

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษานงานวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

ส่วนที่ 1 ลักษณะข้อมูลทั่วไปของปริมาณน้ำตาและค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาโดยการเลือกช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ด้วยวิธี

PCR

ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาในช่วงต่างๆ ด้วยวิธี การถดถอยพหุคูณ

4.1 ลักษณะข้อมูลทั่วไปของปริมาณน้ำตาและค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ

ความหมายของตัวแปร

TSS	ค่าปริมาณน้ำตาในเนื้อผลสับปะรด
A800	ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 800 นาโนเมตร
A805	ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 805 นาโนเมตร
⋮	⋮
A1700	ค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 1700 นาโนเมตร

ตาราง 5 ค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ต่ำสุด ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวแปร	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
TSS	60	7.60	18.80	12.90	2.58
A800	60	-8.32	-7.38	-7.95	0.23
A805	60	-8.32	-7.37	-7.94	0.23
A810	60	-8.32	-7.38	-7.94	0.23
A815	60	-8.32	-7.38	-7.94	0.23
A820	60	-8.31	-7.34	-7.92	0.23
A825	60	-8.31	-7.37	-7.92	0.23
A830	60	-8.32	-7.39	-7.93	0.23
A835	60	-8.33	-7.42	-7.94	0.22
A840	60	-8.33	-7.43	-7.94	0.22

ตัวแปร	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
A845	60	-8.33	-7.43	-7.94	0.22
A850	60	-8.33	-7.43	-7.93	0.22
A855	60	-8.33	-7.43	-7.93	0.22
A860	60	-8.33	-7.43	-7.93	0.22
A865	60	-8.33	-7.43	-7.93	0.22
A870	60	-8.33	-7.45	-7.93	0.22
A875	60	-8.33	-7.46	-7.94	0.22
A880	60	-8.33	-7.48	-7.94	0.21
A885	60	-8.34	-7.49	-7.95	0.21
A890	60	-8.34	-7.51	-7.95	0.21
A895	60	-8.34	-7.52	-7.96	0.21
A900	60	-8.35	-7.54	-7.96	0.21
A905	60	-8.35	-7.56	-7.97	0.2
A910	60	-8.36	-7.58	-7.98	0.2
A915	60	-8.37	-7.61	-7.99	0.2
A920	60	-8.38	-7.66	-8.01	0.19
A925	60	-8.4	-7.71	-8.04	0.18
A930	60	-8.42	-7.76	-8.07	0.18
A935	60	-8.45	-7.8	-8.1	0.17
A940	60	-8.47	-7.85	-8.14	0.17
A945	60	-8.5	-7.89	-8.18	0.16
A950	60	-8.53	-7.94	-8.22	0.16
A955	60	-8.56	-7.99	-8.26	0.15
A960	60	-8.6	-8.04	-8.31	0.15
A965	60	-8.61	-8.05	-8.32	0.15
A970	60	-8.61	-8.05	-8.32	0.15
A975	60	-8.61	-8.05	-8.32	0.15
A980	60	-8.6	-8.04	-8.31	0.15

ตัวแปร	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
A985	60	-8.6	-8.04	-8.31	0.15
A990	60	-8.59	-8.03	-8.3	0.15
A995	60	-8.58	-8.02	-8.29	0.15
A1000	60	-8.57	-8	-8.27	0.15
A1005	60	-8.56	-7.99	-8.26	0.15
A1010	60	-8.55	-7.97	-8.25	0.15
A1015	60	-8.54	-7.95	-8.23	0.16
A1020	60	-8.53	-7.93	-8.21	0.16
A1025	60	-8.52	-7.91	-8.2	0.16
A1030	60	-8.5	-7.89	-8.18	0.16
A1035	60	-8.49	-7.87	-8.16	0.17
A1040	60	-8.48	-7.85	-8.15	0.17
A1045	60	-8.47	-7.84	-8.13	0.17
A1050	60	-8.46	-7.82	-8.12	0.17
A1055	60	-8.46	-7.81	-8.11	0.17
A1060	60	-8.45	-7.81	-8.11	0.17
A1065	60	-8.45	-7.8	-8.11	0.17
A1070	60	-8.45	-7.8	-8.11	0.17
A1075	60	-8.46	-7.81	-8.11	0.17
A1080	60	-8.46	-7.81	-8.12	0.17
A1085	60	-8.47	-7.83	-8.13	0.17
A1090	60	-8.48	-7.84	-8.14	0.17
A1095	60	-8.49	-7.85	-8.15	0.17
A1100	60	-8.5	-7.87	-8.16	0.17
A1105	60	-8.5	-7.88	-8.17	0.16
A1110	60	-8.52	-7.9	-8.19	0.16
A1115	60	-8.53	-7.93	-8.21	0.16
A1120	60	-8.55	-7.95	-8.23	0.16

