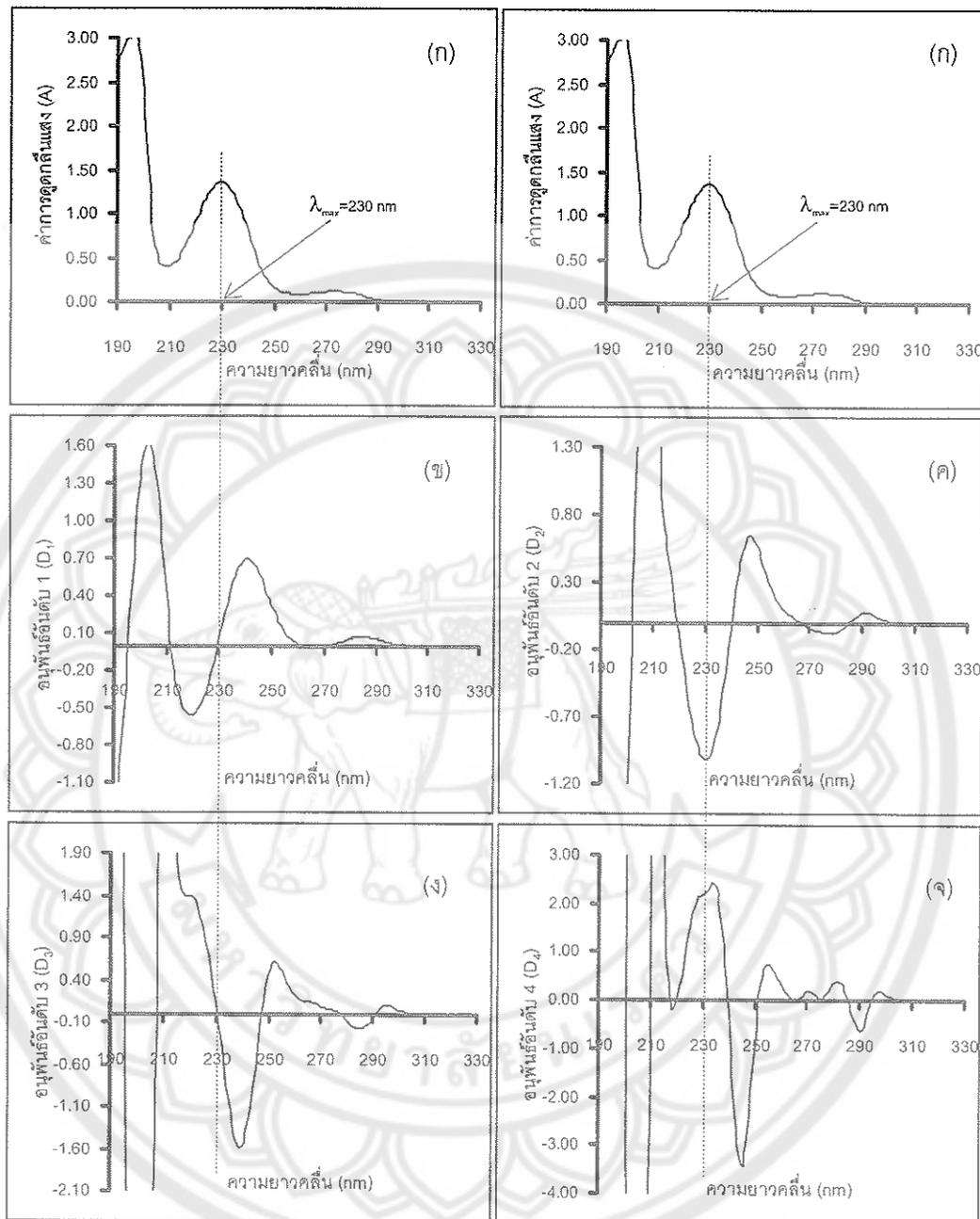
จากการศึกษาเพื่อหาสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับ 1- 4 (D_1, D_2, D_3 และ D_4 spectrum) ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) ดังหัวข้อ 3.5 และใช้สภาวะการทดลองดังตาราง 4 ได้ผลการทดลองดังภาพ 16-19 ตามลำดับ พบว่า D_1 และ D_3 สเปกตรัมของทั้งเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน มีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับศูนย์ที่ 227, 230, 263 และ 273 nm ของแอมพลิจูดขั้นสเปกตรัม (หรือ D_0) ของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ตามลำดับ และลักษณะของ D_1 และ D_3 สเปกตรัมนี้จะมีแถบ (Band) สเปกตรัมที่มีค่า (+) สูงสุด และ (-) ต่ำสุด ส่วน D_2 และ D_4 สเปกตรัมของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (+) และต่ำสุด (-) ตามลำดับที่ 227, 230, 263 และ 273 nm ของแอมพลิจูดขั้นสเปกตรัมของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนตามลำดับ โดยที่ค่าสัญญาณอนุพันธ์ของ D_1, D_2, D_3 และ D_4 สเปกตรัม จะมีค่าต่ำกว่าค่าการดูดกลืนแสงของแอมพลิจูดขั้นสเปกตรัมโดยสามารถสรุปค่าสัญญาณอนุพันธ์ D_0, D_1, D_2, D_3 และ D_4 ได้ดังตาราง 13 ดังนั้นจึงสามารถนำคุณลักษณะเฉพาะของสเปกตรัมอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ที่ได้มาใช้สำหรับศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณของสารทั้ง 4 ชนิดพร้อมกันด้วยวิธีสเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์ที่มีการใช้เทคนิคซีโร-ครอสซิงร่วมด้วย

ตาราง 13 สรุปค่าสัญญาณอนุพันธ์อันดับต่างๆ (D_n) ของสเปกตรัมของอนุพันธ์อันดับต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน

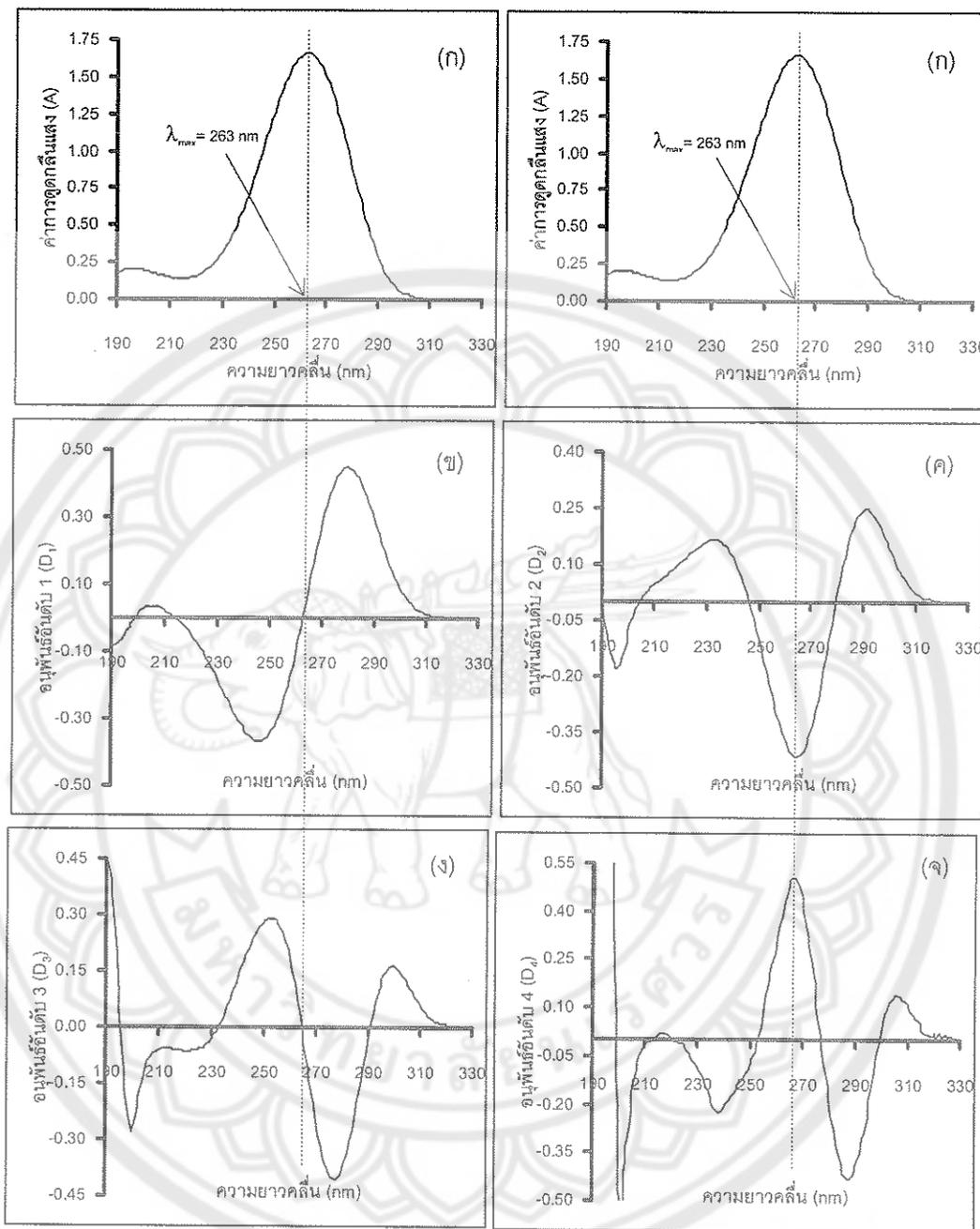
สารละลายมาตรฐาน	สเปกตรัมอนุพันธ์									
	D_0		D_1		D_2		D_3		D_4	
	λ (nm)	D_0	λ (nm)	D_1	λ (nm)	D_2	λ (nm)	D_3	λ (nm)	D_4
เอซีซัลเฟม-เค (10 mg/L)	227	0.5404	227	0.0014	227	-0.2140	227	-0.0029	227	0.3757
กรดเบนโซอิก (20 mg/L)	230	0.9075	230	0.0027	230	-1.0197	230	0.0012	230	2.1901
กรดซอร์บิก (10 mg/L)	263	1.1659	263	-0.0011	263	-0.3500	263	-0.0017	263	0.5020
คาเฟอีน (20 mg/L)	273	0.7761	273	-0.0023	273	-0.5313	273	0.0031	273	0.8109



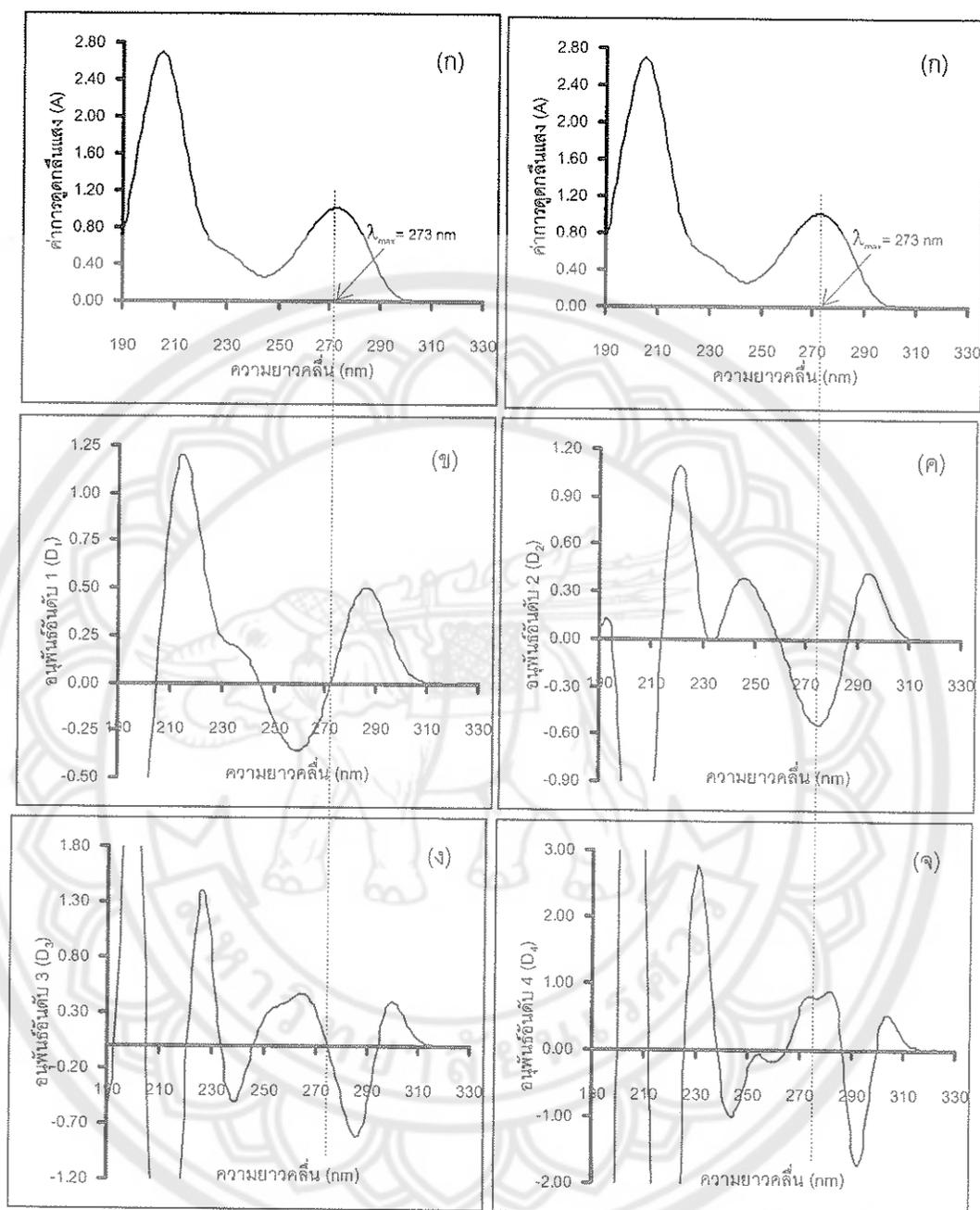
ภาพ 16 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค (10 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอบซอร์พชันสเปกตรัม (ข) D_1 สเปกตรัม (ค) D_2 สเปกตรัม (ง) D_3 สเปกตรัม และ (จ) D_4 สเปกตรัม



ภาพ 17 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานกรดเบนโซอิก (20 mg/L) ในสารละลาย ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์พชันสเปกตรัม (ข) D_1 สเปกตรัม (ค) D_2 สเปกตรัม (ง) D_3 สเปกตรัม และ (จ) D_4 สเปกตรัม



ภาพ 18 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานกรดซอร์บิก (10 mg/L) ในสารละลาย ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอปซอร์พชันสเปกตรัม (ข) D_1 สเปกตรัม (ค) D_2 สเปกตรัม (ง) D_3 สเปกตรัม และ (จ) D_4 สเปกตรัม



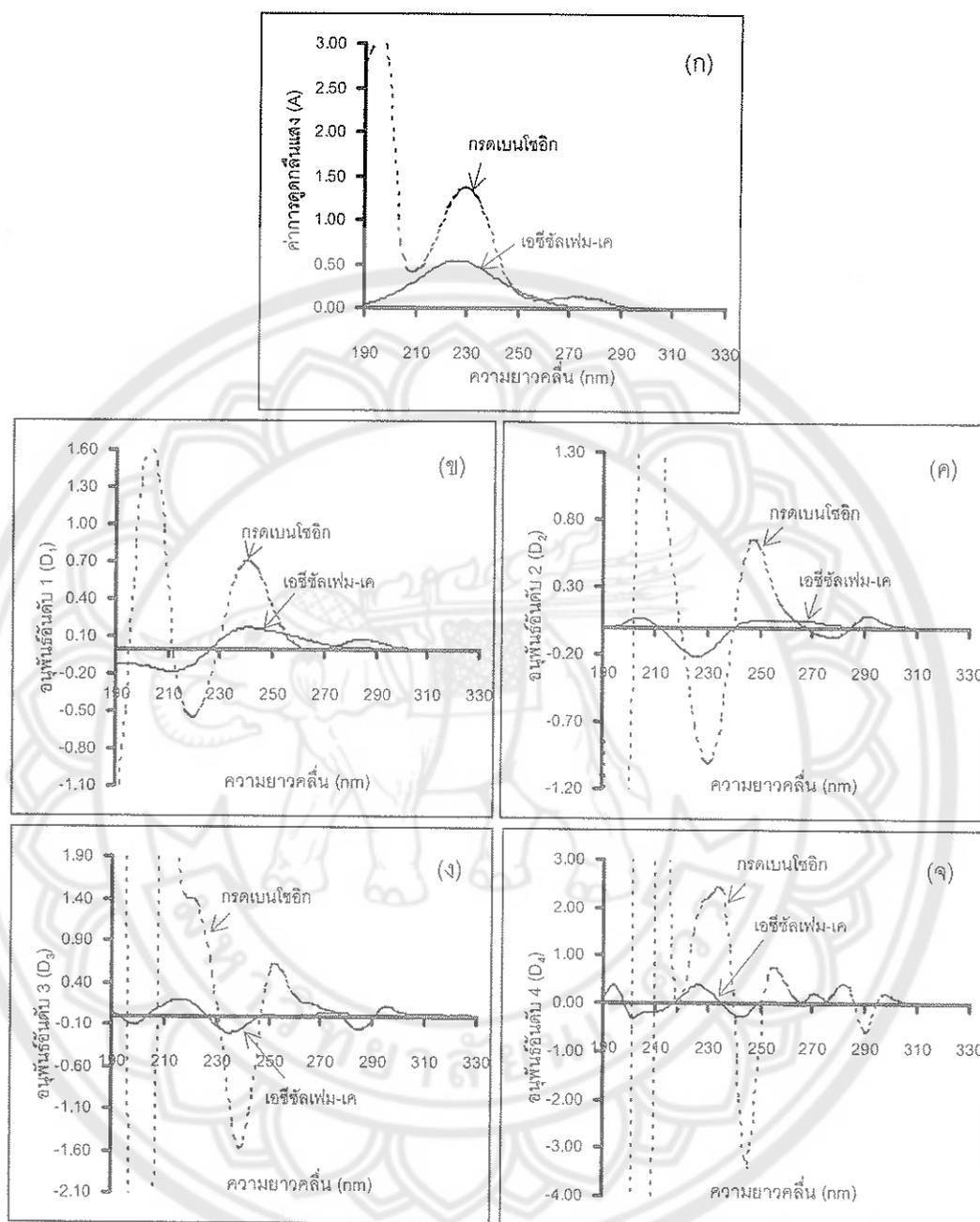
ภาพ 19 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานคาเฟอีน (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอบซอร์พชันสเปกตรัม (ข) D₁ สเปกตรัม (ค) D₂ สเปกตรัม (ง) D₃ สเปกตรัม และ (จ) D₄ สเปกตรัม

