

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การเตรียมสารละลาย

ตารางที่ 1ก ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Cr(III) กับ Cr(VI) ในการเตรียมสารละลาย
มาตรฐานโครเมียมรวม

โครเมียมรวม (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	Cr(III) (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	Cr(VI) (มิลลิกรัมต่อ ลิตร)	ปริมาตรที่ไปได้จาก stock solution (ไมโครลิตร)	
			Cr(III) 25	Cr(VI) 25
			มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0	0	0	0
0.02	0.010	0.010	8	8
0.05	0.025	0.025	20	20
0.10	0.050	0.050	40	40
0.20	0.100	0.100	80	80
0.30	0.150	0.150	120	120
0.40	0.200	0.200	160	160
0.50	0.250	0.250	200	200

ตารางที่ 2ก ชนิดของไอออนบวกและน้ำหนักรวบรวมที่ชั่งเพื่อให้เป็นสารละลาย 10000 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

ไอออน	สารที่ใช้เตรียม	น้ำหนักที่ชั่ง (กรัม)
Na ⁺	Na ₂ SO ₄	0.7720
K	KNO ₃	0.6465
Co ²⁺	CoCl ₂ ·6H ₂ O	1.0094
Ag ⁺	AgNO ₃	0.3937
Mg ²⁺	MgCl ₂ ·6H ₂ O	2.0908
Ca ²⁺	CaCO ₃	0.6243
Cu ²⁺	Cu(NO ₃) ₂ ·3H ₂ O	0.9504
Ni ²⁺	NiSO ₄ ·7H ₂ O	1.1195
Zn ²⁺	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	1.0990
Cd ²⁺	Cd(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.6860
Fe ³⁺	Fe(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	1.8084
Fe ²⁺	FeCl ₂ ·4H ₂ O	0.8899
Hg ²⁺	HgSO ₄	0.3699

ตารางที่ 3ก ชนิดของไอออนลบและน้ำหนักที่ชั่งเพื่อให้เป็นสารละลาย 10000 ไมโครกรัมต่อลิตร ปริมาตร 25 มิลลิลิตร

ไอออน	สารที่ใช้เตรียม	น้ำหนักที่ชั่ง (กรัม)
HCO_3^-	NaHCO_3	0.3443
CH_3COO^-	$\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0.5766
CO_3^{2-}	Na_2CO_3	0.4416
Br^-	NaBr	0.3219
HPO_4^{2-}	Na_2HPO_4	0.3699
IO_3^-	KIO_3	0.3059
$\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	0.6142
MnO_4^{2-}	KMnO_4	0.3322
Cl^-	KCl	0.5258
I^-	KI	0.3270

ภาคผนวก ข

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดสารเชิงซ้อนของ Cr(VI) กับ DPC

ตารางที่ 1x ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่พีเอชต่าง ๆ

พีเอช	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD
1.53	0.2316	0.2441	0.2434	0.2397±0.0070
2.06	0.2517	0.2382	0.2352	0.2417±0.0088
2.50	0.1734	0.1714	0.1677	0.1708±0.0029
3.07	0.0773	0.0792	0.0773	0.0779±0.0011
3.53	0.0237	0.0223	0.0261	0.0240±0.0019
4.06	0.0110	0.0114	0.0116	0.0113±0.0003
4.50	0.0013	0.0007	0.0012	0.0011±0.0003
4.99	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001±0.0002
5.50	0.0001	0.0000	0.0002	0.0001±0.0001

ตารางที่ 2x ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ฟอสเฟต บัฟเฟอร์ (โมลต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD
0.01	0.2003	0.1970	0.1992	0.1988±0.0017
0.05	0.2471	0.2413	0.2437	0.2440±0.0029
0.1	0.2508	0.2564	0.2534	0.2535±0.0028
0.15	0.2461	0.2452	0.2461	0.2458±0.0005

ตารางที่ 3ข ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ของ DPC ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

DPC (%w/v)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	Cr(VI) 0	Cr(VI) 0.1	Cr(VI) 1.0	Cr(VI) 2.0
	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร
5.0×10^{-4}	0.0010±0.0002	0.0212±0.0011	0.0864±0.0042	0.1560±0.0054
1.0×10^{-3}	0.0019±0.0003	0.0299±0.0019	0.1907±0.0002	0.3292±0.0016
2.5×10^{-3}	0.0090±0.0004	0.0345±0.0031	0.2595±0.0003	0.4922±0.0018
5.0×10^{-3}	0.0149±0.0054	0.0351±0.0024	0.2574±0.0008	0.4783±0.0006
1.0×10^{-2}	0.0124±0.0002	0.0381±0.0034	0.2588±0.0009	0.4713±0.0007