ตัวแปร	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
A1125	60	-8.58	-8	-8.27	0.15
A1130	60	-8.61	-8.05	-8.31	0.15
A1135	60	-8.65	-8.1	-8.36	0.15
A1140	60	-8.69	-8.15	-8.41	0.14
A1145	60	-8.71	-8.18	-8.43	0.14
A1150	60	-8.73	-8.21	-8.46	0.14
A1155	60	-8.74	-8.22	-8.47	0.14
A1160	60	-8.75	-8.23	-8.48	0.14
A1165	60	-8.75	-8.24	-8.48	0.14
A1170	60	-8.75	-8.24	-8.48	0.14
A1175	60	-8.75	-8.24	-8.49	0.14
A1180	60	-8.76	-8.24	-8.49	0.14
A1185	60	-8.76	-8.25	-8.49	0.14
A1190	60	-8.76	-8.25	-8.49	0.14
A1195	60	-8.76	-8.25	-8.49	0.14
A1200	60	-8.76	-8.25	-8.49	0.14
A1205	60	-8.76	-8.25	-8.49	0.14
A1210	60	-8.75	-8.25	-8.49	0.14
A1215	60	-8.75	-8.24	-8.49	0.14
A1220	60	-8.75	-8.24	-8.48	0.14
A1225	60	-8.75	-8.24	-8.48	0.14
A1230	60	-8.74	-8.23	-8.48	0.14
A1235	60	-8.74	-8.23	-8.47	0.14
A1240	60	-8.74	-8.23	-8.47	0.14
A1245	60	-8.74	-8.22	-8.47	0.14
A1250	60	-8.73	-8.22	-8.47	0.14
A1255	60	-8.73	-8.22	-8.46	0.14
A1260	60	-8.73	-8.22	-8.46	0.14

ตัวแปร	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
A1265	60	-8.73	-8.22	-8.46	0.14
A1270	60	-8.73	-8.22	-8.47	0.14
A1275	60	-8.74	-8.22	-8.47	0.14
A1280	60	-8.74	-8.23	-8.47	0.14
A1285	60	-8.75	-8.23	-8.48	0.14
A1290	60	-8.75	-8.24	-8.49	0.14
A1295	60	-8.76	-8.25	-8.49	0.14
A1300	60	-8.77	-8.26	-8.51	0.14
A1305	60	-8.78	-8.27	-8.52	0.14
A1310	60	-8.8	-8.29	-8.53	0.14
A1315	60	-8.81	-8.31	-8.55	0.14
A1320	60	-8.83	-8.32	-8.56	0.14
A1325	60	-8.84	-8.34	-8.58	0.14
A1330	60	-8.85	-8.36	-8.59	0.14
A1335	60	-8.87	-8.37	-8.61	0.14
A1340	60	-8.88	-8.39	-8.62	0.14
A1345	60	-8.89	-8.4	-8.64	0.14
A1350	60	-8.9	-8.41	-8.65	0.14
A1355	60	-8.91	-8.43	-8.66	0.14
A1360	60	-8.92	-8.44	-8.67	0.14
A1365	60	-8.93	-8.45	-8.68	0.14
A1370	60	-8.95	-8.47	-8.7	0.14
A1375	60	-8.98	-8.5	-8.72	0.14
A1380	60	-9	-8.53	-8.75	0.14
A1385	60	-9.03	-8.56	-8.78	0.14
A1390	60	-9.06	-8.58	-8.8	0.13
A1395	60	-9.08	-8.61	-8.83	0.14
A1400	60	-9.1	-8.64	-8.85	0.14