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนด้วยวิธีซีโร-โครสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์

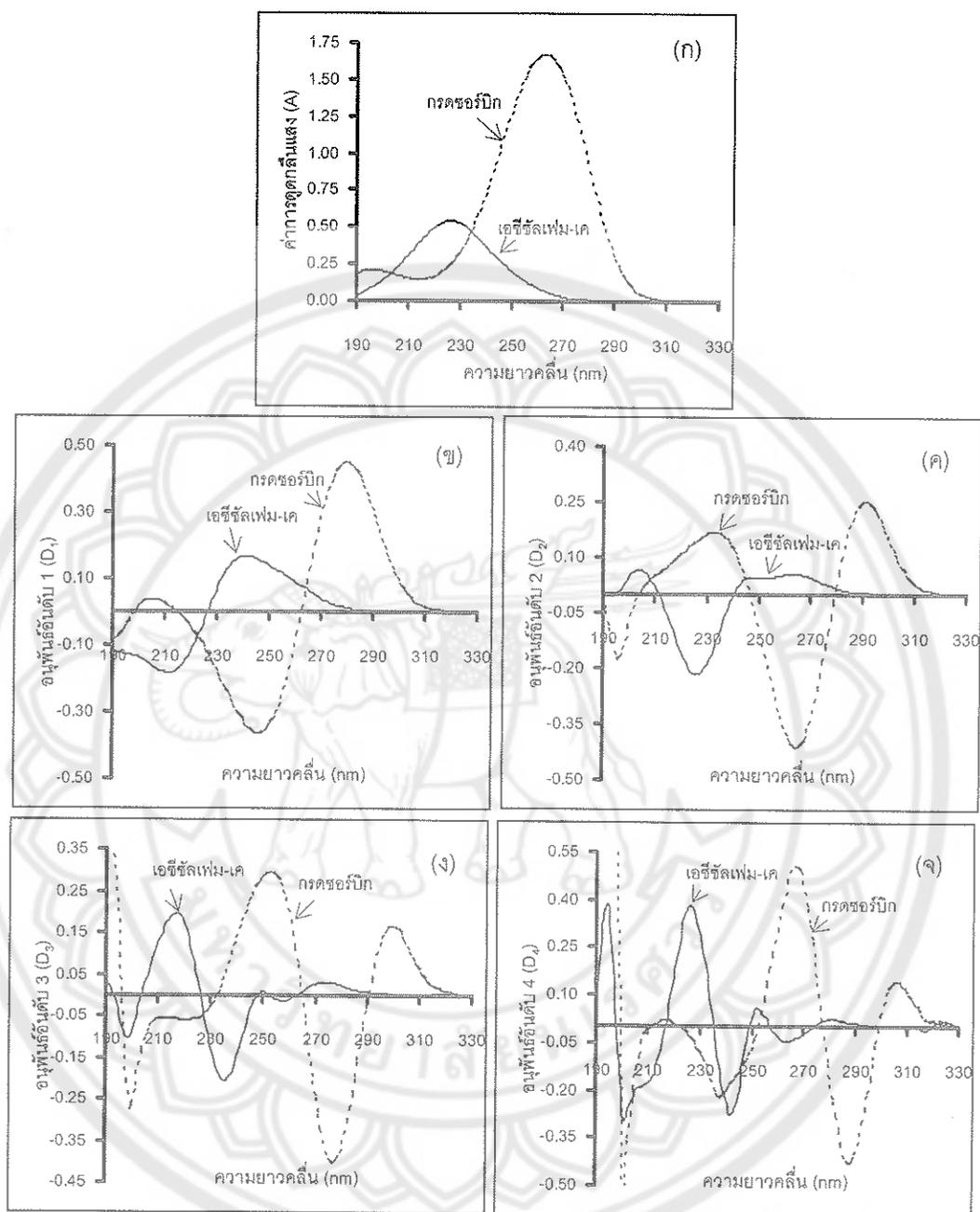
1. การศึกษาหาจุดซีโร-โครสซิงของสารละลายมาตรฐานแบบคู่

จากวิธีการศึกษาหาจุดซีโร-โครสซิง ของสารละลายมาตรฐานแบบคู่ เมื่อนำ D_1 , D_2 , D_3 และ D_4 สเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน มาซ้อนทับกันเป็นคู่ๆ ดังหัวข้อ 1 ได้ผลการทดลองดังภาพ 20-25 ตามลำดับ และสามารถสรุปค่า λ_{zero} และค่า D_{zero} ของสารที่สนใจวิเคราะห์ที่ได้ดังตาราง 14 จากผลการศึกษา สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค เมื่อเอซีซัลเฟม-เคคู่กับกรดเบนโซอิก พบว่าการซ้อนทับกันของ D_1 สเปกตรัมให้ค่า λ_{zero} ที่กรดเบนโซอิกมีค่า D_1 อนุพันธ์เท่ากับหรือใกล้เคียงศูนย์จำนวน 3 จุด คือที่ 229, 261 และ 272 nm ส่วนการซ้อนทับกันของ D_2 , D_3 และ D_4 สเปกตรัม ตามลำดับ ให้ค่า λ_{zero} ที่กรดเบนโซอิกมีค่า D_2 , D_3 และ D_4 อนุพันธ์เท่ากับหรือใกล้เคียงศูนย์ จำนวนอย่างละ 1 จุด คือที่ 265, 277 และ 266 nm ตามลำดับ ส่วนคู่ของเอซีซัลเฟม-เคคู่กับกรดซอร์บิก และเอซีซัลเฟม-เคคู่กับคาเฟอีน อธิบายได้เช่นเดียวกัน เพื่อให้ประสิทธิภาพของการวิเคราะห์มีความแม่นยำ สามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค นี้ เลือกจุด λ_{zero} ที่ 261 nm (D_1 สเปกตรัม), 222 nm (D_4 สเปกตรัม) และ 234 nm (D_3 สเปกตรัม) เมื่อมีกรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน เป็นสารรบกวนตามลำดับ เพราะค่าสัญญาณอนุพันธ์ของเอซีซัลเฟม-เค ที่ λ_{zero} ดังกล่าวนี้มีค่าสูง (หรือให้ค่า Sensitivity สูง)

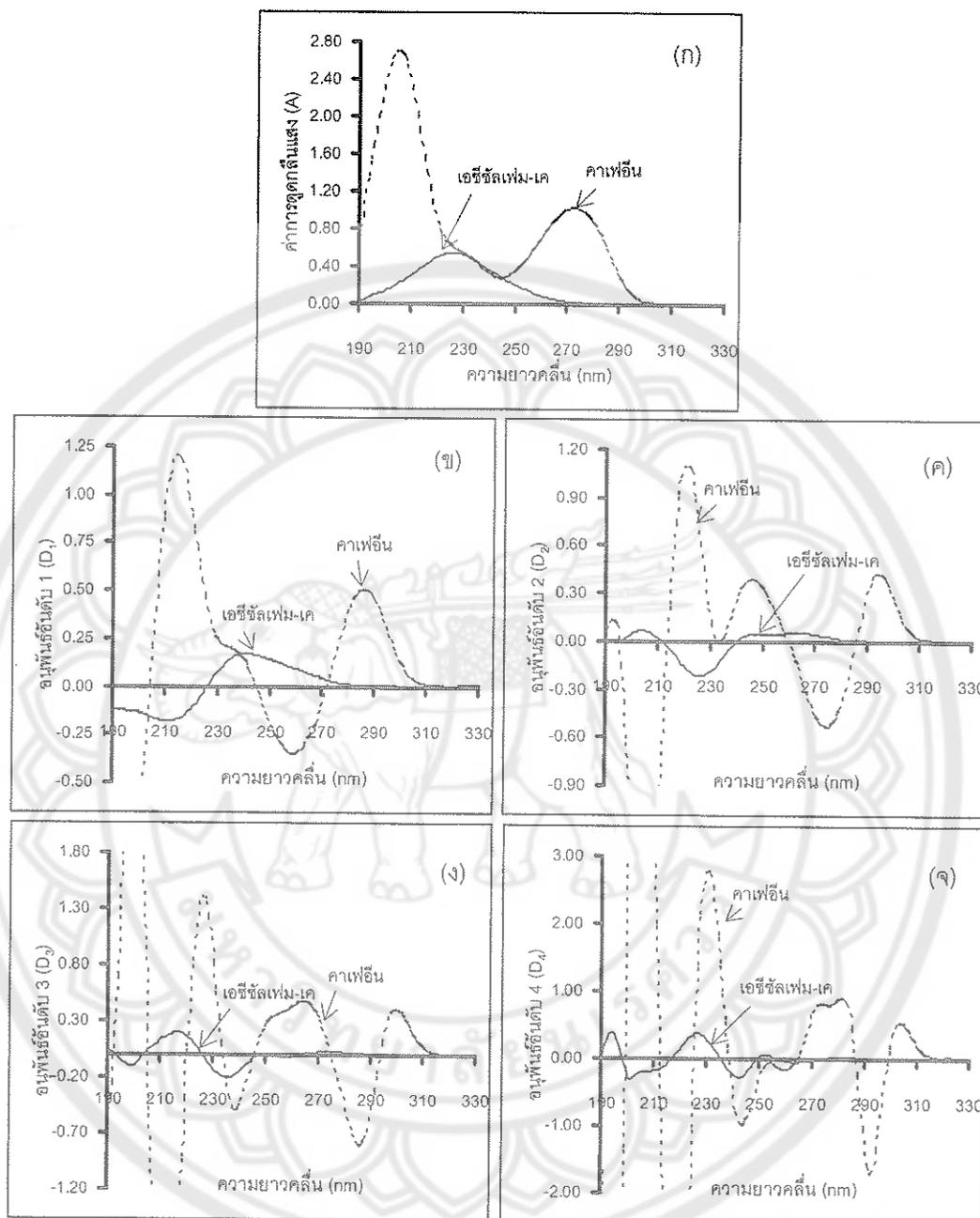
สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน เมื่อทำการศึกษาหาจุด λ_{zero} ของการซ้อนทับกันของสเปกตรัมอนุพันธ์แบบคู่ๆ นั้น สามารถสรุปได้ในทำนองเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค (ดังตาราง 14) ซึ่งพบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเบนโซอิก จะเลือกใช้จุด λ_{zero} ที่ 257 nm (D_4 สเปกตรัม), 225 nm (D_4 สเปกตรัม) และ 244 nm (D_1 สเปกตรัม) เมื่อมีเอซีซัลเฟม-เค กรดซอร์บิก และคาเฟอีนเป็นสารรบกวน ตามลำดับ การวิเคราะห์หาปริมาณกรดซอร์บิก จะเลือกใช้จุด λ_{zero} ที่ 280 nm (D_1 สเปกตรัม), 278 nm (D_3 สเปกตรัม) และ 259 nm (D_2 สเปกตรัม) เมื่อมีเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก และคาเฟอีนเป็นสารรบกวน ตามลำดับ และการวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีน จะเลือกใช้จุด λ_{zero} ที่ 293 nm (D_4 สเปกตรัม), 295 nm (D_4 สเปกตรัม) และ 277 nm (D_4 สเปกตรัม) เมื่อมีเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก และกรดซอร์บิก เป็นสารรบกวน ตามลำดับ



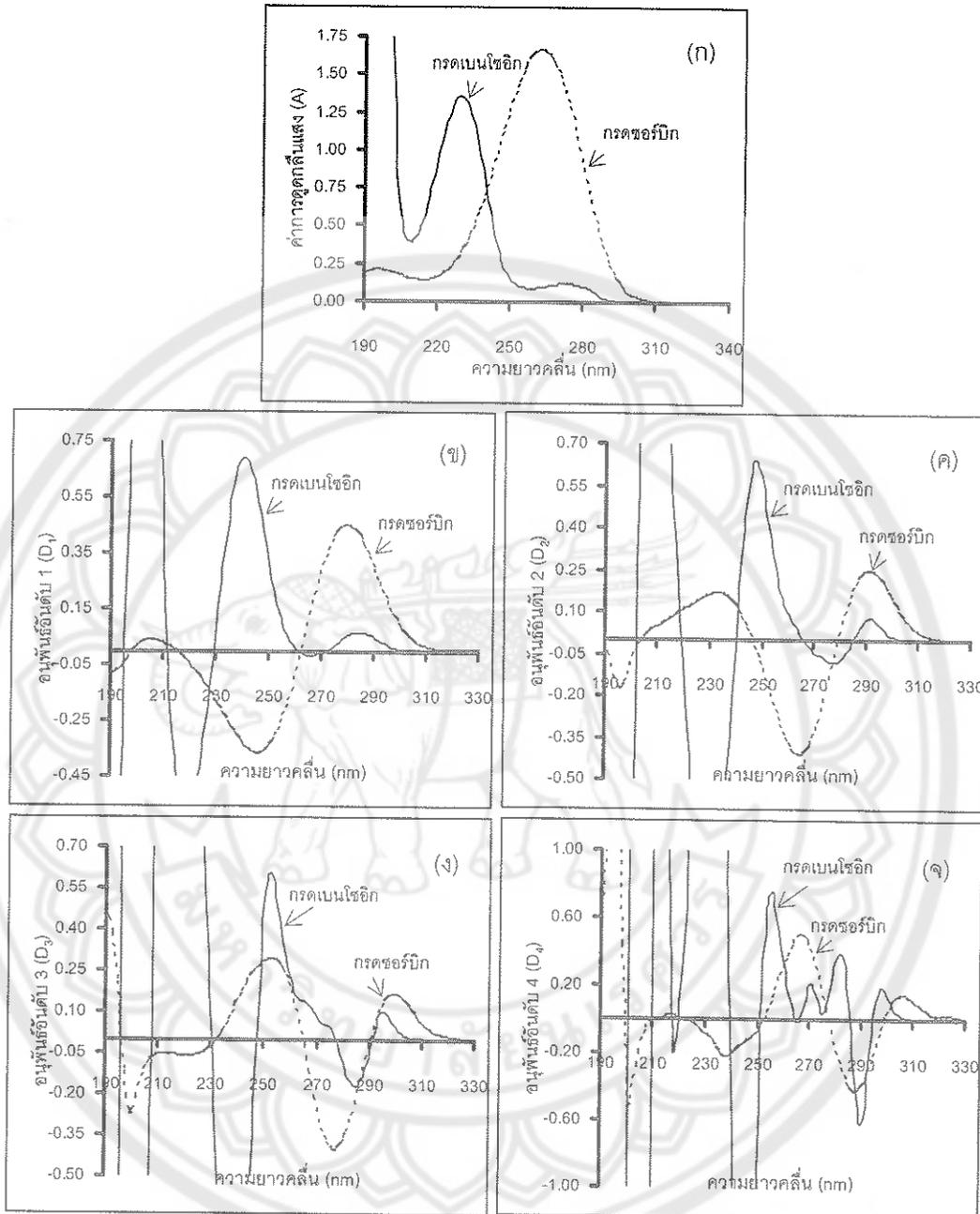
ภาพ 20 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซีลเฟม-เค (10 mg/L) คู่กับกรดเบนโซอิก (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอบซอร์พชันสเปกตรัม (ข) D₁ สเปกตรัม (ค) D₂ สเปกตรัม (ง) D₃ สเปกตรัม และ (จ) D₄ สเปกตรัม