ตารางที่ 4ข ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เวลาต่าง ๆ

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD
1	0.0367	0.0493	0.0556	0.0556±0.0096
5	0.1404	0.1586	0.1554	0.1554±0.0097
10	0.1888	0.2087	0.2073	0.2073±0.0111
15	0.2174	0.2365	0.2316	0.2316±0.0099
20	0.2322	0.2506	0.2474	0.2474±0.0098
25	0.2407	0.2572	0.2501	0.2501±0.0083
30	0.2410	0.2714	0.2623	0.2623±0.0156
35	0.2529	0.2704	0.2637	0.2637±0.0088
40	0.2476	0.2672	0.2593	0.2593±0.0099
45	0.2441	0.2626	0.2544	0.2544±0.0093
50	0.2441	0.2626	0.2544	0.2544±0.0093
55	0.2445	0.2626	0.2559	0.2559±0.0092
60	0.2458	0.2644	0.2558	0.2558±0.0093
75	0.2482	0.2663	0.2584	0.2584±0.0091
90	0.2474	0.2657	0.2582	0.2582±0.0092

ภาคผนวก ค

การสกัดด้วยเทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายของเหลวแบบแพร่กระจาย
(Dispersive Liquid-Liquid Microextraction, DLLME)

ตารางที่ 1ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อสกัดด้วย DBSA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

DBSA (%w/v)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	factor
0.01	ไม่สามารถสกัดได้ ไม่เหลือชั้นไดคลอโรมีเทน				
0.05	0.7738	0.7776	0.7622	0.7712±0.0080	47.22±0.58
0.10	0.4918	0.4940	0.4640	0.4833±0.0167	26.35±1.21
0.15	0.5137	0.4773	0.4924	0.4945±0.0183	27.16±1.33
0.20	0.5264	0.5763	0.5731	0.5586±0.0279	31.81±2.02

ตารางที่ 2ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่อัตราเร็วในการเหวี่ยงต่าง ๆ

อัตราความเร็ว (รอบต่อนาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	factor
1000	0.7098	0.6849	0.6963	0.6970±0.0125	2.25±0.04
1500	1.0562	1.0181	0.9937	1.0227±0.0315	3.36±0.11
2000	1.0471	1.1351	1.0578	1.0800±0.0480	3.56±0.16

ตารางที่ 3ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เวลาในการเหวี่ยงต่าง ๆ

เวลาเหวี่ยง (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	factor
2	0.5988	0.5901	0.5170	0.5686±0.0449	22.30±2.01
5	1.6661	1.7551	1.7002	1.7071±0.0449	73.26±2.01
8	2.0362	1.9529	2.0526	2.0139±0.0535	87.00±2.39
10	1.7141	1.7869	1.8379	1.7796±0.0622	76.51±2.79
15	1.7364	1.7957	1.8486	1.7936±0.0561	77.13±2.51

ตารางที่ 4ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อสกัดสารเชิงซ้อนด้วย DBSA ที่
ปริมาตรต่าง ๆ

ปริมาตรสกัด (ไมโครลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	factor
50	ไม่มีสารเชิงซ้อนสีม่วงที่ละลายในไดคลอโรมีเทนตกลงมาที่ก้นขวดแก้ว				
100	ไม่มีสารเชิงซ้อนสีม่วงที่ละลายในไดคลอโรมีเทนตกลงมาที่ก้นขวดแก้ว				
150	สารเชิงซ้อนไม่พอสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง				
200	สารเชิงซ้อนไม่พอสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง				
250	สารเชิงซ้อนไม่พอสำหรับวัดค่าการดูดกลืนแสง				
300	2.0970	2.0960	2.1060	2.0997±0.0055	191.75±0.53
350	2.0970	2.1017	2.1012	2.1000±0.0026	191.78±0.25
400	2.1364	2.1466	2.1430	2.1420±0.0052	195.82±0.50
500	2.1508	2.1370	2.1416	2.1431±0.0070	195.93±0.67

ตารางที่ 5ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติมสารที่เป็นตัวแพร่กระจาย
ชนิดต่าง ๆ ลงไป