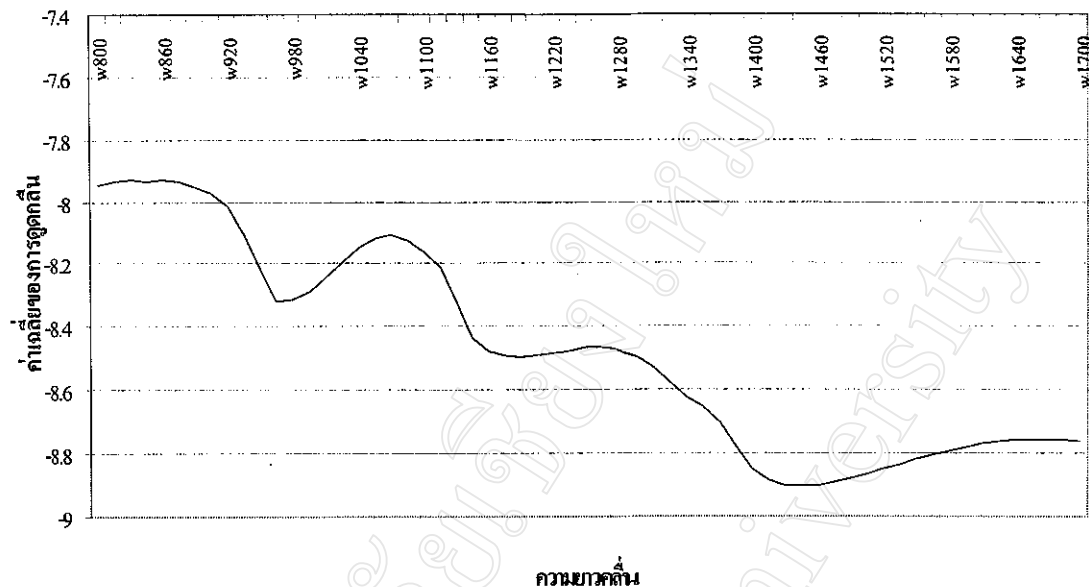
ตัวแปร	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
A1405	60	-9.12	-8.65	-8.86	0.13
A1410	60	-9.13	-8.67	-8.88	0.13
A1415	60	-9.13	-8.68	-8.88	0.13
A1420	60	-9.14	-8.69	-8.89	0.13
A1425	60	-9.14	-8.69	-8.9	0.13
A1430	60	-9.15	-8.7	-8.9	0.13
A1435	60	-9.15	-8.7	-8.9	0.13
A1440	60	-9.15	-8.7	-8.9	0.13
A1445	60	-9.15	-8.7	-8.9	0.13
A1450	60	-9.15	-8.7	-8.9	0.13
A1455	60	-9.15	-8.7	-8.9	0.13
A1460	60	-9.15	-8.7	-8.9	0.13
A1465	60	-9.15	-8.7	-8.9	0.13
A1470	60	-9.14	-8.7	-8.9	0.13
A1475	60	-9.14	-8.69	-8.89	0.13
A1480	60	-9.13	-8.69	-8.89	0.13
A1485	60	-9.13	-8.68	-8.88	0.13
A1490	60	-9.12	-8.68	-8.88	0.13
A1495	60	-9.12	-8.67	-8.87	0.13
A1500	60	-9.11	-8.67	-8.87	0.13
A1505	60	-9.11	-8.66	-8.86	0.13
A1510	60	-9.1	-8.65	-8.86	0.13
A1515	60	-9.1	-8.65	-8.85	0.13
A1520	60	-9.09	-8.64	-8.85	0.13
A1525	60	-9.09	-8.64	-8.84	0.13
A1530	60	-9.08	-8.63	-8.84	0.13
A1535	60	-9.07	-8.63	-8.83	0.13
A1540	60	-9.07	-8.62	-8.83	0.13
A1545	60	-9.06	-8.62	-8.82	0.13