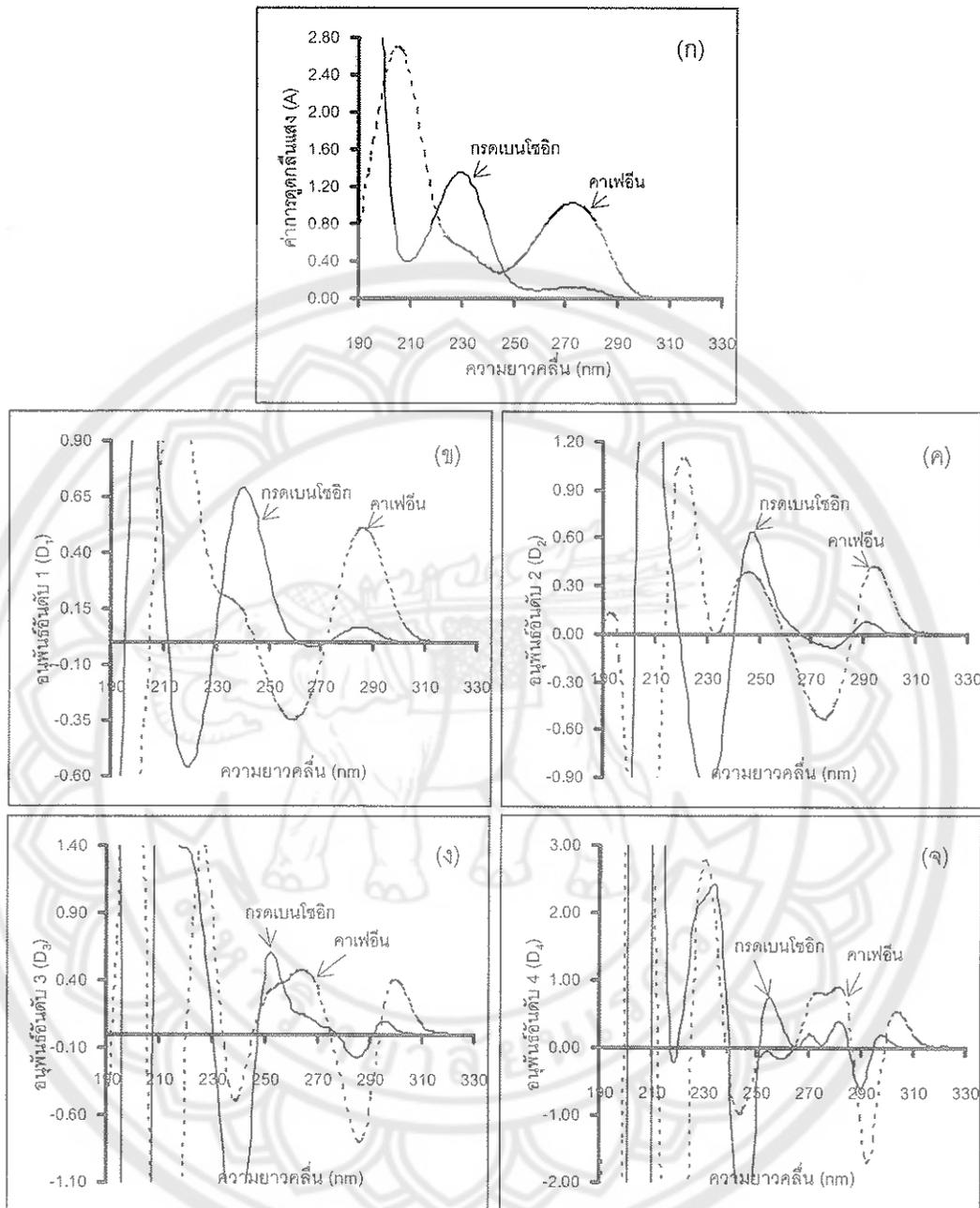
ภาพ 21 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซีอัลเฟม-เค (10 mg/L) คู่กับกรดชอร์บิก (10 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์พชัน สเปกตรัม (ข) D₁ สเปกตรัม (ค) D₂ สเปกตรัม (ง) D₃ สเปกตรัม และ (จ) D₄ สเปกตรัม



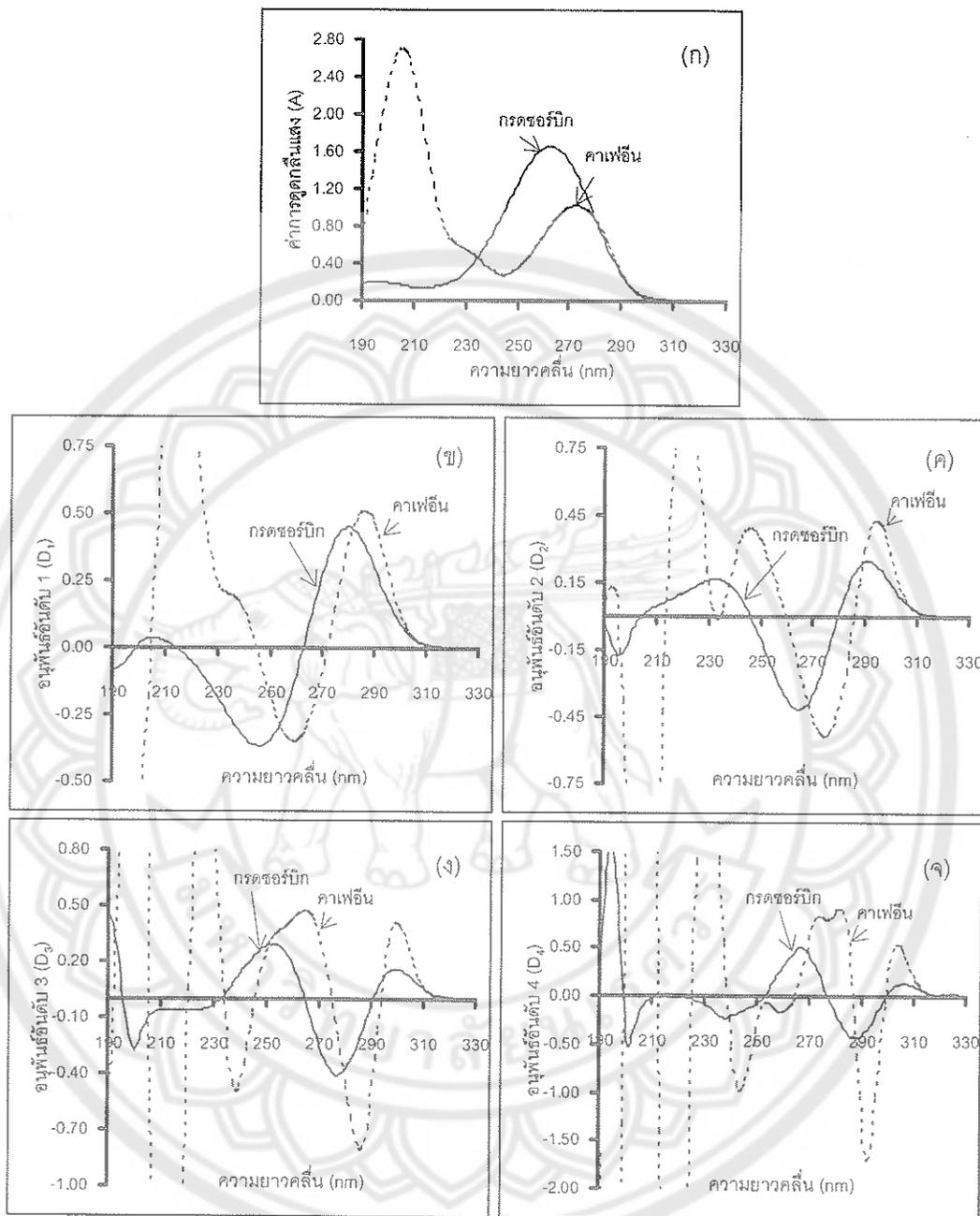
ภาพ 22 สเปกตราต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค (10 mg/L) คู่กับคาเฟอีน (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์ปชัน สเปกตรัม (ข) D_1 สเปกตรัม (ค) D_2 สเปกตรัม (ง) D_3 สเปกตรัม และ (จ) D_4 สเปกตรัม



ภาพ 23 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานกรดเบนโซอิก (20 mg/L) คู่กับกรดซอร์บิก (10 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์ปชันสเปกตรัม (ข) D_1 สเปกตรัม (ค) D_2 สเปกตรัม (ง) D_3 สเปกตรัม และ (จ) D_4 สเปกตรัม



ภาพ 24 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานกรดเบนโซอิก (20 mg/L) คู่กับคาเฟอีน (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์ปชันสเปกตรัม (ข) D_1 สเปกตรัม (ค) D_2 สเปกตรัม (ง) D_3 สเปกตรัม และ (จ) D_4 สเปกตรัม



ภาพ 25 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานกรดซอร์บิก (10 mg/L) คู่กับคาเฟอีน (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2-3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์ปชันสเปกตรัม (ข) D₁ สเปกตรัม (ค) D₂ สเปกตรัม (ง) D₃ สเปกตรัม และ (จ) D₄ สเปกตรัม

ตาราง 14 ค่าความยาวคลื่นที่จุดซีโร-ครอสซิง (λ_{zero}) และค่าสัญญาณอนุพันธ์ (D_{zero}) ของสารที่สนใจวิเคราะห์ปริมาณ (สารตัวที่ 1) และของสารรบกวน (สารตัวที่ 2) สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณเอซีดีเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน เมื่อทำการศึกษาด้วยสเปกโตรสโกปี

การวิเคราะห์ ปริมาณของ*	การศึกษาสารมาตรฐาน		D ₁ สเปกตรัม				D ₂ สเปกตรัม				D ₃ สเปกตรัม				D ₄ สเปกตรัม			
	สารตัวที่ 1	สารตัวที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₁ (zero)* ของสารตัวที่ 1	D ₁ (zero) ของสารตัวที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₂ (zero) ของสารตัวที่ 1	D ₂ (zero) ของสารตัวที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₃ (zero) ของสารตัวที่ 1	D ₃ (zero) ของสารตัวที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₄ (zero) ของสารตัวที่ 1	D ₄ (zero) ของสารตัวที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₅ (zero) ของสารตัวที่ 1	D ₅ (zero) ของสารตัวที่ 2	
ASK	ASK	BEN	229	0.0261	-0.0060	265	0.0272	0.0018	277	0.0138	0.0015	266	-0.0198	-0.0017				
			261	0.0430	0.0005													
			272	0.0160	0.0000													
ASK	ASK	SOR	214	-0.0890	0.0015	246	0.0230	0.0013	233	-0.0960	0.0012	222	0.1274	-0.0023				
			263	0.0377	0.0014													
			244	0.0825	0.0040	232	-0.0800	0.0014	234	-0.1018	-0.0012	285	-0.0215	-0.0015				
ASK	ASK	CAF	272	0.0160	-0.0014	259	0.0263	0.0026										
			226	-0.1430	-0.0040	212	0.7609	-0.0020	226	0.4296	0.0016	249	-0.8040	0.0005				
			285	0.0329	0.0018	291	0.0391	0.0008	253	0.2940	-0.0011	257	0.3115	-0.0008				
BEN	BEN	SOR	214	-0.1660	0.0005	246	0.3073	0.0023	233	-0.2990	0.0012	225	0.7420	-0.0023				
						279	-0.0380	-0.0018	265	0.0688	-0.0019	254	0.3567	0.0013				
			244	0.3073	0.0018	214	0.4168	0.0024	221	0.6940	0.0024	226	0.8910	-0.0050				
SOR	SOR	CAF				232	-0.4950	0.0014	234	-0.4197	-0.0048							
						259	0.0570	0.0016	284	0.0446	-0.0008							
			227	-0.0660	0.0022	212	0.0283	-0.0020	226	-0.0280	0.0026	235	-0.0970	0.0038				
SOR	SOR	ASK	280	0.3239	0.0015	240	0.0598	-0.0010	249	0.1365	0.0024	249	-0.0438	0.0005				
						291	0.1821	0.0010	253	0.1825	-0.0018	295	-0.1203	0.0009				
									299	0.0816	0.0000							

ตาราง 14 (ต่อ)

การวิเคราะห์ ปริมาณของ*	การศึกษาสารมาตรฐาน แบบสุ่มช่วง				D ₁ สเปกตรัม				D ₂ สเปกตรัม				D ₃ สเปกตรัม				D ₄ สเปกตรัม			
	สารตัวที่ 1	สารตัวที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₁ (zero)** ของสารตัว ที่ 1	D ₁ (zero) ของสารตัว ที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₂ (zero) ของสารตัว ที่ 1	D ₂ (zero) ของสารตัว ที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₃ (zero) ของสารตัว ที่ 1	D ₃ (zero) ของสารตัว ที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₄ (zero) ของสารตัว ที่ 1	D ₄ (zero) ของสารตัว ที่ 2	λ_{zero} (nm)	D ₅ (zero) ของสารตัว ที่ 1	D ₅ (zero) ของสารตัว ที่ 2			
SOR	BEN		261	-0.0343	0.0005	266	-0.2932	0.0008	248	0.1315	0.0013	240	-0.1033	-0.0016						
			272	0.1697	0.0000	285	0.0905	0.0012	278	-0.2843	0.0009	266	0.2566	-0.0017						
			299	0.0748	0.0012	302	0.0548	0.0015	307	0.0460	0.0013	308	0.0632	0.0027						
SOR	CAF		244	-0.1810	0.0018	214	0.0340	0.0018	246	0.1195	0.0014	239	-0.1073	-0.0050						
			272	0.2197	-0.0024	235	0.0810	0.0026	275	-0.2368	-0.0018	265	0.2500	-0.0035						
			-	-	-	259	-0.1750	0.0026	-	-	-	287	-0.2115	-0.0053						
CAF	ASK		226	0.2026	-0.0031	212	-0.3740	-0.0020	226	0.7141	0.0026	217	-2.8705	0.0009						
			285	0.2536	0.0018	283	-0.1208	0.0012	253	0.1679	-0.0018	235	0.7009	0.0034						
			-	-	-	-	-	-	286	0.4083	0.0023	249	-0.2498	0.0005						
CAF	BEN		212	0.5884	-0.0013	220	0.5675	-0.0036	231	0.2877	-0.0016	295	-0.6643	0.0014						
			230	0.1195	0.0035	266	-0.1510	0.0008	277	-0.1008	0.0050	306	0.2176	0.0025						
			261	-0.1740	0.0005	303	0.0682	0.0016	291	-0.2283	-0.0018	-	-	-						
CAF	SOR		299	0.0732	0.0019	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
			214	0.6350	0.0015	246	0.1950	0.0023	233	0.0538	0.0012	220	-2.6480	0.0000						
			263	-0.1620	-0.0009	279	-0.2320	-0.0018	265	0.2377	-0.0019	254	-0.0328	0.0013						
		-	-	-	-	-	-	291	-0.2253	0.0019	277	0.0963	-0.0006							

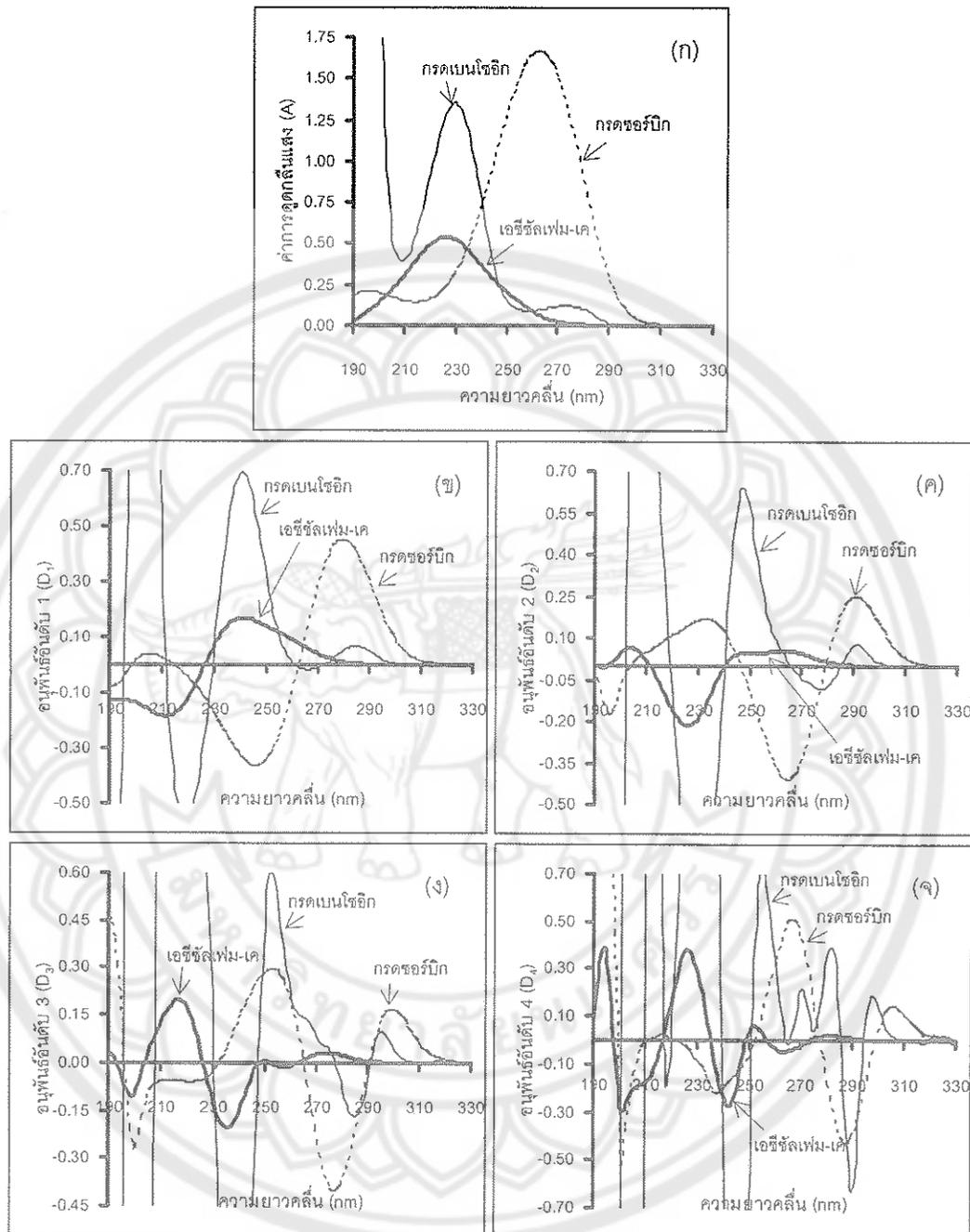
* เมื่อทำการศึกษาโดยใช้สารละลายมาตรฐานแอซีทิลเฟน-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน (เข้มข้น 10, 20, 10 และ 20 mg/L ตามลำดับ