ชนิด disperser solvent	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	factor
ไดคลอโรมีเทน	0.8452	0.9042	0.8585	0.8693±0.0309	35.76±1.39
เมทานอล	2.1573	2.4536	2.4923	2.3677±0.1833	102.84±8.21
เอทานอล	2.3016	2.0696	2.0015	2.1242±0.1573	91.94±7.05
อะซีโตน	1.5623	1.5235	1.5511	1.5456±0.0200	66.04±0.90
อะซีโตรไนไตรล์	1.0607	0.9962	1.1465	1.0678±0.0754	44.65±3.38

ตารางที่ 6ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติมสารที่เป็นตัวแพร่กระจายที่
ปริมาตรต่าง ๆ

ปริมาตร disperser solvent (%v/v)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment factor
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	
10	0.4991	0.4990	0.4463	0.4815±0.0305	26.22±2.21
20	0.7495	0.7335	0.7301	0.7377±0.0104	44.79±0.75
30	0.9085	0.9165	0.9223	0.9158±0.0069	57.70±0.50
40	1.1037	1.1098	1.0957	1.1031±0.0071	71.28±0.51
50	เมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส ไม่เหลือสารเชิงซ้อนให้วัดค่าการดูดกลืนแสง				
60	เมื่อเติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส ไม่เหลือสารเชิงซ้อนให้วัดค่าการดูดกลืนแสง				
70	ไม่มีสารเชิงซ้อนตกลงมาหลังจากเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง				
80	ไม่มีสารเชิงซ้อนตกลงมาหลังจากเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง				

ตารางที่ 7ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อสกัดสารเชิงซ้อนที่เวลาต่าง ๆ

เวลาสกัด (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment factor
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	
10 วินาที	0.8025	0.8195	0.7997	0.8073±0.0107	74.90±1.020
1	1.2503	1.2925	1.2797	1.2742±0.0216	119.49±2.07
2	1.3801	1.3891	1.4690	1.4127±0.0489	132.72±4.67
3	1.4159	1.4270	1.4035	1.4154±0.0118	132.98±1.12
4	1.3824	1.3836	1.3887	1.3849±0.0033	130.07±0.32
5	1.4134	1.4007	1.4155	1.4099±0.0080	132.45±0.76

ตารางที่ 8ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติมโซเดียมคลอไรด์ที่
ความเข้มข้นต่าง ๆ

NaCl (%w/v)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	factor
5	0.5980	0.5925	0.6086	0.5997±0.0082	19.17±0.28
10	1.1221	1.1221	1.1190	1.1211±0.0018	37.01±0.06
15	1.1923	1.1948	1.2191	1.2021±0.0148	39.78±0.51
20	1.4984	1.4872	1.5020	1.4959±0.0077	49.84±0.26
25	1.9465	1.9494	1.9097	1.9352±0.0221	64.87±0.76
30	2.5713	2.5608	2.5506	2.5609±0.0104	86.29±0.35

ตารางที่ 9ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติมสารที่เป็นตัวช่วยสกัดชนิด
ต่าง ๆ ลงไป

ชนิดของ สารที่เป็นตัวช่วย สกัด	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	factor
เมทานอล	2.1852	2.1256	1.9212	2.0773±0.1385	189.60±13.33
เอทานอล	2.2208	2.4579	2.1574	2.2787±0.1584	208.98±15.25
อะซีโตน	1.7125	1.4375	1.2829	1.4776±0.2176	131.88±20.94
อะซีโตรไนไตรล์	1.9790	2.0008	2.0515	2.0104±0.0372	183.16±3.58
ไดคลอโรมีเทน	1.4399	1.4546	1.5642	1.4863±0.0679	132.71±6.54

ตารางที่ 10ค ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติมสารที่เป็นตัวช่วยสกัดที่
ปริมาตรต่าง ๆ ลงไป

เอทานอล (ไมโครลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร				enrichment
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD	factor
200	1.7327	1.7867	1.7695	1.7630±0.0276	166.02±2.60
500	2.1036	2.1087	2.1187	2.1103±0.0077	198.76±0.72
800	2.0963	2.0981	2.1092	2.1012±0.0070	197.90±0.66
1000	2.1685	2.1296	2.1523	2.1501±0.0195	202.51±1.84
1500	2.0992	2.1202	2.1848	2.1348±0.0446	201.07±4.20
2000	2.1912	2.1604	2.1549	2.1689±0.0196	204.28±1.84

ภาคผนวก ง

การออกไซด์ Cr(III) เป็น Cr(VI)

