บทที่ 4

ผลการคำนวณ

ผลการคำนวณของงานวิจัยนี้จะกล่าวถึง ค่าความเข้มข้นในแต่ละรอบของการทดลอง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังที่กล่าวมาแล้ว สมการสมดุลของการแยกสาร ค่าความผิดพลาดของการคำนวณในกรณีฟังก์ชันสมดุลของการแยกสารเป็นแบบเชิงเส้นและแบบไม่เชิงเส้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง รวมทั้งกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดดังกล่าว

4.1. ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นในแต่ละรอบของการทดลอง

ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นในแต่ละรอบของการทดลองของทั้ง 3 รูปแบบการทดลอง ที่กล่าวไว้ในงานวิจัยฉบับนี้ จะแสดงไว้ในรูปตาราง

ตารางที่ 4.1. ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีนฮีโมโกลบินในสภาวะของเหลวและของแข็งของรูปแบบการทดลองที่ 1

n	Yt(n)	Ym(2n-1)	Yb(n+1)	Ym(2n)	Xt(n)	Xm(2n-1)	Xb(n+1)	Xm(2n)
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	3.0000	2.0000	1.4000	1.0000
1	0.7816	0.8000	1.1398	1.1748	1.2184	1.6000	1.4602	0.8436
2	0.6581	0.8975	1.2041	1.0822	0.9671	1.7376	1.6732	0.7824
3	0.5951	0.9202	1.2434	1.0236	0.8454	1.8352	1.7959	0.7421
4	0.5541	0.9322	1.2721	0.9893	0.7831	1.8873	1.8586	0.7259
5	0.5242	0.9385	1.2948	0.9689	0.7558	1.9094	1.8867	0.7254
6	0.5010	0.9416	1.3136	0.9566	0.7486	1.9140	1.8952	0.7336
7	0.4822	0.9428	1.3298	0.9492	0.7524	1.9090	1.8928	0.7460

ตารางที่ 4.2. ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีนฮีโมโกลบิน ในสภาวะของเหลว และของแข็งของรูปแบบการทดลองที่ 2

n	Yt(n)	Ym(2n-1)	Yb(n+1)	Ym(2n)	Ys(n+1)	Xt(n)	Xm(2n-1)	Xb(n+1)	Xm(2n)	Xs(n+1)
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	3.0000	2.0000	1.4000	1.0000	1.0000
1	0.6867	0.8000	1.0979	1.1611	1.0803	1.3133	1.6000	1.5021	0.9522	0.8719
2	0.5056	0.8926	1.1580	1.0363	1.0583	1.0530	1.7706	1.7105	0.9094	0.9313
3	0.4227	0.9033	1.1946	0.9926	1.0254	1.0142	1.8435	1.8068	0.9252	0.9582
4	0.3723	0.9147	1.2213	0.9755	1.0004	1.0086	1.8844	1.8577	0.9478	0.9727
5	0.3373	0.9242	1.2424	0.9665	0.9835	1.0076	1.9091	1.8879	0.9654	0.9824
6	0.3112	0.9312	1.2600	0.9606	0.9721	1.0085	1.9232	1.9057	0.9790	0.9904
7	0.2907	0.9361	1.2750	0.9568	0.9644	1.0109	1.9303	1.9153	0.9902	0.9978
8	0.2741	0.9395	1.2881	0.9542	0.9593	1.0145	1.9326	1.9194	0.9998	1.0049

ตารางที่ 4.3. ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีนอัลบูมินในสภาวะของเหลวและของแข็งของรูปแบบการทดลองที่ 2

n	Yt(n)	Ym(2n-1)	Yb(n+1)	Ym(2n)	Ys(n+1)	Xt(n)	Xm(2n-1)	Xb(n+1)	Xm(2n)	Xs(n+1)
0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	2.5000	1.5000	1.5000	2.5000	1.5000
1	0.7143	1.0000	1.0691	0.7959	1.0230	1.7857	1.5000	1.4309	1.9898	1.9668
2	0.7190	0.9190	1.0483	0.7762	1.1010	1.9621	1.3078	1.3286	2.1049	2.0269
3	0.9434	0.8823	1.0461	0.7830	1.1494	2.0025	1.2225	1.2247	2.1018	2.0534
4	0.7627	0.8610	1.0438	0.7908	1.1850	2.0340	1.1468	1.1491	2.1042	2.0686
5	0.7767	0.8468	1.0418	0.7967	1.2134	2.0547	1.0931	1.0950	2.1048	2.0764
6	0.7866	0.8369	1.0404	0.8010	1.2371	2.0665	1.0548	1.0562	2.1024	2.0787
7	0.7937	0.8300	1.0394	0.8041	1.2575	2.0716	1.0271	1.0281	2.0975	2.0771
8	0.7988	0.8250	1.0388	0.8063	1.2754	2.0720	1.0071	1.0078	2.0908	2.0729