** D₁(zero), D₂(zero), D₃(zero) และ D₄(zero) คือค่าสัญญาณบนพื้นฐานที่ 1, 2, 3 และ 4 ที่จุดที่โครอสซิง (λ_{zero})

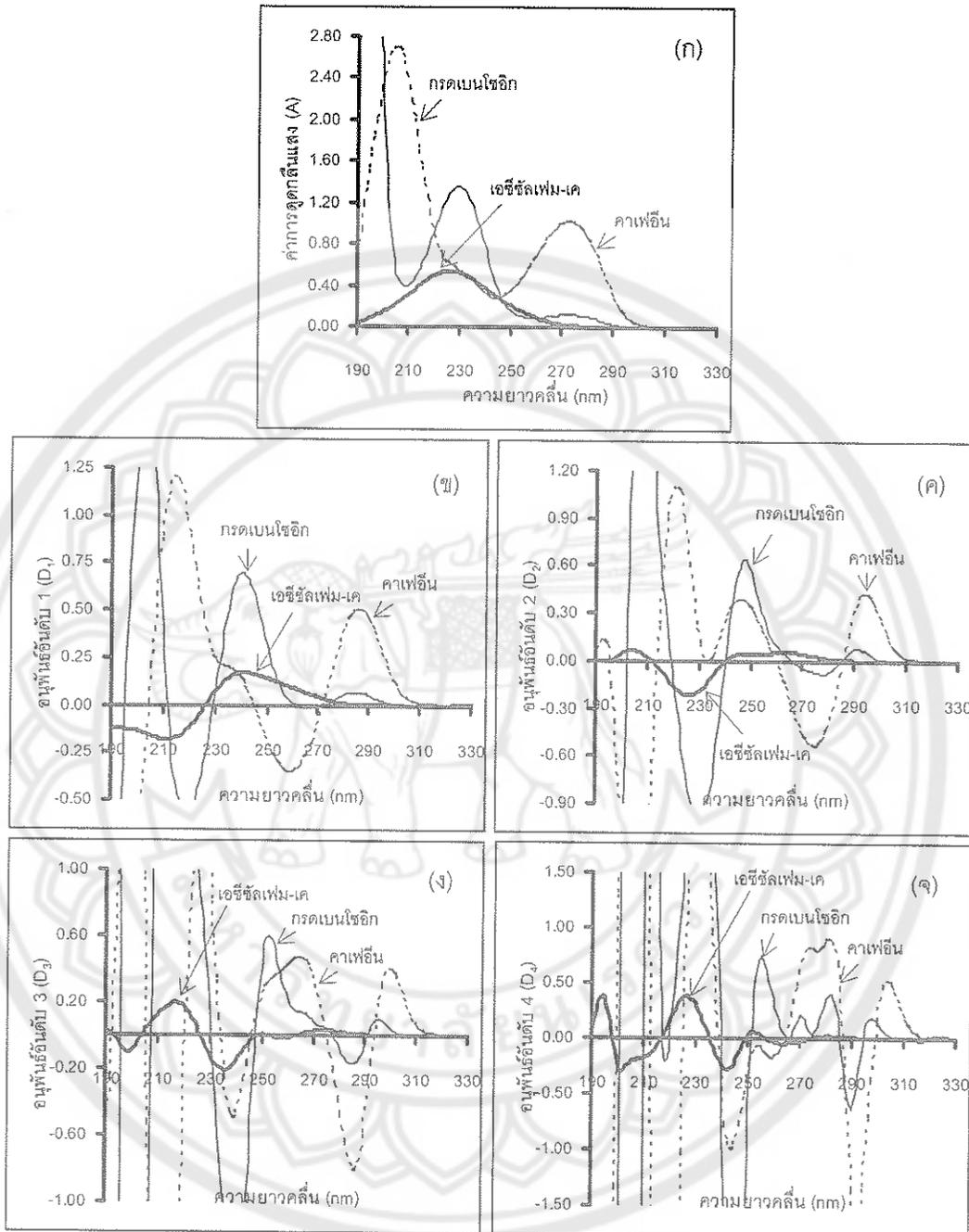
2. การศึกษาหาจุดซีโร-ครอสซิงของสารละลายมาตรฐานแบบสาม

จากวิธีการศึกษาหาจุดซีโร-ครอสซิง ของสารละลายมาตรฐานแบบสาม เมื่อนำ D_1 , D_2 , D_3 และ D_4 สเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานเอซีซีลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน มาซ้อนทับกันครั้งละ 3 สเปกตรัม ดังหัวข้อ 2 ได้ผลการทดลองดังภาพ 26-29 ตามลำดับ และสามารถสรุปค่า λ_{zero} และค่า D_{zero} ของสารที่สนใจวิเคราะห์ได้ดังตาราง 15 จากผลการศึกษาลำดับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซีลเฟม-เค เมื่อเอซีซีลเฟม-เคคู่กับกรดเบนโซอิก และกรดซอร์บิก พบว่าการซ้อนทับกันของ D_1 สเปกตรัมให้ค่า λ_{zero} ที่กรดเบนโซอิกและกรดซอร์บิก มีค่า D_1 อนุพันธ์เท่ากับหรือใกล้เคียงศูนย์นั้นไม่สามารถหาจุด λ_{zero} ได้ ส่วนการซ้อนทับกันของ D_2 , D_3 และ D_4 สเปกตรัม ก็ไม่สามารถหาจุด λ_{zero} ได้เช่นกัน สำหรับเอซีซีลเฟม-เคคู่กับกรดเบนโซอิก และคาเฟอีน พบว่าการซ้อนทับกันของ D_1 สเปกตรัมให้ค่า λ_{zero} ที่กรดเบนโซอิกและคาเฟอีน มีค่า D_1 อนุพันธ์เท่ากับหรือใกล้เคียงศูนย์ จำนวน 1 จุด คือที่ λ_{zero} เท่ากับ 272 nm (D_1 สเปกตรัม) ส่วนการซ้อนทับกันของ D_2 , D_3 และ D_4 สเปกตรัม ให้ค่า λ_{zero} ที่กรดเบนโซอิกและคาเฟอีน มีค่าอนุพันธ์เท่ากับหรือใกล้เคียงศูนย์ ไม่สามารถจุดนั้นได้ และเมื่อเอซีซีลเฟม-เคคู่กับกรดซอร์บิก และคาเฟอีน อธิบายได้เช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า การใช้สเปกตรัมอนุพันธ์ซ้อนทับกันแบบสามนี้การวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซีลเฟม-เค สามารถวิเคราะห์ที่ λ_{zero} เท่ากับ 272 nm (D_1 สเปกตรัม) เมื่อมีกรดเบนโซอิก และคาเฟอีน เป็นสารรบกวนตามลำดับได้เพียงจุดเดียวเท่านั้น ซึ่งให้ค่าสัญญาณอนุพันธ์ที่สูงของเอซีซีลเฟม-เค (หรือให้ค่า Sensitivity สูง)

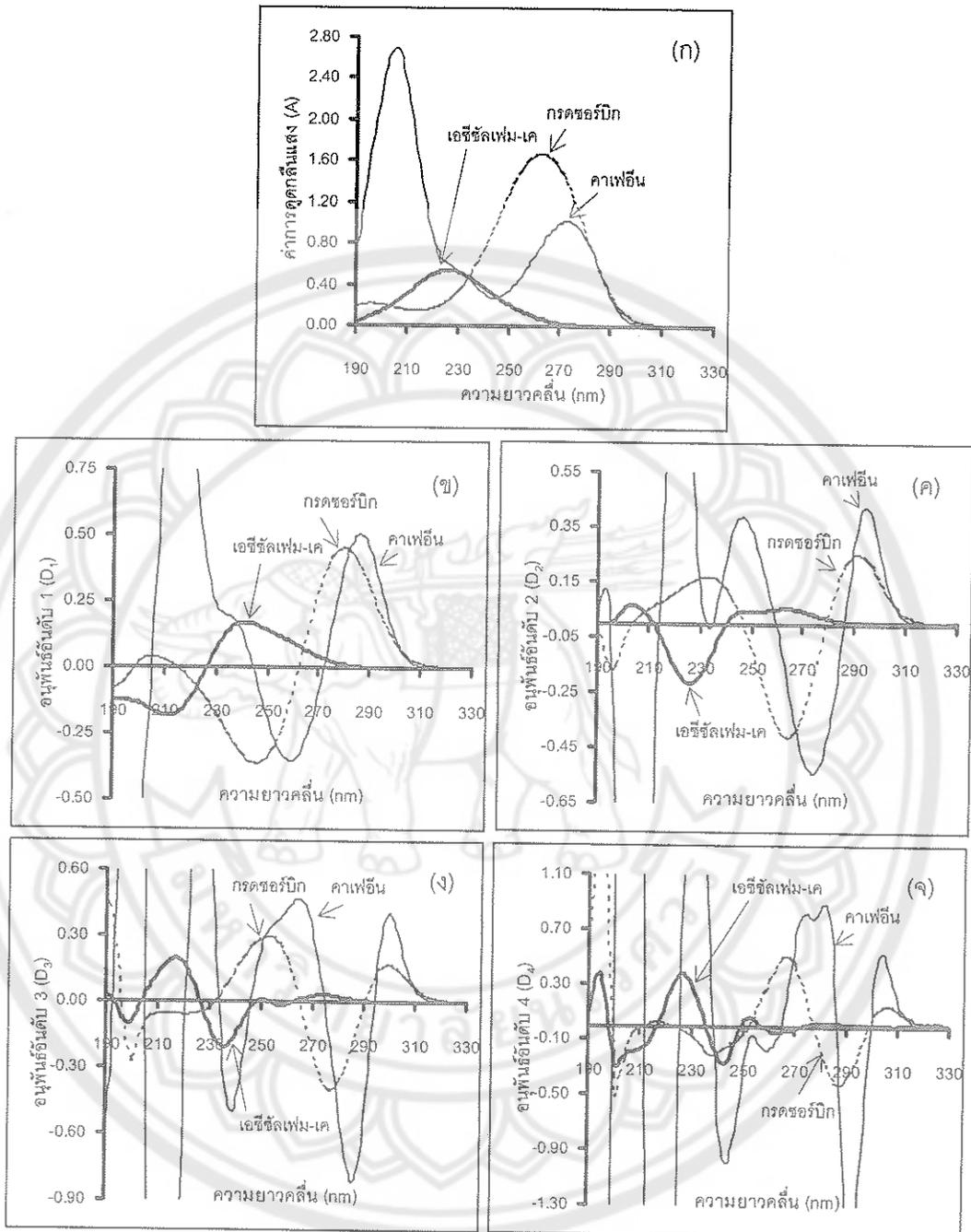
สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน เมื่อทำการศึกษาหาจุด λ_{zero} ของการซ้อนทับกันของสเปกตรัมอนุพันธ์แบบสามนั้น สามารถสรุปได้ในทำนองเดียวกับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซีลเฟม-เค (ดังตาราง 15) ซึ่งพบว่าการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเบนโซอิก สามารถเลือกใช้จุด λ_{zero} ที่ 286 nm (D_2 สเปกตรัม) เมื่อมีเอซีซีลเฟม-เค และคาเฟอีน เป็นสารรบกวน การวิเคราะห์หาปริมาณกรดซอร์บิก จะเลือกใช้จุด λ_{zero} ที่ 310 nm (D_4 สเปกตรัม) เมื่อมีเอซีซีลเฟม-เคและกรดเบนโซอิก เป็นสารรบกวน และเลือกใช้จุด λ_{zero} ที่ 272 nm (D_1 สเปกตรัม) เมื่อมีกรดเบนโซอิกและคาเฟอีน เป็นสารรบกวน ตามลำดับ และการวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีน จะเลือกใช้จุด λ_{zero} ที่ 310 nm (D_4 สเปกตรัม) เมื่อมีเอซีซีลเฟม-เค และกรดเบนโซอิก เป็นสารรบกวน และเลือกใช้จุด λ_{zero} ที่ 291 nm (D_3 สเปกตรัม) เมื่อมีเอซีซีลเฟม-เคและกรดซอร์บิก เป็นสารรบกวนตามลำดับ



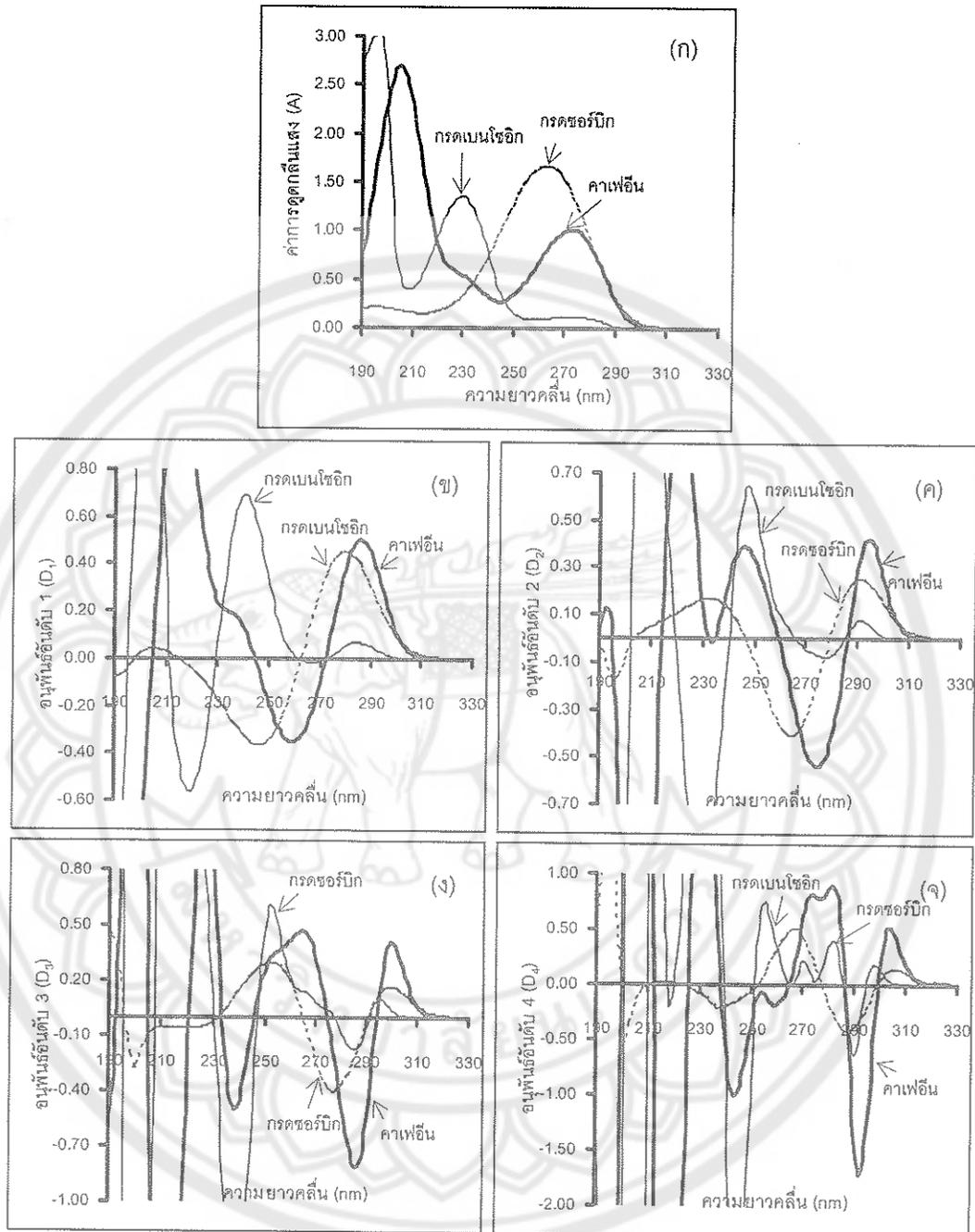
ภาพ 26 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค (10 mg/L) คู่กับกรดเบนโซอิก (20 mg/L) และกรดซอร์บิก (10 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์พชันสเปกตรัม (ข) D₁ สเปกตรัม (ค) D₂ สเปกตรัม (ง) D₃ สเปกตรัม และ (จ) D₄ สเปกตรัม



ภาพ 27 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค (10 mg/L) คู่กับกรดเบนโซอิก (20 mg/L) และ คาเฟอีน (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอบซอร์ปชันสเปกตรัม (ข) D₁ สเปกตรัม (ค) D₂ สเปกตรัม (ง) D₃ สเปกตรัม และ (จ) D₄ สเปกตรัม