ตารางที่ 1ง ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อทำการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (mean±SD)				
	Cr(III) 0	Cr(III) 0.05	Cr(III) 0.1	Cr(III) 0.5	Cr(III) 1.0
	มิลลิกรัมต่อ	มิลลิกรัมต่อ	มิลลิกรัมต่อ	มิลลิกรัมต่อ	มิลลิกรัมต่อ
	ลิตร	ลิตร	ลิตร	ลิตร	ลิตร
25	0.5254±0.0073	0.6449±0.0251	0.6230±0.0058	0.7218±0.0242	0.8291±0.0257
40	0.4752±0.0253	0.6430±0.0041	0.6731±0.0056	0.8652±0.0529	1.0042±0.0254
60	0.5046±0.0069	0.6574±0.0087	0.7726±0.0132	0.9977±0.0104	1.5092±0.0052
80	0.4772±0.0110	0.8550±0.0126	0.9363±0.0053	1.3549±0.0629	1.9882±0.0091
90	0.5074±0.0064	0.7055±0.0062	0.8177±0.0027	1.5546±0.0048	2.2736±0.0140
95	0.4814±0.0048	0.7857±0.0058	0.8947±0.0043	1.5423±0.0113	2.5720±0.0216
100	0.4918±0.0053	0.7097±0.0028	0.9051±0.0025	1.6760±0.0115	2.5935±0.0025

ตารางที่ 2ง ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อทำการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) ที่เวลาต่าง ๆ

เวลาออกซิไดซ์ (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (mean±SD)			
	Cr(III) 0	Cr(III) 0.05	Cr(III) 0.1	Cr(III) 0.5
	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร
5	0.4482±0.0047	0.5580±0.0088	0.6074±0.0092	0.8075±0.0116
10	0.4540±0.0053	0.5967±0.0109	0.8809±0.0399	1.4655±0.0053
20	0.3479±0.0026	0.7159±0.0124	0.9029±0.0025	1.9314±0.0046
30	0.3223±0.0040	0.6888±0.0081	0.9074±0.0003	2.2693±0.0110
40	0.3174±0.0058	0.6080±0.0010	1.0224±0.0005	2.6874±0.0073
50	0.3110±0.0012	0.6024±0.0002	1.0342±0.0007	2.5117±0.0082

ตารางที่ 3ง ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อทำการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI) ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของกรดซัลฟิวริก

H ₂ SO ₄ (โมลต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (mean±SD)			
	Cr(III) 0	Cr(III) 0.05	Cr(III) 0.1	Cr(III) 0.5
	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร
0	0.3323±0.0147	0.3601±0.0150	0.3884±0.0143	0.4630±0.0164
0.10	0.3578±0.0182	0.5012±0.0046	0.8567±0.0049	2.4415±0.0030
0.25	0.3865±0.0055	0.6341±0.0094	0.6999±0.0065	1.5812±0.0055
0.50	0.3656±0.0100	0.4629±0.0065	0.5499±0.0129	0.8927±0.0190
1.00	0.3057±0.0049	0.3424±0.0014	0.4479±0.0067	0.6582±0.0018

ตารางที่ 4ง ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ Ce(IV) ในการออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI)

Ce(IV) (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (mean±SD)			
	Cr(III) 0	Cr(III) 0.05	Cr(III) 0.1	Cr(III) 0.5
	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร	มิลลิกรัมต่อลิตร
0.1	0.3831±0.0032	0.3829±0.0047	0.4442±0.0053	0.4605±0.0109
0.5	0.4478±0.0140	0.4605±0.0213	0.5556±0.0111	0.6379±0.0361
1.0	0.6164±0.0058	0.8835±0.0193	0.9738±0.0248	1.1572±0.0151
5.0	0.6944±0.0586	1.1348±0.0177	1.5823±0.0106	4.0000*
10	0.6740±0.0159	1.0043±0.0408	1.5455±0.0147	4.0000*

*ค่าการดูดกลืนแสงเกินขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่อง uv-vis

ตารางที่ 5g ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติมกรดกำจัดตัวออกซิไดซ์ที่
ความเข้มข้นต่าง ๆ ลงไปหลังออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI)