ตารางที่ 4.4. ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีนฮีโมโกลบินในสภาวะของเหลวของรูปแบบการทดลองที่ 3

n	Yt(n)	Ym(4n-3)	Yb(n+1)*	Ym(4n-2)	Yt(n)*	Ym(4n-1)	Yb(n+1)	Ym(4n)
0	1.0000	-	1.0000	-	1.0000	-	1.0000	1.0000
1	1.1030	0.8000	0.5200	1.2623	1.7224	1.1141	1.2634	0.8145
2	0.6824	0.8995	0.4639	0.9478	2.0537	0.9343	1.3727	0.7742
3	0.5153	0.8831	0.4460	0.8281	2.2209	0.8706	1.4410	0.7678
4	0.4222	0.8574	0.4322	0.7862	2.3167	0.8377	1.4915	0.7661
5	0.3618	0.8361	0.4209	0.7784	2.3824	0.8199	1.5319	0.7673
6	0.3188	0.8217	0.4129	0.7811	2.4338	0.8102	1.5657	0.7702
7	0.2866	0.8129	0.4077	0.7849	2.4759	0.8048	1.5949	0.7739
8	0.2612	0.8078	0.4046	0.7879	2.5106	0.8018	1.6205	0.7775

ตารางที่ 4.5. ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีนฮีโมโกลบิน ในสภาวะของแข็งของรูปแบบการทดลองที่ 3

n	Xt(n)	Xm(4n-3)	Xb(n+1)*	Xm(4n-2)	Xt(n)*	Xm(4n-1)	Xb(n+1)	Xm(4n)
0	3.0000	-	4.0000	-	0.3000	-	1.4000	1.0000
1	0.8970	1.6000	2.0800	0.4347	0.0017	2.2282	1.9648	0.0119
2	0.4324	1.8798	1.9359	0.3842	0.0530	1.9493	1.8400	0.2131
3	0.3802	1.7312	1.7490	0.4351	0.2679	1.7066	1.6383	0.3708
4	0.4639	1.5487	1.5625	0.5350	0.4392	1.5110	1.4605	0.5108
5	0.5713	1.3905	1.4018	0.6290	0.5633	1.3602	1.3199	0.6160
6	0.6589	1.2654	1.2734	0.6995	0.6481	1.2443	1.2105	0.6880
7	0.7203	1.1678	1.1729	0.7484	0.7062	1.1530	1.1238	0.7372
8	0.7625	1.0899	1.0930	0.7825	0.7478	1.0791	1.0534	0.7721

ตารางที่ 4.6. ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีนอัลบูมิน ในสภาวะของเหลวของรูปแบบการทดลองที่ 3

n	Yt(n)	Ym(4n-3)	Yb(n+1)*	Ym(4n-2)	Yt(n)*	Ym(4n-1)	Yb(n+1)	Ym(4n)
0	1.0000	-	1.0000	-	1.0000	-	1.0000	1.0000
1	1.0191	1.0000	0.2510	1.0001	1.0390	1.2318	1.1392	1.0199
2	1.1067	1.0915	0.1231	1.0383	1.2094	1.1157	1.1254	1.0347
3	1.1589	1.0892	0.0811	1.0501	1.3217	1.0894	1.1039	1.0504
4	1.1966	1.0826	0.0603	1.0600	1.4077	1.0817	1.0907	1.0616
5	1.2242	1.0791	0.0480	1.0683	1.4782	1.0797	1.0842	1.0700
6	1.2448	1.0785	0.0398	1.0751	1.5385	1.0804	1.0820	1.0770
7	1.2603	1.0799	0.0339	1.0821	1.5913	1.0827	1.0825	1.0831
8	1.2724	1.0826	0.0296	1.0867	1.6385	1.0859	1.0847	1.0887