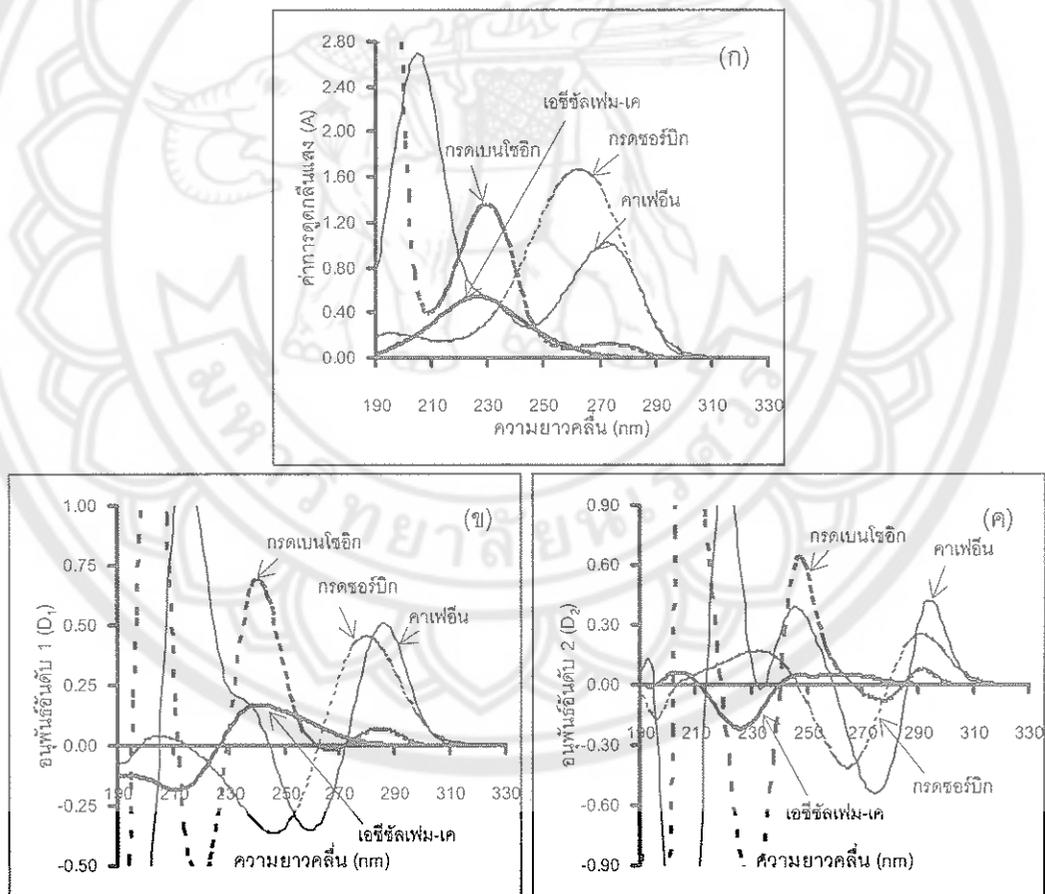
ภาพ 28 สเปกตรากต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค (10 mg/L) คู่กับกรดซอร์บิก (10 mg/L) และคาเฟอีน (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอมซอร์พชันสเปกตรัม (ข) D₁ สเปกตรัม (ค) D₂ สเปกตรัม (ง) D₃ สเปกตรัม และ (จ) D₄ สเปกตรัม



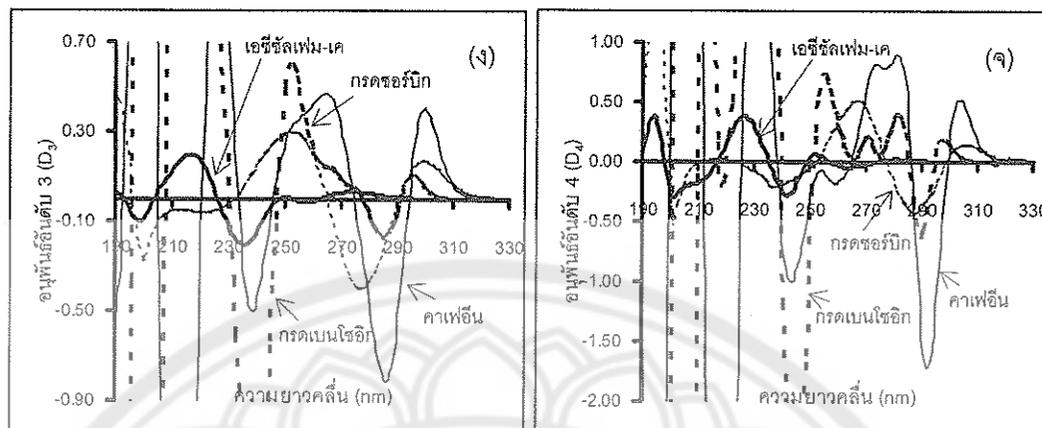
ภาพ 29 สเปกตราร่างต่าง ๆ ของสารละลายมาตรฐานกรดเบนโซอิก (20 mg/L) คู่กับกรดชอร์บิก (10 mg/L) และคาเฟอีน (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์บชันสเปกตรัม (ข) D₁ สเปกตรัม (ค) D₂ สเปกตรัม (ง) D₃ สเปกตรัม และ (จ) D₄ สเปกตรัม

3. การศึกษาหาจุดซีโร-ครอสซิงของสารละลายมาตรฐานแบบสี่

จากวิธีการศึกษาหาจุดซีโร-ครอสซิงของสารละลายมาตรฐานแบบสี่ เมื่อนำ D_1 , D_2 , D_3 และ D_4 สเปกตรัมของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนมาซ้อนทับกันครั้งละ 4 สเปกตรัม ดังหัวข้อ 3 ได้ผลการทดลองดังภาพ 30 จากผลของการศึกษาพบว่าไม่สามารถหาค่า λ_{zero} และค่า D_{zero} ที่เหมาะสมของสารที่สนใจวิเคราะห์ได้ทุกกรณีของการศึกษา นั่นคือการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค ด้วยการซ้อนทับกันของ D_1 - D_4 สเปกตรัม ที่มีกรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน เป็นสารรบกวน (มีค่า D_1 อนุพันธ์เท่ากับหรือใกล้เคียงศูนย์) นั้นไม่สามารถหาจุด λ_{zero} ได้ และการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ก็ไม่สามารถทำได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน



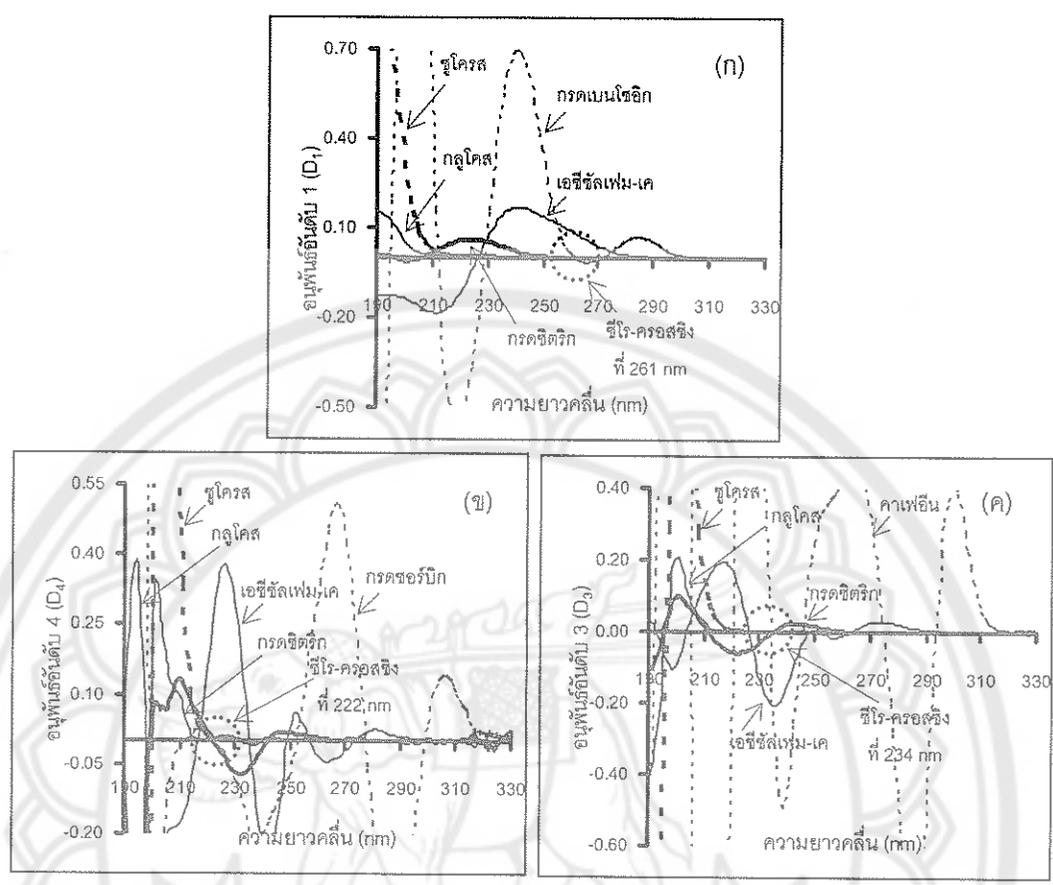
ภาพ 30 สเปกตรัมต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค (10 mg/L) คู่กับกรดเบนโซอิก (20 mg/L) กรดซอร์บิก (10 mg/L) และคาเฟอีน (20 mg/L) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3) เมื่อ (ก) แอ็บซอร์พชันสเปกตรัม (ข) D_1 สเปกตรัม (ค) D_2 สเปกตรัม (ง) D_3 สเปกตรัม และ (จ) D_4 สเปกตรัม



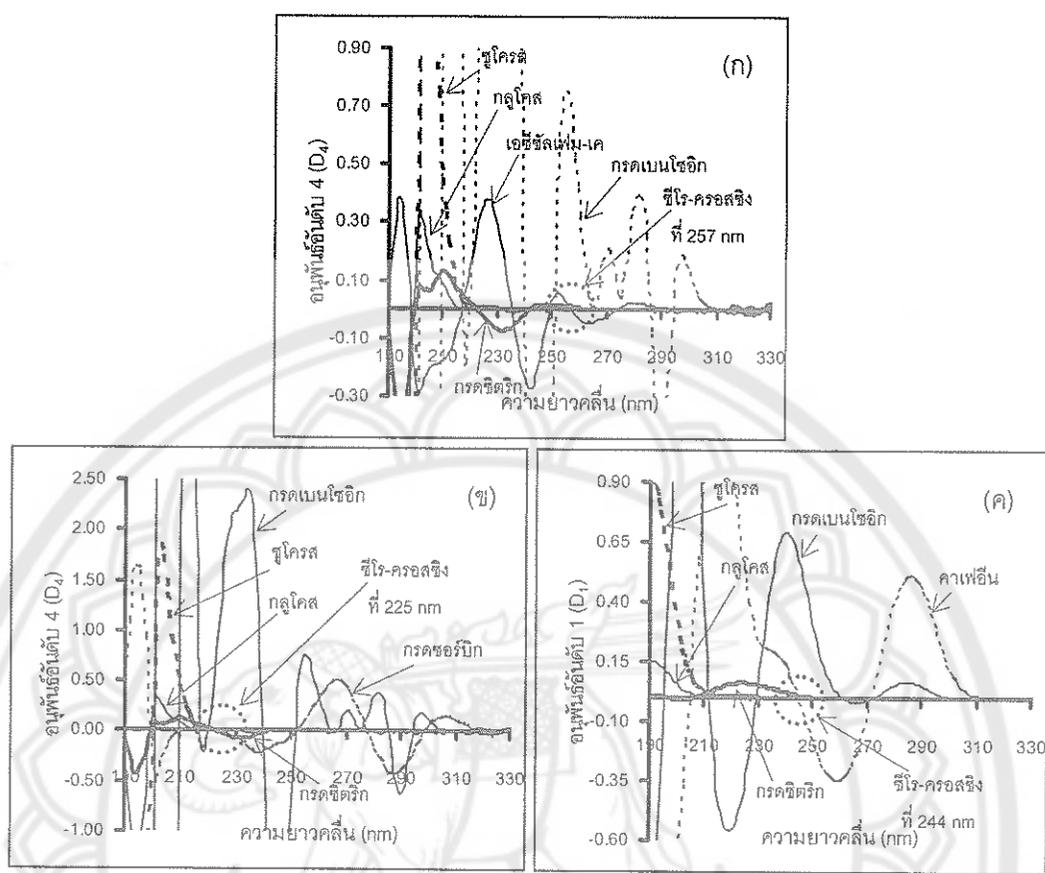
ภาพ 30 (ต่อ)

4. การศึกษาอิทธิพลของสารรบกวน

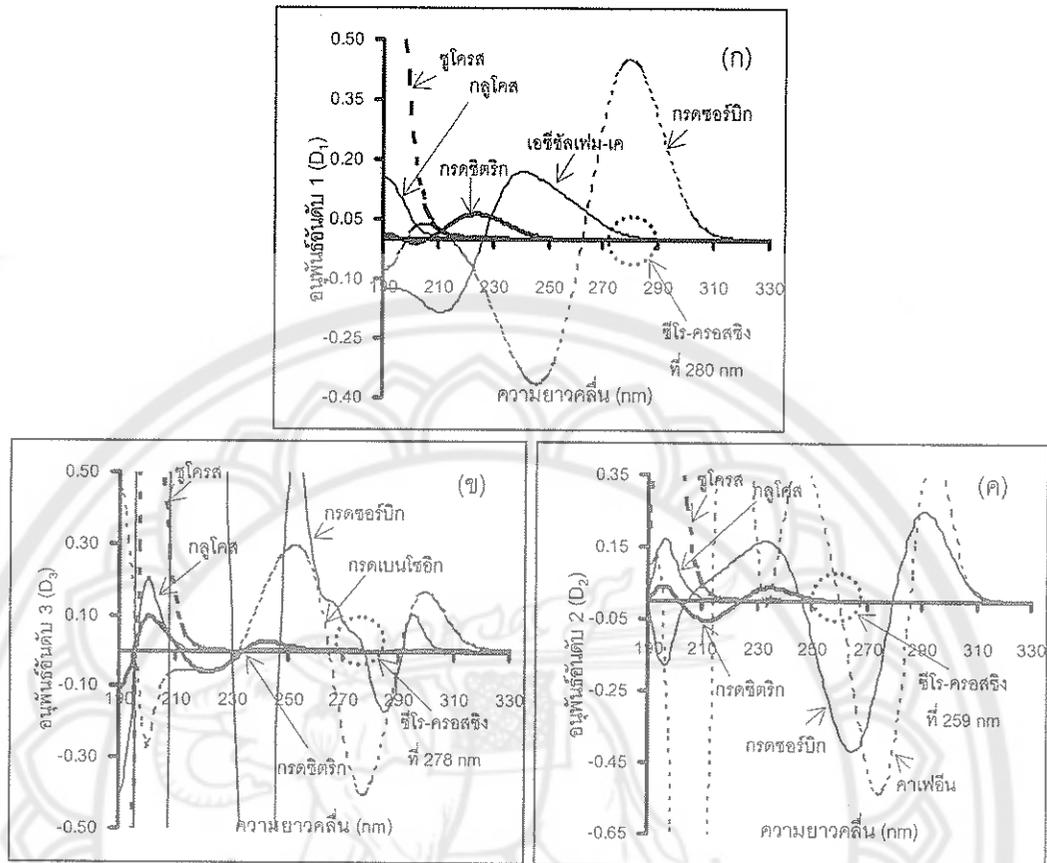
จากการศึกษาผลการรบกวนของกรดซิตริก กลูโคส และซูโครสที่มีต่อการหาจุด λ_{zero} สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน โดยทำการศึกษาด้วยสารละลายมาตรฐานผสมแบบคู่ระหว่างเอซีซัลเฟม-เคกับกรดเบนโซอิก, เอซีซัลเฟม-เคกับกรดซอร์บิก, เอซีซัลเฟม-เคกับคาเฟอีน, กรดเบนโซอิกกับกรดซอร์บิก, กรดเบนโซอิกกับคาเฟอีน และกรดซอร์บิกกับคาเฟอีน ดังหัวข้อ 4 ได้ผลการทดลองดังภาพ 31-34 จากผลการทดลองพบว่ากรดซิตริก กลูโคส และซูโครสไม่มีค่าสัญญาณอนุพันธ์หรือไม่รบกวนต่อการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค ที่จุด λ_{zero} เท่ากับ 261, 222 และ 234 nm สำหรับ D_1 , D_4 และ D_3 สเปกตรัม ตามลำดับ (ดังภาพ 31) ไม่รบกวนต่อการวิเคราะห์หาปริมาณกรดเบนโซอิก ที่จุด λ_{zero} เท่ากับ 257, 225 และ 244 nm สำหรับ D_4 , D_4 และ D_1 สเปกตรัม ตามลำดับ (ดังภาพ 32) ไม่รบกวนต่อการวิเคราะห์หาปริมาณกรดซอร์บิก ที่จุด λ_{zero} เท่ากับ 280, 278 และ 259 nm สำหรับ D_1 , D_3 และ D_2 สเปกตรัม ตามลำดับ (ดังภาพ 33) ไม่รบกวนต่อการวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีน ที่จุด λ_{zero} เท่ากับ 293, 295 และ 277 nm สำหรับ D_4 , D_4 และ D_4 สเปกตรัม ตามลำดับ (ดังภาพ 34) ดังนั้นจึงใช้จุด λ_{zero} ต่างๆ ดังกล่าวสำหรับวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนได้ โดยการศึกษาด้วยสารละลายมาตรฐานแบบคู่ดังกล่าว ซึ่งสามารถสรุปสภาวะที่เลือกใช้ดังตาราง 16