HClO ₄ (โมลต่อ ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ของโครเมียมรวมความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	0	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3
0	0.4511±0.0020	0.6485±0.0057	0.8657±0.0070	1.0758±0.0087	1.6393±0.0058	2.3455±0.0053
0.5	0.4841±0.0028	0.6477±0.0063	0.7052±0.0374	0.7689±0.0093	0.8784±0.0086	0.9127±0.0058
1.0	0.4636±0.0062	0.6296±0.0146	0.6592±0.0113	1.0005±0.0076	1.3651±0.0060	1.8545±0.0131
1.5	0.4827±0.0060	0.5837±0.0042	0.8889±0.0050	0.9639±0.0057	1.2878±0.0029	1.7866±0.0069
2.0	0.4764±0.0016	0.6837±0.0069	0.7858±0.0065	1.0056±0.0047	1.3521±0.0022	1.7863±0.0035

ตารางที่ 6g ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติมกรดชนิดต่าง ๆ ลงไปเพื่อ
ออกซิไดซ์ Cr(III) เป็น Cr(VI)

ชนิด กรด	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ของโครเมียมรวมความเข้มข้นต่าง ๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	0	0.02	0.05	0.1	0.2	0.3
H ₂ SO ₄	0.4636±0.0062	0.6296±0.0146	0.6592±0.0113	1.0005±0.0076	1.3651±0.0060	1.8545±0.0131
HNO ₃	0.7196±0.0177	0.8973±0.0216	1.2077±0.0039	1.2527±0.0065	1.4315±0.0078	1.6593±0.0052

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก จ

สารบวณการวิเคราะห์ (Interference)

ตารางที่ 1จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติมไอออนบวกชนิดต่าง ๆ
ลงไป 1000 เท่า (0.1:100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean±SD	% error	ผลการรบกวน ±5%	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3680±0.0090			
Na ⁺	0.3581±0.0022	-2.67		✓
K	0.3511±0.0090	-4.59		✓
Co ²⁺	0.3505±0.0011	-4.74		✓
Ag ⁺	0.3655±0.0014	-0.67		✓
Mg ²⁺	0.3621±0.0017	-1.60		✓
Ca ²⁺	0.3695±0.0076	0.41		✓
Cu ²⁺	0.3823±0.0013	3.90		✓
Ni ²⁺	-0.0585±0.0227	-115.91	✓	
Zn ²⁺	0.3668±0.0002	-0.33		✓
Cd ²⁺	0.3778±0.0104	2.67		✓
Fe ³⁺	-0.0186±0.0076	-105.05	✓	
Fe ²⁺	0.3827±0.0038	4.00		✓
Hg ²⁺	0.4745±0.0108	28.95	✓	

ตารางที่ 2จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เติมไอออนบวกชนิดต่าง ๆ ลงไป 100 เท่า (0.1:10 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean±SD	% error	ผลการรบกวน ±5%	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3539±0.0049			
Ni ²⁺	0.4723±0.0192	33.43	✓	
Fe ³⁺	1.3347±0.0048	277.10	✓	
Hg ²⁺	0.3522±0.0026	-0.50		✓

ตารางที่ 3จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เติม Hg²⁺ ลงไป 500 เท่า (0.1:50 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean±SD	% error	ผลการรบกวน ±5%	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3539±0.0049			
Hg ²⁺	0.3534±0.0016	-0.15		✓

ตารางที่ 4จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เติม Ni²⁺ และ Fe³⁺ ลงไป 50 เท่า (0.1:5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean±SD	% error	ผลการรบกวน ±5%	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3539±0.0049			
Ni ²⁺	0.3706±0.0012	4.71		✓
Fe ³⁺	0.6072±0.0021	71.57	✓	

ตารางที่ 5จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เติม Fe^{3+} ลงไป 20 เท่า
(0.1:2 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean $\pm$ SD	% error	ผลการรบกวน $\pm 5\%$	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3642 $\pm$ 0.0029			
Fe^{3+}	0.3752 $\pm$ 0.0047	3.01		✓

ตารางที่ 6จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC เมื่อเติม ไอออนลบชนิดต่าง ๆ ลงไป
1000 เท่า (0.1:100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean $\pm$ SD	% error	ผลการรบกวน $\pm 5\%$	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3680 $\pm$ 0.0090	-		
HCO_3^-	0.3666 $\pm$ 0.0084	-0.36		✓
CH_3COO^-	0.3622 $\pm$ 0.0102	-1.58		✓
CO_3^{2-}	0.0757 $\pm$ 0.0131	-79.44	✓	
Br^-	0.6464 $\pm$ 0.0269	75.67	✓	
HPO_4^{2-}	0.3517 $\pm$ 0.0111	-4.41		✓
IO_3^-	0.0503 $\pm$ 0.0326	-86.34	✓	
$\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	0.3497 $\pm$ 0.0047	-4.97		✓
MnO_4^-	-0.0046 $\pm$ 0.0107	-101.24	✓	
Cl^-	0.3506 $\pm$ 0.0016	-4.71		✓
I^-	0.0954 $\pm$ 0.0238	-74.07	✓	