ตัวแปร	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
A1550	60	-9.06	-8.61	-8.82	0.13
A1555	60	-9.05	-8.61	-8.82	0.13
A1560	60	-9.05	-8.6	-8.81	0.13
A1565	60	-9.05	-8.6	-8.81	0.13
A1570	60	-9.04	-8.6	-8.8	0.13
A1575	60	-9.04	-8.59	-8.8	0.13
A1580	60	-9.03	-8.59	-8.79	0.13
A1585	60	-9.03	-8.58	-8.79	0.13
A1590	60	-9.02	-8.58	-8.79	0.13
A1595	60	-9.02	-8.57	-8.78	0.13
A1600	60	-9.02	-8.57	-8.78	0.13
A1605	60	-9.01	-8.57	-8.78	0.13
A1610	60	-9.01	-8.56	-8.77	0.13
A1615	60	-9.01	-8.56	-8.77	0.13
A1620	60	-9.01	-8.56	-8.77	0.13
A1625	60	-9	-8.55	-8.76	0.13
A1630	60	-9	-8.55	-8.76	0.13
A1635	60	-9	-8.55	-8.76	0.13
A1640	60	-9	-8.55	-8.76	0.13
A1645	60	-9	-8.55	-8.76	0.13
A1650	60	-8.99	-8.54	-8.76	0.13
A1655	60	-8.99	-8.54	-8.76	0.13
A1660	60	-8.99	-8.55	-8.76	0.13
A1665	60	-8.99	-8.54	-8.76	0.13
A1670	60	-8.99	-8.54	-8.76	0.13
A1675	60	-8.99	-8.54	-8.76	0.13
A1680	60	-9	-8.54	-8.76	0.13
A1685	60	-9	-8.54	-8.76	0.13

ตัวแปร	N	Minimum	Maximum	Mean	Std.Deviation
A1690	60	-9	-8.55	-8.76	0.13
A1695	60	-9	-8.55	-8.76	0.13
A1700	60	-9	-8.55	-8.76	0.13

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มี 60 ตัวอย่าง พบว่าปริมาณน้ำตาล (TSS) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.60 °Brix สูงสุดเท่ากับ 18.80 °Brix มีค่าเฉลี่ย 12.90 °Brix ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.58 ซึ่งแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายตัวค่อนข้างดี เมื่อทดสอบการแจกแจงพบว่าการแจกแจงแบบปกติ

ที่ความยาวคลื่นต่างๆ กัน จะมีค่าการดูดกลืนต่างกันซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นนั้นๆ ได้ เช่นที่ความยาวคลื่น 800 นาโนเมตรมีค่าการดูดกลืนต่ำสุดเท่ากับ -8.32 ค่าการดูดกลืนสูงสุดเท่ากับ -7.32 เฉลี่ยแล้วที่ความยาวคลื่นนี้มีค่าการดูดกลืนเท่ากับ -7.95 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.24 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ พบว่ามีค่าเฉลี่ยค่อนข้างใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น เช่น ที่ความยาวคลื่น 815 นาโนเมตร ค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนเท่ากับ -7.94 และเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นเป็นความยาวคลื่นที่ 1000 นาโนเมตร ค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนเท่ากับ -8.27 พบว่าค่าการดูดกลืนลดลงจากความยาวคลื่น 815 นาโนเมตรและที่ความยาวคลื่น 1700 นาโนเมตรค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนเท่ากับ -8.76 ซึ่งจะเห็นว่าค่าการดูดกลืนมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยมีลักษณะการเคลื่อนไหวของค่าเฉลี่ยการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ ดังนี้ ค่าการดูดกลืนที่อยู่ในช่วงคลื่น 800 ถึง 915 นาโนเมตรจะมีค่าเฉลี่ยที่เกาะกลุ่มกันอยู่ประมาณ -7.90 จากนั้นในช่วงความยาวคลื่น 920 ถึง 975 นาโนเมตรค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนจะลดลงถึง -8.32 และค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงความยาวคลื่นที่ 1075 นาโนเมตรโดยที่ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนเท่ากับ -8.11 จากนั้นค่าเฉลี่ยจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ไปจนถึงที่ความยาวคลื่นที่ 1460 นาโนเมตรค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนเท่ากับ -8.90 และที่ความยาวคลื่น 1465 ถึง 1700 นาโนเมตร ค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการดูดกลืนจะมีค่าน้อยลงเมื่อความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นแสดงว่าการกระจายของค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นสูงจะน้อยกว่าค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่ำ แต่จะต่างกันไม่มากซึ่งสามารถดูได้จากภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นช่วง 800 ถึง 1700 นาโนเมตร

4.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่ความยาวคลื่นโดยการเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม ด้วยวิธี