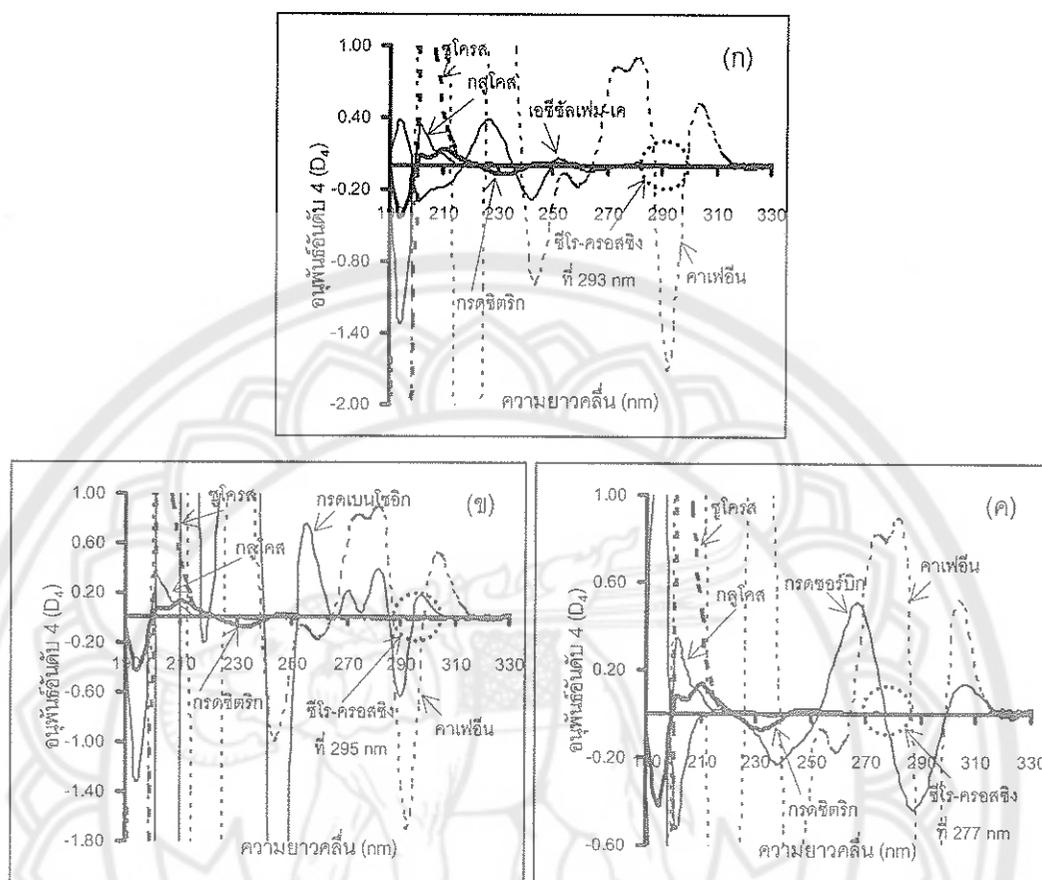
ภาพ 31 อิทธิพลของสเปกตรัมอนุพันธ์ของสารรบกวน คือกรดซิทริก กลูโคส และชูโครสที่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณของเอซีซัลเฟม-เค (10 mg/L) ที่จุด λ_{zero} เมื่อทำการศึกษาหาจุด λ_{zero} แบบคู่ร่วมกับกรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก คาเฟอีน ตามลำดับ ที่ (ก) D₁ สเปกตรัม (ข) D₄ สเปกตรัม และ (ค) D₃ สเปกตรัม



ภาพ 32 อิทธิพลของสเปกตรัมอนุพันธ์ของสารรบกวน คือกรดซอร์บิก กลูโคส และฟูโครลิด ที่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดเบนโซอิก (20 mg/L) ที่จุด λ_{zero} เมื่อทำการศึกษาค้นหาจุด λ_{zero} แบบคู่ร่วมกับเอซีซัลเฟม-เค กรดซอร์บิก คาเฟอีน ตามลำดับ ที่ (ก) D₄ สเปกตรัม (ข) D₄ สเปกตรัม และ (ค) D₁ สเปกตรัม



ภาพ 33 อิทธิพลของสเปกตรัมอนุพันธ์ของสารบนแกน คือกรดซอร์บิก กลูโคส และซูโครส ที่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดซอร์บิก (10 mg/L) ที่จุด λ_{zero} เมื่อทำการศึกษาค้นหาจุด λ_{zero} แบบคู่ร่วมกับเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิกคาเฟอีน ตามลำดับ ที่ (ก) D₁ สเปกตรัม (ข) D₃ สเปกตรัม และ (ค) D₂ สเปกตรัม



ภาพ 34 อิทธิพลของสเปกตรัมอนุพันธ์ของสารรบกวน คือกรดซिटริก กลูโคส และซูโครส ที่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณของคาเฟอีน (20 mg/L) ที่จุด λ_{zero} เมื่อทำการศึกษาหาจุด λ_{zero} แบบคู่ร่วมกับเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก ตามลำดับ ที่ (ก) D_4 สเปกตรัม (ข) D_4 สเปกตรัม และ (ค) D_4 สเปกตรัม

5. สรุปสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ด้วยวิธีซีโร-ครอสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์

จากผลการทดลองหาสถานะที่เหมาะสมของวิธีซีโร-ครอสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์เพื่อหาสเปกตรัมอนุพันธ์และ λ_{zero} ที่เหมาะสม ดังหัวข้อ 1 ถึง 4 สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน สามารถสรุปได้ ดังตาราง 16 ซึ่งเลือกใช้กรณีที่สารตัวอย่างมีองค์ประกอบเพียง 2 ชนิด (หรือแบบคู่) เพราะง่าย สะดวก และให้ค่าสัญญาณอนุพันธ์ที่ค่อนข้างสูง สำหรับกรณีที่สารตัวอย่างมีองค์ประกอบ 4 ชนิด (เอซีซัลเฟม-เค+กรดเบนโซอิก+กรดซอร์บิก+คาเฟอีน) ในสารละลายและ 3 ชนิด (เอซีซัลเฟม-เค+กรดเบนโซอิก+

กรดซอร์บิก, เอซีซัลเฟม-เค+กรดเบนโซอิก+คาเฟอีน, เอซีซัลเฟม-เค+กรดซอร์บิก+คาเฟอีน และกรดเบนโซอิก+กรดซอร์บิก+คาเฟอีน) นั้นไม่สามารถทำได้ เพราะไม่สามารถหาจุด λ_{zero} หรือ ถ้าหากทำได้จะให้ค่าสัญญาณอนุพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำและมีความยุ่งยากในการทำด้วย

ตาราง 16 สภาวะที่เลือกใช้สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ด้วยวิธีซีโร-ครอสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิง อนุพันธ์ (เมื่อใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.05 mol/L, pH=2.3)) เป็นตัวทำละลาย

พารามิเตอร์	สภาวะที่เลือกใช้
สำหรับเครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ :	
Scan wavelength	190-330 nm
Scan speed	480 nm/min
Smooth	2 nm
Mode	Absorbance
Number of point:	
D ₁	21
D ₂	21
D ₃	25
D ₄	25
สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของเอซีซัลเฟม-เค เมื่อศึกษาด้วย สารละลายแบบคู่ระหว่าง :	
เอซีซัลเฟม-เคกับกรดเบนโซอิก	D ₁ (ที่ λ_{zero} 261 nm)
เอซีซัลเฟม-เคกับกรดซอร์บิก	D ₄ (ที่ λ_{zero} 222 nm)
เอซีซัลเฟม-เคกับคาเฟอีน	D ₃ (ที่ λ_{zero} 234 nm)
สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดเบนโซอิก เมื่อศึกษาด้วย สารละลายแบบคู่ระหว่าง :	
กรดเบนโซอิกกับเอซีซัลเฟม-เค	D ₄ (ที่ λ_{zero} 257 nm)
กรดเบนโซอิกกับกรดซอร์บิก	D ₄ (ที่ λ_{zero} 225 nm)
กรดเบนโซอิกกับคาเฟอีน	D ₁ (ที่ λ_{zero} 244 nm)

ตาราง 16 (ต่อ)

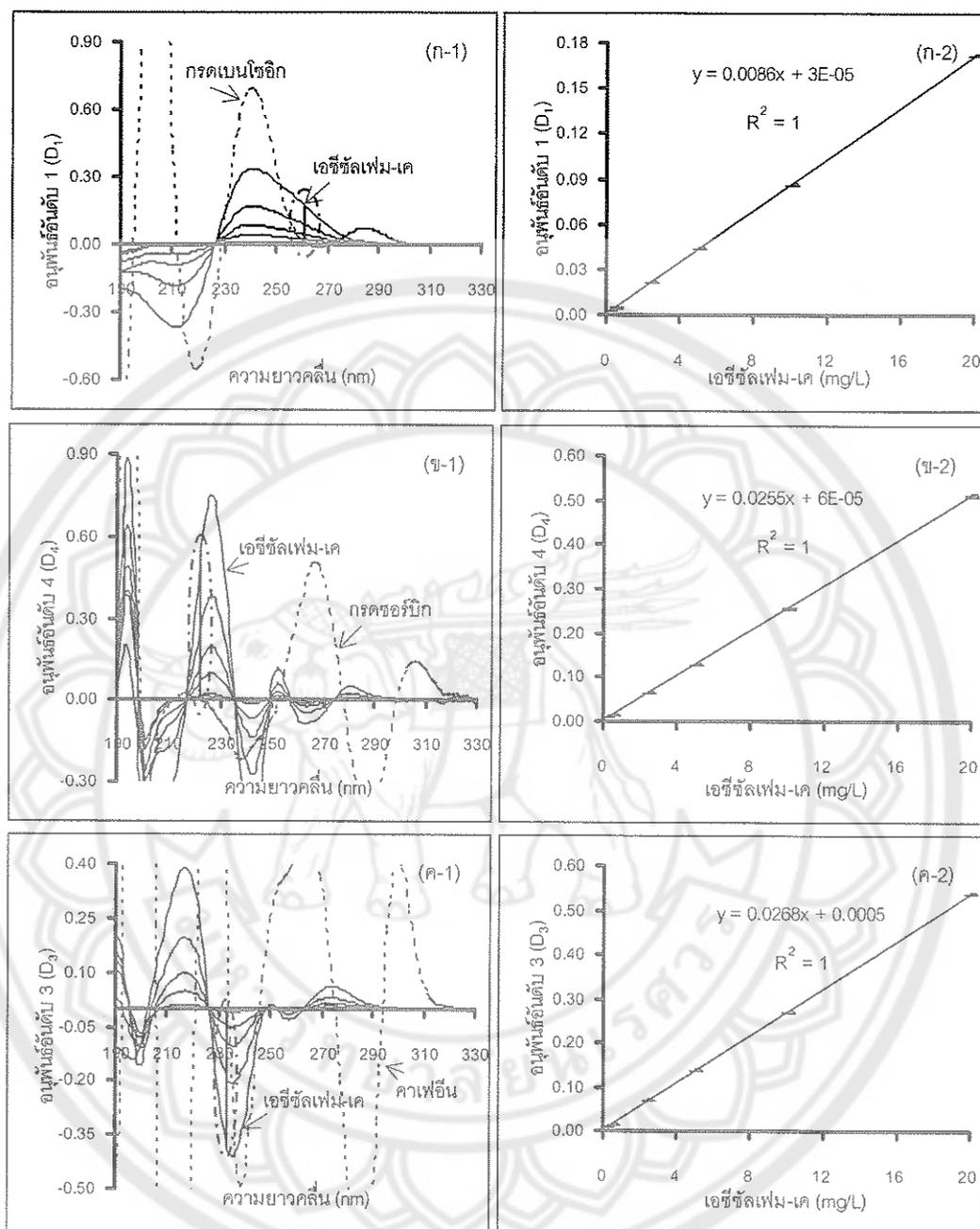
พารามิเตอร์	สภาวะที่เลือกใช้
สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของกรดซอร์บิก เมื่อศึกษาด้วย	
สารละลายแบบคู่ระหว่าง :	
กรดซอร์บิกกับเอซีซัลเฟม-เค	D ₁ (ที่ λ_{zero} 280 nm)
กรดซอร์บิกกับกรดเบนโซอิก	D ₃ (ที่ λ_{zero} 278 nm)
กรดซอร์บิกกับคาเฟอีน	D ₂ (ที่ λ_{zero} 259 nm)
สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของคาเฟอีน เมื่อศึกษาด้วย	
สารละลายแบบคู่ระหว่าง :	
คาเฟอีนกับเอซีซัลเฟม-เค	D ₄ (ที่ λ_{zero} 293 nm)
คาเฟอีนกับกรดเบนโซอิก	D ₄ (ที่ λ_{zero} 295 nm)
คาเฟอีนกับกรดซอร์บิก	D ₄ (ที่ λ_{zero} 277 nm)

6. กราฟมาตรฐาน ซีดจำกัดต่ำสุด และปริมาณต่ำสุดของการตรวจวัด ด้วยการใช่วิธีซีโร-ครอสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์

จากการทดลองดังหัวข้อ 5 และสภาวะที่เลือกใช้ของวิธีซีโร-ครอสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์ โดยเลือกทำการวิเคราะห์ด้วยสารละลายแบบคู่ (ดังตาราง 16) ได้ผลการทดลองดังตาราง 17-20 และกราฟมาตรฐานดังภาพ 35-38 ซึ่งพบว่าได้กราฟมาตรฐานเป็นเส้นตรงในช่วง 0.25-20, 0.5-40, 0.5-15 และ 0.5-40 mg/L สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ตามลำดับ และสามารถสรุปช่วงความเป็นเส้นตรงได้ดังตาราง 21 พร้อมทั้งค่า LOD และ LOQ (คำนวณดังภาคผนวก ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ)

ตาราง 17 ค่าสัญญาณอนุพันธ์อันดับหนึ่ง สี่ และสามของสารละลายมาตรฐานเอซีซัลเฟม-เค ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการวิเคราะห์ด้วยสารละลายแบบคู่เทียบกับกรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนตามลำดับ

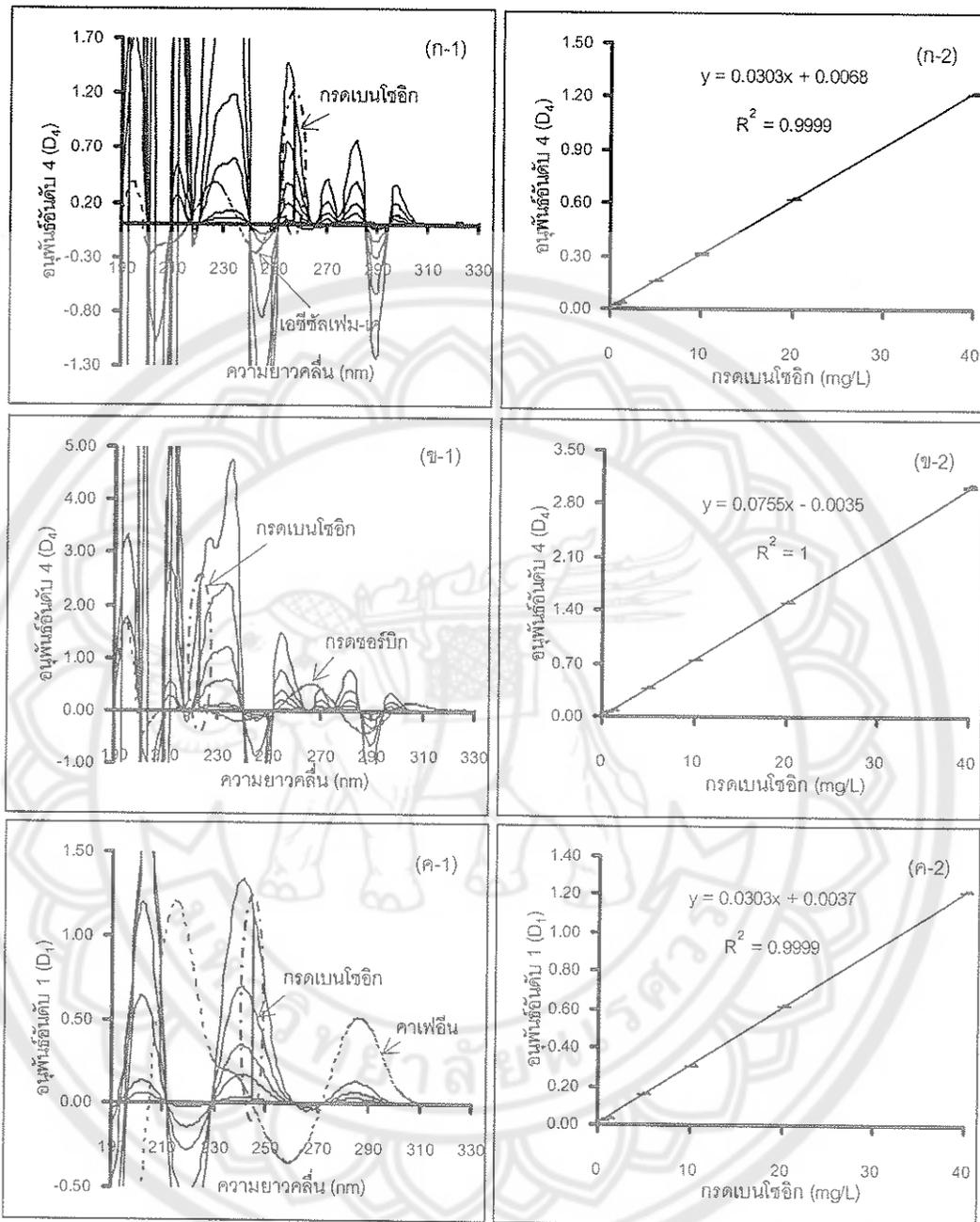
เอซีซัลเฟม-เค (mg/L) (เทียบกับ BEN)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (D ₁)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.25	0.0021	0.0023	0.0020	0.0021	0.0022	0.0021	0.0001	5.33
0.5	0.0043	0.0044	0.0041	0.0042	0.0044	0.0043	0.0001	3.05
2.5	0.0215	0.0212	0.0214	0.0215	0.0217	0.0215	0.0002	0.85
5.0	0.0430	0.0432	0.0430	0.0431	0.0429	0.0430	0.0001	0.26
10.0	0.0857	0.0854	0.0857	0.0859	0.0856	0.0857	0.0002	0.21
20.0	0.1714	0.1718	0.1715	0.1712	0.1713	0.1714	0.0002	0.13
เอซีซัลเฟม-เค (mg/L) (เทียบกับ SOR)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสี่ (D ₄)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.25	0.0076	0.0079	0.0075	0.0073	0.0075	0.0075	0.0002	2.90
0.5	0.0127	0.0125	0.0129	0.0124	0.0125	0.0126	0.0002	1.59
2.5	0.0623	0.0621	0.0625	0.0623	0.0625	0.0623	0.0002	0.27
5.0	0.1273	0.1272	0.1275	0.1277	0.1273	0.1274	0.0002	0.16
10.0	0.2552	0.2557	0.2551	0.2553	0.2556	0.2554	0.0003	0.10
20.0	0.5091	0.5093	0.5095	0.5092	0.5095	0.5093	0.0002	0.04
เอซีซัลเฟม-เค (mg/L) (เทียบกับ SOR)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสาม (D ₃)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.25	0.0068	0.0066	0.0069	0.0064	0.0066	0.0067	0.0002	2.93
0.5	0.0137	0.0134	0.0136	0.0139	0.0133	0.0136	0.0002	1.76
2.5	0.0671	0.0673	0.0675	0.0672	0.0671	0.0672	0.0002	0.25
5.0	0.1353	0.1355	0.1352	0.1355	0.1351	0.1353	0.0002	0.13
10.0	0.2688	0.2689	0.2685	0.2687	0.2688	0.2687	0.0002	0.06
20.0	0.5358	0.5357	0.5359	0.5354	0.5358	0.5357	0.0002	0.04