ตารางที่ 7จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เติมไอออนลบชนิดต่าง ๆ ลงไป 100 เท่า (0.1:10 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean±SD	% error	ผลการรบกวน ±5%	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3539±0.0049			
CO ₃ ²⁻	0.3468±0.0035	-2.02		✓
Br ⁻	0.3514±0.0069	-0.73		✓
IO ₃ ⁻	2.0124±0.0077	468.59	✓	
MnO ₄ ⁻	1.0161±0.0122	187.08	✓	
I ⁻	0.2201±0.0044	-37.81	✓	

ตารางที่ 8จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เติมไอออนลบชนิดต่าง ๆ ลงไป 500 เท่า (0.1:50 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean±SD	% error	ผลการรบกวน ±5%	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3539±0.0049			
CO ₃ ²⁻	0.3605±0.0060	1.86		✓
Br ⁻	0.3630±0.0013	2.56		✓

ตารางที่ 9จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เติมไอออนลบชนิดต่าง ๆ ลงไป
50 เท่า (0.1:5 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean±SD	% error	ผลการรบกวน ±5%	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3539±0.0049			
IO ₃ ⁻	0.8917±0.0063	151.95	✓	
MnO ₄ ⁻	0.6118±0.0137	72.86	✓	
I ⁻	0.3665±0.0161	3.54		✓

ตารางที่ 10จ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่เติมไอออนลบชนิดต่าง ๆ ลงไป
20 เท่า (0.1:2 มิลลิกรัมต่อลิตร)

ชนิดไอออน	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	mean±SD	% error	ผลการรบกวน ±5%	
			รบกวน	ไม่รบกวน
no add	0.3642±0.0029			
IO ₃ ⁻	0.3762±0.0013	3.30		✓
MnO ₄ ⁻	0.3717±0.0215	2.05		✓

ภาคผนวก จ

ศึกษาความน่าเชื่อถือของวิธีวิเคราะห์ (Method Validation)

ตารางที่ 1ฉ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ
โครเมียมรวม ในการสร้างความเป็นเส้นตรง

โครเมียมรวม (ไมโครกรัมต่อ ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD
0.1	0.0057	0.0033	0.0130	0.0073±0.0051
0.5	0.0581	0.0571	0.0607	0.0587±0.0019
1.0	0.2366	0.2318	0.2408	0.2364±0.0045
5.0	0.3516	0.3622	0.3416	0.3518±0.0103
10	0.4644	0.4721	0.4666	0.4677±0.0040
50	1.9112	1.9051	1.9156	1.9106±0.0053
100	3.3416	3.4114	3.3708	3.3746±0.0351
200	ค่าการดูดกลืนแสง (มีค่า 4) เกินขีดจำกัดการตรวจวัดของเครื่อง uv-vis			

ตารางที่ 2น ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร ของสารละลายแบลงค์

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง
1	0.5512
2	0.5501
3	0.5403
4	0.5426
5	0.5219
6	0.5267
7	0.5498
8	0.5287
9	0.5545
10	0.5521
mean	0.5418
SD	0.0120
%RSD	2.21

ขีดจำกัดในการตรวจวัด (Limit of detection: LOD)

ทำการสกัดตามสภาวะที่เหมาะสมที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยคำนวณจากกราฟมาตรฐานแล้วแทนค่าลงในสมการ

$$C_L = 3SD + \text{blank}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } C_L &= (3 \times 0.0120) + 0.5418 \\ &= 0.5778 \end{aligned}$$

จากกราฟมาตรฐาน สมการเส้นตรง คือ $y = 44.2222x + 0.0431$ $R^2 = 0.9971$

$$\text{แทนค่า } 0.5778 = 44.2222x + 0.0431$$

$$\frac{0.5778 - 0.0431}{44.2222} = x$$

$$0.0121 = x$$

จะได้ว่า ขีดจำกัดในการตรวจวัด มีค่า 0.0121 มิลลิกรัมต่อลิตร

คิดเป็น 12 ไมโครกรัมต่อลิตร

ขีดจำกัดในการตรวจวัดการวิเคราะห์ปริมาณ (Limit of quantification: LOQ)