ตารางที่ 4.7. ผลการคำนวณค่าความเข้มข้นของโปรตีนอัลบูมิน ในสภาวะของแข็งของรูปแบบการทดลองที่ 3

n	Xt(n)	Xm(4n-3)	Xb(n+1)*	Xm(4n-2)	Xt(n)*	Xm(4n-1)	Xb(n+1)	Xm(4n)
0	2.5000	-	4.5000	-	2.0000	-	1.5000	2.5000
1	2.4809	1.5000	2.2490	2.4808	2.4418	2.0173	1.8781	2.6537
2	2.5661	1.8064	1.9343	2.6194	2.4490	1.8570	1.8709	2.5300
3	2.4777	1.8163	1.8583	2.5168	2.4045	1.8190	1.8404	2.4435
4	2.4058	1.8082	0.8289	2.4284	2.3425	1.8072	1.8205	2.3626
5	2.3350	1.8030	1.8154	2.3458	2.2753	1.8039	1.8104	2.2849
6	2.2644	1.8019	1.8101	2.2678	2.2075	1.8049	1.8070	2.2110
7	2.1954	1.8041	1.8099	2.1942	2.1413	1.8084	1.8079	2.1409
8	2.1289	1.8084	1.8127	2.1248	2.0776	1.8135	1.8114	2.0747

4.2. ผลการคำนวณหาสมการสมดุลของการแยกสารผสม

ผลการคำนวณหาสมการสมดุลของการแยกสารผสมของทั้ง 3 รูปแบบการทดลอง แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 ค่าความผิดพลาดที่กล่าวไว้ในตารางเป็นค่าความผิดพลาดของสมการที่คำนวณได้ เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของค่าความเข้มข้นที่ใช้ในการหาสมการดังกล่าว จากการพิจารณาสมการสมดุลของการแยกสารผสม พบว่า สมการที่คำนวณได้เป็นฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้นและมีความแตกต่างของรูปแบบสมการ ในกรณีที่สารผสมที่ต้องการหาค่าความเข้มข้นอยู่ในคอลัมน์ที่มีตัวแลกเปลี่ยนประจุต่างกัน

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณหาสมการสมดุลของการแยกสารผสม

รูปแบบการทดลอง	สมการสมดุลของการแยกสารผสมที่คำนวณได้		ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ
รูปแบบที่ 1.	Kp1+ :	$X = 0.34047 \exp(1.58782 Y)$	0.0305
	Kp2- :	$X = 2.02706\ Y^{(1.10758)}$	0.0252
	Kp1- :	$X = 1.23565\ Y^{(1.56448)}$	0.0487
	Kp2+ :	$X = 0.63241 \exp(0.20608 Y)$	0.0760
รูปแบบที่ 2. โปรตีนฮีโมโกลบิน	Kp1+ :	$X = 0.82847 \exp(0.59162 Y)$	0.0426
	Kp2- :	$X = 2.08717\ Y^{(1.21899)}$	0.0184
	Kp1- :	$X = 1.34775\ Y^{(1.50390)}$	0.0366
	Kp2+ :	$X = 1.16774 \exp(-0.19772 Y)$	0.0264
	Kp3+ :	$X = 2.61773 \exp(-0.99479 Y)$	0.0117
รูปแบบที่ 2. โปรตีนอัลบูมิน	Kp1+ :	$X = 0.75244 \exp(1.28568 Y)$	0.0478
	Kp2- :	$X = 1.53480\ Y^{(2.06885)}$	0.0234
	Kp1- :	$X = 0.67752\ Y^{(11.91451)}$	0.0669
	Kp2+ :	$X = 2.56820 \exp(-0.26141 Y)$	0.0366
	Kp3+ :	$X = 1.60503 \exp(0.20827 Y)$	0.0134

ตารางที่ 4.8 ต่อ

รูปแบบการทดลอง	สมการสมดุลของการแยกสารผสมที่คำนวณได้		ค่าความผิดพลาดจากการคำนวณ
รูปแบบที่ 3. โปรตีนฮีโมโกลบิน	Kp1+ :	$X = 0.54305 \exp(0.15842 Y)$	0.1655
	Kp2- :	$X = 2.60830\ Y^{(3.40359)}$	0.1574
	Kp3- :	$X = 12.61080\ Y^{(2.57546)}$	0.1468
	Kp2+ :	$X = 1.32950 \exp(-0.98919 Y)$	0.1152
	Kp3+ :	$X = 0.0000 \exp(5.60988 Y)$	0.1146
	Kp2- :	$X = 1.98039\ Y^{(2.05377)}$	0.1677
	Kp1- :	$X = 3.98130\ Y^{(-2.62984)}$	0.0949
	Kp2+ :	$X = 0.0000 \exp(-63.78090 Y)$	0.2599
รูปแบบที่ 3. โปรตีนอัลบูมิน	Kp1+ :	$X = 4.95323 \exp(-0.62816 Y)$	0.0805
	Kp2- :	$X = 1.50470\ Y^{(2.28096)}$	0.0144
	Kp3- :	$X = 2.43715\ Y^{(0.09358)}$	0.0593
	Kp2+ :	$X = 18.53207 \exp(-1.94607 Y)$	0.1063
	Kp3+ :	$X = 3.38351 \exp(-0.27866 Y)$	0.0537
	Kp2- :	$X = 1.69105\ Y^{(0.84731)}$	0.0007
	Kp1- :	$X = 1.69902\ Y^{(0.79118)}$	0.0030
	Kp2+ :	$X = 90.80240 \exp(-3.45314 Y)$	0.0283