ภาพ 35 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเฮมิซัลเฟม-เค เข้มข้น 0.25-20 mg/L เมื่อ (ก-1), (ข-1) และ(ค-1) คือ D₁, D₄ และ D₃ สเปกตรัม ตามลำดับ และ (ก-2), (ข-2) และ (ค-2) คือ กราฟมาตรฐาน D₁, D₄ และ D₃ ตามลำดับ

ตาราง 18 ค่าสัญญาณอนุพันธ์อันดับสี่ สี่ และหนึ่ง ของสารละลายมาตรฐานกรดเบนโซอิก ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการวิเคราะห์ด้วยสารละลายแบบคู่เทียบกับ เอซีซีลเฟม-เค กรดซอร์บิก และคาเฟอีนตามลำดับ

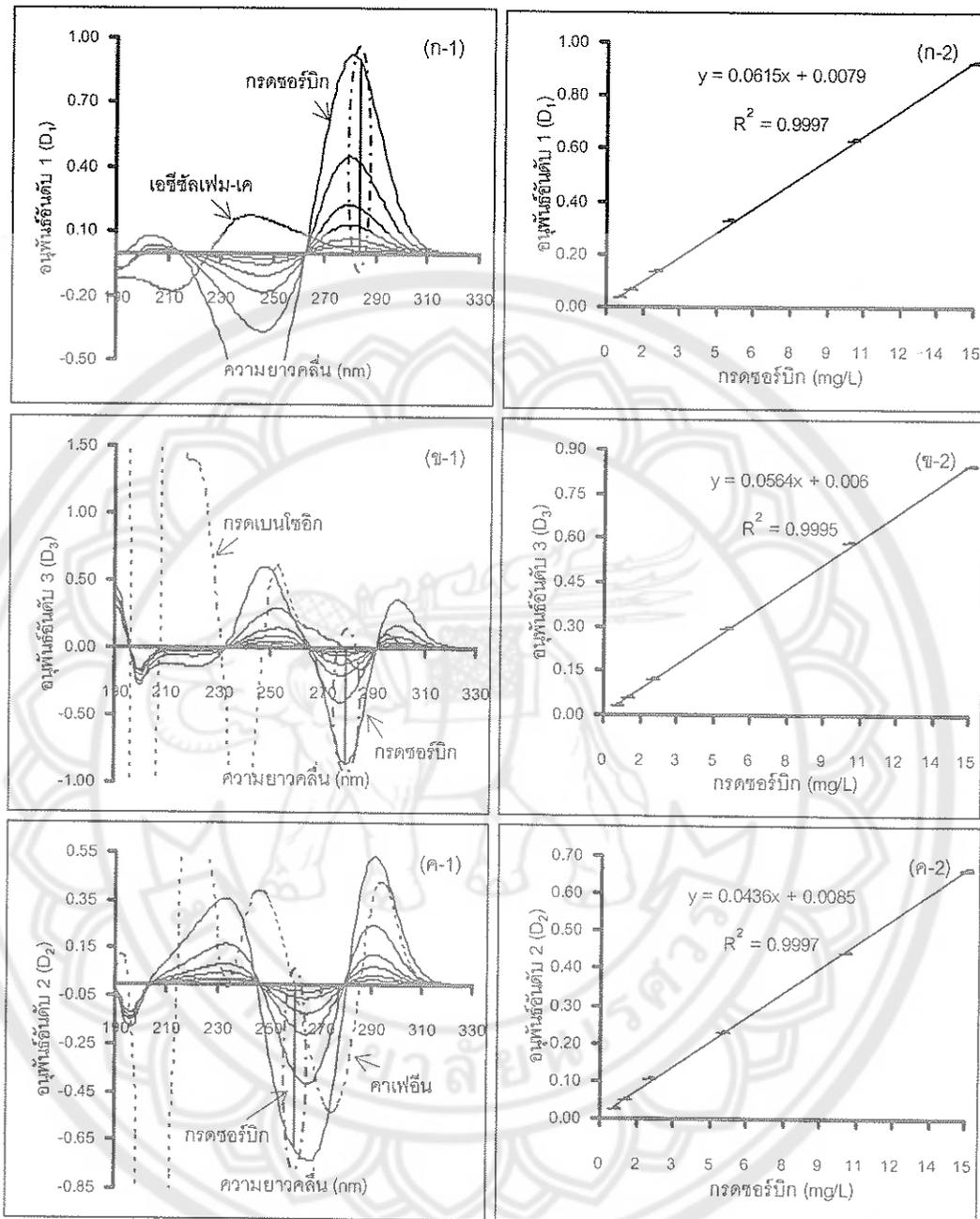
กรดเบนโซอิก (mg/L) (เทียบกับ ASK)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสี่ (D ₄)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0179	0.0183	0.0182	0.0183	0.0175	0.0180	0.0003	1.90
1.0	0.0341	0.0341	0.0343	0.0344	0.0341	0.0342	0.0001	0.41
5.0	0.1595	0.1594	0.1595	0.1593	0.1595	0.1594	0.0001	0.06
10.0	0.3114	0.3117	0.3115	0.3118	0.3113	0.3115	0.0002	0.07
20.0	0.6234	0.6236	0.6232	0.6237	0.6233	0.6234	0.0002	0.03
40.0	1.2149	1.2153	1.2154	1.2150	1.2151	1.2151	0.0002	0.02
กรดเบนโซอิก (mg/L) (เทียบกับ SOR)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสี่ (D ₄)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0377	0.0379	0.0375	0.0379	0.0375	0.0377	0.0002	0.53
1.0	0.0781	0.0781	0.0778	0.0783	0.0782	0.0781	0.0002	0.24
5.0	0.3725	0.3724	0.3722	0.3724	0.3719	0.3723	0.0002	0.06
10.0	0.7418	0.7418	0.7417	0.7423	0.7425	0.7420	0.0004	0.05
20.0	1.5047	1.5046	1.5051	1.5052	1.5051	1.5049	0.0003	0.02
40.0	3.0194	3.0191	3.0195	3.0194	3.0195	3.0194	0.0002	0.01
กรดเบนโซอิก (mg/L) (เทียบกับ CAF)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (D ₁)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0158	0.0153	0.0159	0.0161	0.0159	0.0158	0.0003	1.90
1.0	0.0321	0.0326	0.0324	0.0325	0.0321	0.0323	0.0002	0.71
5.0	0.1541	0.1543	0.1541	0.1542	0.1545	0.1542	0.0002	0.11
10.0	0.3071	0.3074	0.3071	0.3075	0.3076	0.3073	0.0002	0.07
20.0	0.6191	0.6189	0.6195	0.6196	0.6191	0.6192	0.0003	0.05
40.0	1.2104	1.2098	1.2104	1.2102	1.2097	1.2101	0.0003	0.03



ภาพ 36 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเบนโซอิก เข้มข้น 0.5-40 mg/L เมื่อ (ก-1), (ข-1) และ (ค-1) คือ D₄, D₄ และ D₁ สเปกตรัม ตามลำดับ และ (ก-2), (ข-2) และ (ค-2) คือ กราฟมาตรฐาน D₄, D₄ และ D₁ ตามลำดับ

ตาราง 19 ค่าสัญญาณอนุพันธ์อันดับหนึ่ง สามและสองของสารละลายมาตรฐานกรดซอร์บิก ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยการวิเคราะห์ด้วยสารละลายแบบคู่เทียบกับ เอซีซีลเฟม-เค กรดเบนโซอิก และคาเฟอีน ตามลำดับ

กรดซอร์บิก (mg/L) (เทียบกับ ASK)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (D ₁)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0333	0.0335	0.0334	0.0331	0.0332	0.0333	0.0002	0.47
1.0	0.0659	0.0656	0.0657	0.0662	0.0663	0.0659	0.0003	0.46
2.0	0.1319	0.1323	0.1321	0.1318	0.1319	0.1320	0.0002	0.15
5.0	0.3238	0.3240	0.3237	0.3238	0.3241	0.3239	0.0002	0.05
10.0	0.6280	0.6283	0.6281	0.6278	0.6277	0.6280	0.0002	0.04
15.0	0.9241	0.9241	0.9240	0.9244	0.9243	0.9242	0.0002	0.02
กรดซอร์บิก (mg/L) (เทียบกับ BEN)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสาม (D ₃)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0290	0.0288	0.0286	0.0289	0.0293	0.0289	0.0003	0.90
1.0	0.0589	0.0593	0.0591	0.0587	0.0591	0.0590	0.0002	0.39
2.0	0.1188	0.1189	0.1187	0.1186	0.1189	0.1188	0.0001	0.11
5.0	0.2943	0.2941	0.2944	0.2946	0.2942	0.2943	0.0002	0.07
10.0	0.5812	0.5806	0.5809	0.5811	0.5809	0.5809	0.0002	0.04
15.0	0.8423	0.8422	0.8424	0.8421	0.8424	0.8423	0.0001	0.02
กรดซอร์บิก (mg/L) (เทียบกับ CAF)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสอง (D ₂)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0251	0.0247	0.0249	0.0252	0.0251	0.0250	0.0002	0.80
1.0	0.0511	0.0513	0.0511	0.0508	0.0509	0.0510	0.0002	0.38
2.0	0.1029	0.1030	0.1031	0.1030	0.1028	0.1030	0.0001	0.11
5.0	0.2276	0.2271	0.2273	0.2276	0.2279	0.2275	0.0003	0.14
10.0	0.4435	0.4434	0.4437	0.4433	0.4438	0.4435	0.0002	0.05
15.0	0.6628	0.6635	0.6631	0.6631	0.6627	0.6630	0.0003	0.05



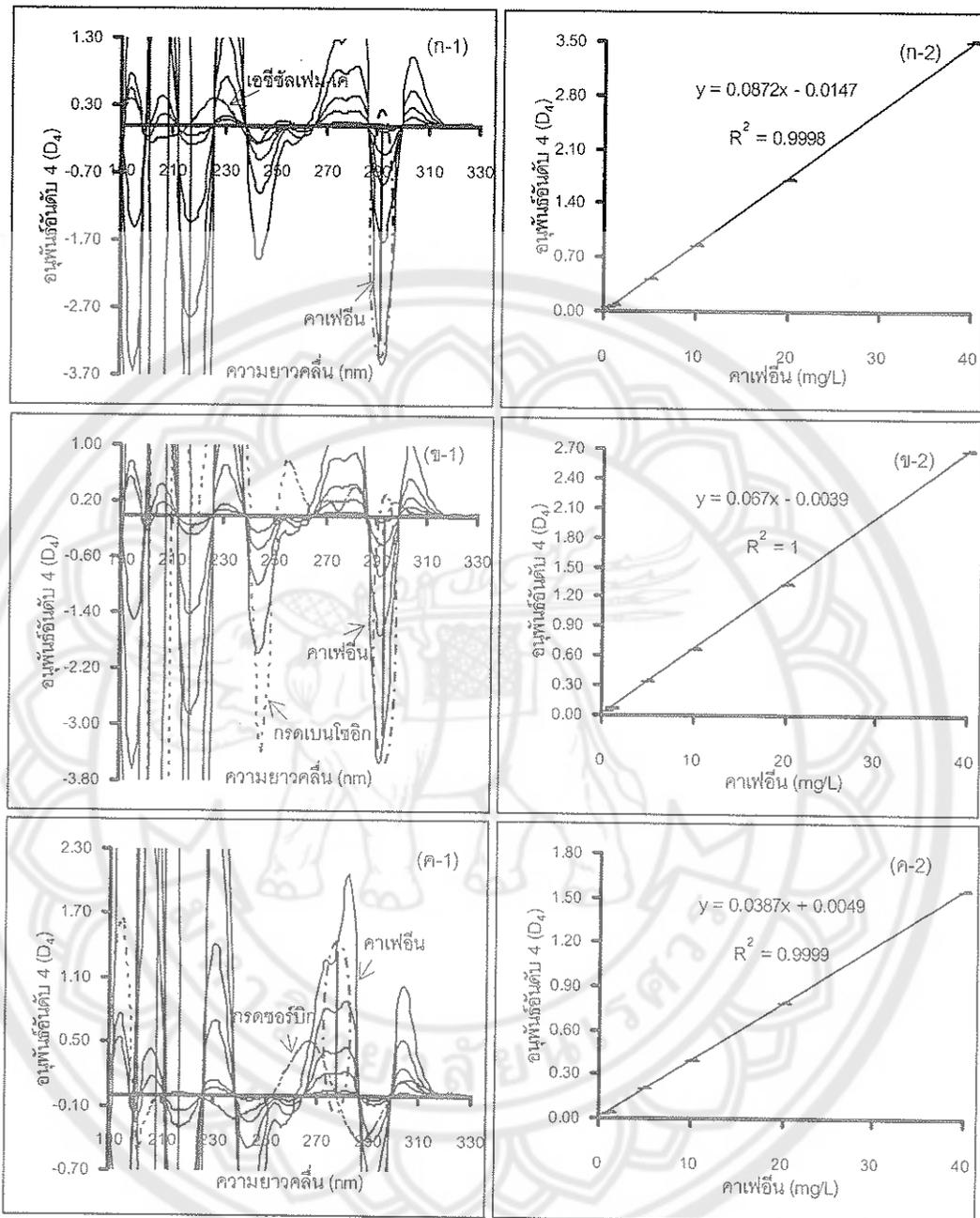
ภาพ 37 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดซอร์บิก เข้มข้น 0.5-15 mg/L เมื่อ (ก-1), (ข-1) และ(ค-1) คือ D_1 , D_3 และ D_2 สเปกตรัม ตามลำดับ และ (ก-2), (ข-2) และ (ค-2) คือ กราฟมาตรฐาน D_1 , D_3 และ D_2 ตามลำดับ

ตาราง 20 ค่าสัญญาณอนุพันธ์อันดับสี่ S_4 และ S_4' ของสารละลายมาตรฐานคาเฟอีนที่
ความเข้มข้นต่างๆ โดยการวิเคราะห์ด้วยสารละลายแบบคู่เทียบกับ
เอซีซีลเฟม-เค กรดเบนโซอิก และกรดซอร์บิกตามลำดับ

คาเฟอีน (mg/L) (เทียบกับ ASK)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสี่ (D_4)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0406	0.0409	0.0410	0.0408	0.0410	0.0409	0.0002	0.41
1.0	0.0836	0.0831	0.0834	0.0837	0.0835	0.0835	0.0002	0.28
5.0	0.4229	0.4227	0.4234	0.4231	0.4230	0.4230	0.0003	0.06
10.0	0.8488	0.8485	0.8482	0.8481	0.8484	0.8483	0.0002	0.02
20.0	1.6933	1.6935	1.6935	1.6934	1.6932	1.6934	0.0001	0.01
40.0	3.4909	3.4906	3.4911	3.4909	3.4910	3.4909	0.0002	0.01

คาเฟอีน (mg/L) (เทียบกับ BEN)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสี่ (D_4)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0320	0.0319	0.0322	0.0323	0.0325	0.0322	0.0002	0.74
1.0	0.0661	0.0654	0.0659	0.0656	0.0660	0.0658	0.0003	0.44
5.0	0.3330	0.3332	0.3330	0.3329	0.3331	0.3330	0.0001	0.03
10.0	0.6642	0.6643	0.6645	0.6641	0.6645	0.6643	0.0002	0.03
20.0	1.3250	1.3249	1.3251	1.3244	1.3245	1.3248	0.0003	0.02
40.0	2.6815	2.6811	2.6810	2.6813	2.6815	2.6813	0.0002	0.01

คาเฟอีน (mg/L) (เทียบกับ SOR)	สัญญาณอนุพันธ์อันดับสี่ (D_4)							
	1	2	3	4	5	\bar{X}	SD	%RSD
0.5	0.0201	0.0203	0.0199	0.0197	0.0203	0.0201	0.0003	1.30
1.0	0.0408	0.0405	0.0408	0.0411	0.0410	0.0408	0.0002	0.56
5.0	0.1993	0.1994	0.1993	0.1995	0.1991	0.1993	0.0001	0.07
10.0	0.3964	0.3962	0.3965	0.3961	0.3964	0.3963	0.0002	0.04
20.0	0.7859	0.7859	0.7860	0.7855	0.7857	0.7858	0.0002	0.03
40.0	1.5500	1.5500	1.5496	1.5498	1.5502	1.5499	0.0002	0.01