ทำการสกัดตามสภาวะที่เหมาะสมที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยคำนวณจากกราฟมาตรฐานแล้วแทนค่าลงในสมการ

$$C_1 = 10SD + \text{blank}$$

$$\begin{aligned}\text{แทนค่า } C_1 &= (10 \times 0.0120) + 0.5418 \\ &= 0.6618\end{aligned}$$

จากกราฟมาตรฐาน สมการเส้นตรง คือ $y = 44.2222x + 0.0431$ $R^2 = 0.9971$

$$\text{แทนค่า } 0.6618 = 44.2222x + 0.0431$$

$$\frac{0.6618 - 0.0431}{44.2222} = x$$

$$0.0140 = x$$

จะได้ว่า ขีดจำกัดในการตรวจวัด มีค่า 0.0140 มิลลิกรัมต่อลิตร

คิดเป็น 14 ไมโครกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 3๓ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ
โครเมียมรวมในการสร้างกราฟมาตรฐาน

โครเมียมรวม (ไมโครกรัมต่อ ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD
5	0.2413	0.2365	0.2455	0.2411±0.0045
10	0.4544	0.4580	0.4524	0.4549±0.0028
20	0.9580	0.9789	0.9725	0.9698±0.0107
30	1.4323	1.4345	1.4344	1.4337±0.0012
40	1.8013	1.7545	1.7922	1.7826±0.0248
50	2.2210	2.2259	2.2453	2.2307±0.0129

ตารางที่ 4ฉ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของโครเมียมรวมในการศึกษาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์

ครั้งที่ ครั้ง	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร							
	repeatability				intermediate precision			
	โครเมียมรวม 20 ไมโครกรัมต่อลิตร	โครเมียมรวม 40 ไมโครกรัมต่อลิตร	โครเมียมรวม 80 ไมโครกรัมต่อลิตร	โครเมียมรวม 20 ไมโครกรัมต่อลิตร	โครเมียมรวม 40 ไมโครกรัมต่อลิตร	โครเมียมรวม 80 ไมโครกรัมต่อลิตร	โครเมียมรวม 20 ไมโครกรัมต่อลิตร	โครเมียมรวม 40 ไมโครกรัมต่อลิตร
1	0.7845	1.3256	2.5787	0.7918	1.3260	2.6840	0.7918	1.3260
2	0.7899	1.3474	2.5676	0.7884	1.3193	2.5618	0.7884	1.3193
3	0.8001	1.3343	2.6923	0.7862	1.3258	2.5594	0.7862	1.3258
4	0.7967	1.3276	2.5701	0.7812	1.3341	2.7937	0.7812	1.3341
5	0.7945	1.3341	2.5677	0.7841	1.3450	2.7863	0.7841	1.3450
6	0.7812	1.3554	2.5845	0.7974	1.3439	2.7872	0.7974	1.3439
7	0.7845	1.3445	2.7034	0.8123	1.3579	2.7856	0.8123	1.3579
8	0.7937	1.3401	2.5856	0.8156	1.3665	2.7587	0.8156	1.3665
9	0.7876	1.3321	2.6554	0.8213	1.3632	2.6034	0.8213	1.3632
10	0.8033	1.3345	2.5689	-	-	-	-	-
mean±SD	0.7916±0.0073	1.3376±0.0093	2.6074±0.0543	0.7976±0.0150	1.3424±0.0174	2.7022±0.1019	0.7976±0.0150	1.3424±0.0174
%RSD	0.92	0.69	2.08	1.88	1.29	3.77	1.88	1.29

ตารางที่ 5ฉ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของ
โครเมียมรวมในการศึกษาความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์

ตัวอย่างน้ำ	โครเมียมรวม (ไมโครกรัม ต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD
ดื่กเคมี	0	2.5754	2.5620	2.5702	2.5692±0.0068
	20	3.1133	3.1075	3.1097	3.1101±0.0029
	30	3.4864	3.4763	3.4633	3.4753±0.0116
	40	ค่าการดูดกลืนแสงเกิดขีดจำกัดการตรวจวัดของ uv-vis			
หอสมุด	0	0.7013	0.7431	0.7366	0.7270±0.0225
	20	1.3343	1.3424	1.3386	1.3384±0.0041
	30	1.8320	1.8411	1.8489	1.8406±0.0085
	40	2.1653	2.1567	2.1597	2.1605±0.0044
นันทนาการ	0	0.4975	0.5198	0.4894	0.5022±0.0157
	20	1.2311	1.2345	1.2395	1.2350±0.0042
	30	1.6044	1.6096	1.6077	1.6072±0.0026
	40	2.0855	2.0911	2.0933	2.0899±0.0040
คณมนุชย์	0	0.4022	0.3987	0.4066	0.4025±0.0040
	20	1.0677	1.0778	1.0742	1.0732±0.0051
	30	1.5900	1.5889	1.5882	1.5890±0.0009
	40	3.3543	3.3444	3.3388	3.3458±0.0078