4.3. ผลการคำนวณค่าความผิดพลาดของความเข้มข้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

ผลการคำนวณค่าความผิดพลาดของความเข้มข้นที่คำนวณในกรณีที่สมการสมดุลของการแยกสารผสมเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นและในกรณีที่เป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงสามารถหาได้ได้จากการนำเอาสมการของค่าความเข้มข้นที่คำนวณจากสมการสมดุลในแต่ละแบบมาคำนวณ โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลของค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จะเป็นตัวบ่งชี้ว่า สมการสมดุลของการแยกสารผสมแบบใดเหมาะสมที่จะใช้ทำนายผลการทดลองของการแยกสารผสมด้วยกระบวนการพีเอช พาราเมตริก ปั๊มปิง

ตารางที่ 4.9. ผลการคำนวณค่าความผิดพลาดของความเข้มข้น ที่คำนวณในกรณีสมดุลของการแยกสารผสมเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

รูปแบบการทดลอง	สมการของค่าความเข้มข้น ที่ทำนายโดยใช้สมดุลของการแยกสารผสมเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น	ค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง
รูปแบบที่ 1.	$Yt = 0.49007*n^{(-0.24395)}$	0.2200
	$Yb = 1.10476*n^{(0.10071)}$	0.0317
รูปแบบที่ 2.	$Yt = 0.47205*n^{(-0.20227)}$	0.0963
โปรตีนฮีโมโกลบิน	$Yb = 1.10228*n^{(0.10015)}$	0.0656
รูปแบบที่ 2.	$Yb = 1.00706*n^{(-0.09785)}$	0.0951
โปรตีนอัลบูมิน	$Ys = 1.20354*n^{(0.05330)}$	0.1210
รูปแบบที่ 3.	$Yt = 0.43001*n^{(-0.30481)}$	0.2990
โปรตีนฮีโมโกลบิน	$Yb = 1.34861*n^{(-0.07926)}$	0.3359
รูปแบบที่ 3.	$Yt^* = 1.18940*n^{(0.05305)}$	0.2055
โปรตีนอัลบูมิน	$Yb^* = 0.42856*n^{(-0.11443)}$	0.2911

ตารางที่ 4.10. ผลการคำนวณค่าความผิดพลาดของความเข้มข้นที่คำนวณในกรณีสมดุลของการแยกสารเป็นฟังก์ชันไม่เชิงเส้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง

รูปแบบการทดลอง	สมการของค่าความเข้มข้น ที่ทำนายโดยใช้สมดุลของการแยกสารผสมเป็นฟังก์ชันเชิงเส้น	ค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง
รูปแบบที่ 1.	$Yt = 0.69080*n^{(-0.17217)}$	0.0105
	$Yb = 1.10086*n^{(0.05657)}$	0.0255
รูปแบบที่ 2. โปรตีนฮีโมโกลบิน	$Yt = 0.74237*n^{(-0.51967)}$	0.0269
	$Yb = 1.08563*n^{(0.07998)}$	0.0432
รูปแบบที่ 2. โปรตีนอัลบูมิน	$Yb = 1.03482*n^{(-0.01790)}$	0.0535
	$Ys = 1.02721*n^{(0.17425)}$	0.0293
รูปแบบที่ 3. โปรตีนฮีโมโกลบิน	$Yt = 0.51173*n^{(-0.02832)}$	0.1668
	$Yb = 0.92798*n^{(0.18435)}$	0.0964
รูปแบบที่ 3. โปรตีนอัลบูมิน	$Yt^* = 1.08037*n^{(0.19617)}$	0.0902
	$Yb^* = 0.32185*n^{(-1.26558)}$	0.1540