ภาพ 38 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานคาเฟอีน เข้มข้น 0.5-40 mg/L
 เมื่อ (ก-1), (ข-1) และ(ค-1) คือ D₄, D₄ และ D₄ สเปกตรัม ตามลำดับ
 และ (ก-2), (ข-2) และ (ค-2) คือ กราฟมาตรฐาน D₄, D₄ และ D₄ ตามลำดับ

ตาราง 21 ช่วงความเป็นเส้นตรง ค่าขีดจำกัดต่ำสุด ปริมาณต่ำสุดของการตรวจวัดสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ด้วยวิธีซีโร-โครสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์ เมื่อทำการวิเคราะห์แบบคู่

การวิเคราะห์หาปริมาณ	สารแบบคู่ระหว่าง	อนุพันธ์อันดับที่	λ (nm)	ช่วงความเป็นเส้นตรง (mg/L)	สมการเส้นตรง	r^2	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)
ASK	ASK-BEN	D ₁	261	0.25-20	$y = 0.0086x + 3E-05$	1.0000	0.12	0.41
	ASK-SOR	D ₄	222	0.25-20	$y = 0.0255x + 6E-05$	1.0000	0.13	0.42
	ASK-CAF	D ₃	234	0.25-20	$y = 0.0268x + 0.0005$	1.0000	0.08	0.26
BEN	BEN-ASK	D ₄	257	0.5-40	$y = 0.0303x + 0.0068$	0.9999	0.30	1.00
	BEN-SOR	D ₄	225	0.5-40	$y = 0.0755x - 0.0035$	1.0000	0.25	0.82
	BEN-CAF	D ₁	244	0.5-40	$y = 0.0303x + 0.0037$	0.9999	0.36	1.20
SOR	SOR-ASK	D ₁	280	0.5-15	$y = 0.0615x + 0.0079$	0.9997	0.31	1.03
	SOR-BEN	D ₃	278	0.5-15	$y = 0.0564x + 0.0060$	0.9995	0.40	1.32
	SOR-CAF	D ₂	259	0.5-15	$y = 0.0436x + 0.0085$	0.9997	0.32	1.06
CAF	CAF-ASK	D ₄	293	0.5-40	$y = 0.0872x - 0.0147$	0.9998	0.42	1.38
	CAF-BEN	D ₄	295	0.5-40	$y = 0.067x - 0.0039$	1.0000	0.30	0.99
	CAF-SOR	D ₄	277	0.5-40	$y = 0.0387x + 0.0049$	0.9999	0.39	1.30

7. การวิเคราะห์ปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ในตัวอย่างสังเคราะห์และตัวอย่างเครื่องดื่มด้วยวิธีซีโร-โครสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์

จากการทดลองโดยใช้สภาวะการทดลอง ดังตาราง 16 และตาราง 21 เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ด้วยวิธีซีโร-โครสซิง สเปกโทรโฟโตเมตรีเชิงอนุพันธ์ (DZS) ในตัวอย่างสังเคราะห์ที่เตรียมได้จากสารละลายมาตรฐานแบบคู่ (จำนวน 6 คู่ทั้งหมด 24 ตัวอย่าง) ตัวอย่างสังเคราะห์ที่ทำการเติมสารละลายมาตรฐานทั้ง 4 ชนิดทีละตัว ลงในเครื่องดื่ม (จำนวน 20 ตัวอย่าง) และในตัวอย่างเครื่องดื่ม (จำนวน 19 ตัวอย่าง) ได้ผลการทดลองดังตาราง 22, 23 และ 24 ตามลำดับ จากผลการทดลองในตัวอย่างสังเคราะห์ที่เตรียมจากสารละลายผสมแบบคู่ มีค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง $93 \pm 2 - 111 \pm 1$, $94 \pm 2 - 110 \pm 1$, $97 \pm 1 - 109 \pm 1$ และ $94 \pm 1 - 104 \pm 1$ สำหรับเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีนตามลำดับ (ดังตาราง 22) ส่วนในตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานทั้ง 4 ชนิดลงในตัวอย่างเครื่องดื่มพบว่า มีค่าร้อยละการกลับคืนของเอซีซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน อยู่ในช่วง $92 \pm 2 - 104 \pm 2$, $99 \pm 3 - 107 \pm 1$, $103 \pm 5 - 106 \pm 4$, และ $98 \pm 2 -$

100±4 ตามลำดับ (ดังตาราง 23) สำหรับในตัวอย่างเครื่องดื่มจำนวน 19 ตัวอย่าง ตรวจพบเอซีซัลเฟม-เค ในเครื่องดื่มชนิดอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 3 ตัวอย่าง คือ A-1, A-2 และ A-5 ตรวจพบกรดเบนโซอิกในตัวอย่างเครื่องดื่มบำรุงกำลังจำนวนทั้ง 7 ตัวอย่าง คือ B-1 ถึง B-7 ส่วนกรดซอร์บิกตรวจพบเพียง 1 ตัวอย่าง คือ A-5 สำหรับคาเฟอีนตรวจพบในเครื่องดื่มชนิดอัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ A-1 ถึง A-4 และเครื่องดื่มบำรุงกำลังจำนวน 7 ตัวอย่าง คือ B-1 ถึง B-7 ซึ่งปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างเครื่องดื่มบำรุงกำลังทั้ง 7 ตัวอย่างนี้มีค่าอยู่ในช่วง 48.5±0.4 - 50.8±0.2 mg เมื่อเปรียบเทียบกับฉลากที่ระบุไว้ข้างขวดมีปริมาณคาเฟอีน 50 mg ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนด (เกณฑ์มาตรฐานที่กฎหมายกำหนดให้มีคาเฟอีนในเครื่องดื่มได้ไม่เกิน 50 mg ต่อหน่วยบริโภค)

และเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี DZS กับวิธี HPLC ได้ผลการวิเคราะห์ดังตาราง 24 เมื่อทำการทดสอบแบบที (t-test) สำหรับปริมาณกรดเบนโซอิกและคาเฟอีนที่ตรวจพบในตัวอย่างเครื่องดื่ม พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างวิธีวิเคราะห์ทั้งสองที่ลิมิตความเชื่อมั่นร้อยละ 98 (ดูรายละเอียดตัวอย่างการคำนวณดังภาคผนวก ข.3) แต่ที่ลิมิตความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีนด้วยวิธีทั้ง 2 จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตาราง 22 ปริมาณที่ตรวจพบและร้อยละการกลับคืนของเอซีสลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ในตัวอย่างสิ่งเคราะห์
 ที่เตรียมจากสารละลายมาตรฐานผสมแบบคู่ โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี DZS และ HPLC

สารผสม	ปริมาณที่เติม (mg/L)				ปริมาณที่พบ (mg/L)				ร้อยละการกลับคืน***				
	1		2		DZS		HPLC		DZS		HPLC		
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
ASK	BEN	2.5	5.0	2.5±0.1*	5.3±0.1	-	-	-	-	100±1	105±1	-	-
		5.0	10.0	5.0±0.1	10.7±0.1	-	-	-	-	99±1	107±1	-	-
	10.0	20.0	10.0±0.1	21.7±0.1	8.0±0.1*	20.2±0.1	-	-	99±1	108±1	80±1*	101±1	
	15.0	30.0	14.8±0.1	32.4±0.1	-	-	-	-	99±1	108±1	-	-	
ASK	SOR	2.5	2.0	2.7±0.1	2.1±0.1	-	-	-	-	107±1	104±1	-	-
		5.0	5.0	5.3±0.1	5.2±0.1	-	-	-	-	107±1	106±1	-	-
	10.0	10.0	10.8±0.1	10.5±0.1	8.0±0.1	9.8±0.1	-	-	108±1	105±1	81±1	98±1	
	15.0	12.0	16.7±0.1	12.7±0.1	-	-	-	-	111±1	106±1	-	-	
ASK	CAF	2.5	5.0	2.3±0.1	4.9±0.1	-	-	-	-	93±2	98±1	-	-
		5.0	10.0	4.8±0.1	9.7±0.1	-	-	-	-	96±1	97±1	-	-
	10.0	20.0	9.5±0.1	19.3±0.1	8.1±0.1	19.0±0.1	-	-	95±1	97±1	80±1	95±1	
	15.0	30.0	14.3±0.1	28.9±0.1	-	-	-	-	96±1	96±1	-	-	
BEN	CAF	5.0	5.0	5.4±0.1	4.8±0.1	-	-	-	-	108±1	96±1	-	-
		10.0	10.0	10.9±0.1	9.5±0.1	9.5±0.1	8.4±0.1	-	-	109±1	95±1	95±1	84±1
	20.0	20.0	22.0±0.1	19.1±0.1	20.3±0.2	19.1±0.1	-	-	110±1	96±1	101±1	95±1	
	30.0	30.0	32.3±0.1	28.3±0.1	-	-	-	-	108±1	94±1	-	-	

ตาราง 22 (ต่อ)

สารผสม	ปริมาณที่เติม (mg/L)		ปริมาณที่พบ (mg/L)				ร้อยละการกลับคืน***			
	1	2	DZS		HPLC		DZS		HPLC	
			1	2	1	2	1	2	1	2
BEN SOR	5.0	2.0	4.7±0.1*	2.1±0.1	-**	-	95±1*	103±1	-	-
	10.0	5.0	9.4±0.1	5.2±0.1	9.6±0.1*	5.0±0.1	94±1	97±1	96±1	99±1
	20.0	10.0	19.4±0.1	10.4±0.1	20.2±0.1	10.0±0.1	104±1	104±1	101±1	100±1
	30.0	12.0	30.1±0.1	12.1±0.2	-	-	100±1	101±1	-	-
CAF SOR	5.0	2.0	4.8±0.1	2.1±0.1	-	-	96±1	106±1	-	-
	10.0	5.0	9.7±0.1	5.4±0.1	8.4±0.1	4.9±0.1	97±1	109±1	84±1	99±1
	20.0	10.0	20.8±0.3	10.2±0.1	19.0±0.1	9.8±0.1	104±1	102±1	95±1	98±1
	30.0	12.0	30.3±0.9	11.4±0.1	-	-	101±3	95±0.1	-	-

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation หรือ $\bar{x} \pm SD$) เมื่อทำการตรวจวัด 5 ซ้ำ (n = 5) ของวิธี DZS และ 3 ซ้ำ (n = 3) ของวิธี HPLC

** - คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC

*** ร้อยละการกลับคืน = (ความเข้มข้นที่ตรวจพบจากผลการทดลอง ÷ ความเข้มข้นที่เติม) × 100

ตาราง 23 ปริมาณที่ตรวจพบและร้อยละการกลายพันธุ์ของเชื้อซัลเฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเพนิน ในตัวอย่างสังเคราะห์ ที่ทำการเติมสารละลายมาตรฐานทั้ง 4 ชนิด ที่ลดลงในตัวอย่างเครื่องดื่ม โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี DZS

ตัวอย่าง	ปริมาณที่เติม (mg/L)		ASK				BEN				SOR				CAF				
	mg/L	%RSD	%Rec**	mg/L	%RSD	%Rec	mg/L	%RSD	%Rec	mg/L	%RSD	%Rec	mg/L	%RSD	%Rec	mg/L	%RSD	%Rec	
A-3	-	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	3.5±0.1	2.3	-	
	2.0	4.3	102±4*	2.0±0.1	4.5	100±4	2.1±0.1	4.4	103±5	5.5±0.1	1.1	99±1	5.5±0.1	1.1	99±1	5.5±0.1	1.1	99±1	
	5.0	1.9	104±2	5.2±0.1	2.0	104±2	5.2±0.1	1.9	104±2	8.5±0.1	0.7	99±1	8.5±0.1	0.7	99±1	8.5±0.1	0.7	99±1	
	8.0	-	-	-	-	-	8.4±0.1	1.2	105±1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10.0	1.0	102±1	10.7±0.1	0.9	107±1	-	-	-	13.4±0.1	0.8	99±1	13.4±0.1	0.8	99±1	13.4±0.1	0.8	99±1	
A-4	-	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	3.9±0.1	2.3	-	
	2.0	4.7	99±5	2.0±0.1	3.4	102±3	2.1±0.1	2.9	105±3	5.9±0.1	1.5	99±5	5.9±0.1	1.5	99±5	5.9±0.1	1.5	99±5	
	5.0	2.1	92±2	5.1±0.1	1.6	102±2	5.3±0.1	1.5	105±1	8.4±0.1	1.1	99±2	8.4±0.1	1.1	99±2	8.4±0.1	1.1	99±2	
	8.0	-	-	-	-	-	8.5±0.1	1.2	106±1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	10.0	1.1	93±1	10.4±0.1	0.7	104±1	-	-	-	13.9±0.1	0.7	99±1	13.9±0.1	0.7	99±1	13.9±0.1	0.7	99±1	
B-2	-	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	<LOD	-	-	6.6±0.1	1.5	-	
	2.0	4.1	99±4	5.8±0.1	3.1	100±3	2.1±0.1	3.1	105±3	8.3±0.1	1.1	100±4	8.3±0.1	1.1	100±4	8.3±0.1	1.1	100±4	
	5.0	2.0	99±5	8.8±0.1	1.0	100±2	5.3±0.1	1.3	105±1	11.3±0.1	0.9	99±2	11.3±0.1	0.9	99±2	11.3±0.1	0.9	99±2	
	8.0	-	-	-	-	-	8.5±0.1	1.0	105±1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	10.0	1.1	95±1	14.2±0.1	0.5	104±1	-	-	-	16.3±0.1	0.6	99±1	16.3±0.1	0.6	99±1	16.3±0.1	0.6	99±1	

ตาราง 23 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ปริมาณที่ตรวจพบ*														
	ปริมาณที่เติม (mg/L)			ASK			BEN			SOR			CAF		
	mg/L	%RSD	%Rec**	mg/L	%RSD	%Rec	mg/L	%RSD	%Rec	mg/L	%RSD	%Rec	mg/L	%RSD	%Rec
-	<LOD	-	-	4.0±0.1	2.5	-	<LOD	-	-	6.4±0.1	1.6	-	-	-	-
2.0	2.0±0.1	5.0	99±5	6.0±0.1	1.7	99±3	2.1±0.1	3.3	106±4	8.4±0.1	1.1	99±5	-	-	-
B-5	5.0	4.9±0.1	2.0	98±2	1.1	100±2	5.3±0.1	1.5	105±2	11.4±0.1	0.9	98±2	-	-	-
8.0	-	-	-	-	-	-	8.5±0.1	1.1	106±1	-	-	-	-	-	-
10.0	9.9±0.1	1.0	99±1	14.0±0.1	0.6	100±1	-	-	-	16.3±0.1	0.6	99±1	-	-	-

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation หรือ $\bar{x} \pm SD$) เมื่อทำการตรวจวัด 5 ซ้ำ (n = 5)

** ร้อยละการกลับคืน = (ความเข้มข้นของสารที่เติมที่ตรวจพบจากการทดลอง ÷ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารที่เติม) x 100

ตาราง 24 ปริมาณที่ตรวจพบของเฮลซ์เฟม-เค กรดเบนโซอิก กรดซอร์บิก และคาเฟอีน ในตัวอย่างเครื่องดื่มชนิดต่างๆ โดยทำการวิเคราะห์ด้วย DZS และ HPLC

ตัวอย่าง	ปริมาณที่พบ* (mg/L)											
	ASK			BEN			SOR			CAF		
	DZS (n = 5)	HPLC (n = 3)	DZS (n = 5)	HPLC (n = 3)	DZS (n = 5)	HPLC (n = 3)	DZS (n = 5)	HPLC (n = 3)	DZS (n = 5)	HPLC (n = 3)	DZS (n = 5)	HPLC (n = 3)
A-1	511±0.7	161±0.5	343±0.1	204±0.2	ND	ND	109±0.9	ND	94±0.5	ND	ND	ND
A-2	216±1.5	54±0.2	261±0.3	183±0.1	ND	ND	91±1.2	ND	116±0.1	ND	ND	ND
A-3	ND**	ND	ND	ND	ND	ND	96±0.1	ND	94±0.7	ND	ND	ND
A-4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	103±0.1	ND	108±0.3	ND	ND	ND
A-5	175±0.3	172±0.2	ND	<LOD	118±0.2	124±0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-6	ND	ND	195±0.5	200±0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-7	ND	ND	198±0.4	195±0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-8	ND	ND	200±1.7	199±0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-9	ND	ND	207±0.1	206±0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-10	ND	ND	202±1.5	199±0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-11	ND	ND	200±1.9	201±0.2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
A-12	ND	ND	198±0.5	198±0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B-1	ND	ND	190±0.4	209±0.1	ND	ND	457±0.1	ND	479±1.8	ND	ND	ND
B-2	ND	ND	190±0.3	201±3.2	ND	ND	317±0.2	ND	322±2.2	ND	ND	ND
B-3	ND	ND	202±0.7	205±0.5	ND	ND	318±0.1	ND	323±0.4	ND	ND	ND
B-4	ND	ND	206±0.6	209±4.5	ND	ND	462±0.1	ND	480±6.1	ND	ND	ND
B-5	ND	ND	198±0.4	207±3.1	ND	ND	322±0.1	ND	329±2.1	ND	ND	ND
B-6	ND	ND	192±0.1	201±3.7	ND	ND	332±1.2	ND	329±2.6	ND	ND	ND
B-7	ND	ND	190±0.6	204±2.6	ND	ND	304±0.1	ND	306±4.0	ND	ND	ND

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean ± standard deviation หรือ $\bar{x} \pm SD$)

** ND คือ ไม่สามารถตรวจวัดได้ด้วยสถานะการทดลองที่ใช้ (Not detected)