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในตัวอย่าง

ตารางที่ 1x ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ของตัวอย่างน้ำในการหาปริมาณโครเมียมรวมโดยออกซิไดซ์ในขั้นตอนการทดลอง

ตัวอย่างน้ำ	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD
ตึกเคมี	2.5754	2.5620	2.5702	2.5692±0.0068
หอสมุด	0.7013	0.7431	0.7366	0.7270±0.0225
สวนนันทนาการ	0.4975	0.5198	0.4894	0.5022±0.0157
ตึกมนุษย	0.4022	0.3987	0.4066	0.4025±0.0040

ตารางที่ 2x ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ของตัวอย่างน้ำในการหาปริมาณ Cr(VI) โดยไม่ออกซิไดซ์ในการทดลอง

ตัวอย่างน้ำ	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	mean±SD
ตึกเคมี	2.5754	2.5620	2.5702	2.5692±0.0068
หอสมุด	0.7013	0.7431	0.7366	0.7270±0.0225
สวนนันทนาการ	0.4975	0.5198	0.4894	0.5022±0.0157
ตึกมนุษย	0.4022	0.3987	0.4066	0.4025±0.0040

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณโครเมียมในตัวอย่างโดยเทคนิค AAS

ตารางที่ 1๗ ค่าการดูดกลืนแสงของสารเชิงซ้อน Cr-DPC ที่ตรวจวัดได้จากตัวอย่าง
น้ำโดยเทคนิค AAS

ความเข้มข้น Cr(VI) (ไมโครกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (mean±SD)	
	ข้อมูลที่วัดจริง	ข้อมูลลบแบล็ก
0	0.0033±0.0002	-
50	0.0077±0.0002	0.0043±0.0002
60	0.0083±0.0001	0.0050±0.0001
70	0.0090±0.0001	0.0057±0.0001
80	0.0098±0.0001	0.0065±0.0001
90	0.0107±0.0005	0.0074±0.0005
100	0.0123±0.0005	0.0090±0.0005

เปรียบเทียบวิธีที่เสนอกับ AAS

The student t-test (ศุภชัย ใช้เทียมวง, 2550: James & Jane, 2005)

$$\text{จากสมการ} \quad t = \bar{D} \frac{\sqrt{N}}{Sd}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (D_i - \bar{D})^2}{N-1}}$$

D_i = ความแตกต่างของผลการทดลองโดยวิธีวิเคราะห์ทั้งสองต่อสารตัวอย่างแต่ละสาร

$\bar{D}$ = ค่าเฉลี่ยของ D_i

N = จำนวนสารตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์

Sd = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 3x แสดงปริมาณโครเมียมที่ตรวจวัดได้และการคำนวณความแตกต่างระหว่าง 2 วิธี

ตัวอย่างน้ำ	โครเมียม (ไมโครกรัมต่อลิตร)				
	วิธีที่เสนอ	AAS	di	di-d	(di-d) ²
น้ำปราศจากไอออน	75.7073	78.7000	-2.9927	1.8741	3.5122
ดึกเคมิ	92.4758	104.1250	-11.6492	-6.7825	46.0020
บ่อน้ำหอสมุด	81.7916	81.7500	0.0416	4.9084	24.0922
mean	$X_A = 83.3249$	$X_B = 88.1917$	-4.8667		$\Sigma = 73.6065$

เมื่อ di = ผลต่างของสองวิธี

$\bar{d}$ = ผลต่างของสองวิธีเฉลี่ย

แทนค่าลงในสมการ

$$t = |\bar{X}_A - \bar{X}_B| \sqrt{\frac{N(N-1)}{\Sigma(di-\bar{d})}} = \frac{\bar{d}\sqrt{N}}{SD}$$

$$= |83.3249 - 88.1917| \sqrt{\frac{3(3-1)}{73.6065}}$$

$$t_{\text{exp}} = 1.3894$$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อ N = 3 (Degree of freedom = 3) $t_{\text{thero}} = 4.30$

$$t_{\text{exp}} < t_{\text{thero}} (1.39 < 4.30)$$

สรุปได้ว่าทั้งสองวิธีนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%