PCR

เนื่องด้วยการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลด้วยค่าการดูดกลืนจากความยาวคลื่นต่าง ๆ นั้น ยังไม่มีหลักการและทฤษฎีที่แน่นอน ในการบ่งบอกว่ามีความยาวคลื่นใดที่สามารถบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำตาลในสับปะรดได้อย่างชัดเจน ฉะนั้นในการพยากรณ์ปริมาณน้ำตาลด้วยค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ จำเป็นต้องเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมมาพยากรณ์ปริมาณน้ำตาล ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกความยาวคลื่นในช่วง 800 นาโนเมตร ถึง 1250 นาโนเมตร

การเลือกศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลที่ความยาวคลื่นในช่วงนี้ เนื่องจากได้มีการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้จากเครื่องเอนไออาร์ สเปกโตรสโคปี โดยนักศึกษาปริญญาเอกภาควิชาชีววิทยา ให้เลือกศึกษาช่วงความยาวคลื่นนี้เพราะคิดว่าเป็นช่วงที่พยากรณ์ปริมาณน้ำตาลได้ดีที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในช่วงความยาวคลื่นนี้

4.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

เมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ของตัวแปรอิสระทุกตัว ซึ่งได้แก่ความยาวคลื่นที่ 800 นาโนเมตร จนถึง ความยาวคลื่นที่ 1250 นาโนเมตร พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์สูงคือมีค่า r มากกว่า 0.76 ค่า Determinant of Correlation Matrix มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรอิสระดังกล่าวในปัจจุบันเดียวกันมีความสัมพันธ์กัน โดยมีค่า Communalities ของตัวแปรแต่ละตัวเท่ากับ 1

เมื่อสกัดปัจจัยด้วยวิธี PCA พิจารณาค่าความผันแปรรวม (eigenvalue) ที่มากกว่า 1 แล้วพบว่ามี 2 ค่า แสดงว่าสามารถจัดกลุ่มความยาวคลื่นได้เป็น 2 ปัจจัยคือปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 แต่ 2 ปัจจัยนี้ก็กลับมีคะแนนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลน้อยมากดังตารางที่ 9 ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ยอมให้ค่าความผันแปรน้อยกว่า 1 ได้โดยยอมให้มีการสกัดปัจจัยจนกว่าร้อยละของความผันแปรสะสมที่เพิ่มขึ้นเป็น 100 และมีค่าคงที่จะถือว่าความผันแปรรวมที่เกิดจากปัจจัยต่อมาไม่มีความสำคัญ เพื่อที่จะนำปัจจัยที่สกัดได้นั้นไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยพหุคูณต่อไป

ตาราง 6 ค่าความผันแปรจากการสกัดปัจจัย

ปัจจัย	ค่าความผันแปรรวม (Eigenvalue)	สัดส่วนของการผันแปรรวมที่ อธิบายได้โดยแกนแต่ละแกน (% of Variance)	สัดส่วนของการผัน แปรรวมสะสม (Cumulative %)
1	85.6810000	94.1540000	94.154
2	5.0930000	5.5960000	99.751
3	0.2120000	0.2330000	99.983
4	0.0053770	0.0059080	99.989
5	0.0041070	0.0045130	99.994
6	0.0031100	0.0034170	99.997
7	0.0018440	0.0020270	99.999
8	0.0002791	0.0003067	100.000

การวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ที่นำเอาค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ ในช่วง 800 นาโนเมตร ถึง 1250 นาโนเมตรมาสกัดปัจจัยเพื่อลดจำนวนตัวแปรให้น้อยลง

จากตาราง 6 พบว่าเมื่อสกัดปัจจัยด้วยวิธีวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะได้ว่า ปัจจัยที่ 1 จะมีค่าความผันแปรรวมสูงสุดคือ 85.681 ซึ่งปัจจัยนี้สามารถอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้มากที่สุด คือ ร้อยละ 94.154 กล่าวคือปัจจัยนี้แยกกลุ่มออกไปได้ดีที่สุด แต่ไม่ได้หมายความว่าปัจจัยนี้จะบอกถึงน้ำหนักความสำคัญที่มีต่อปริมาณน้ำตาล(TSS)มากกว่าปัจจัยอื่นๆ รองลงมาคือปัจจัยที่ 2 มีความผันแปรรวมเท่ากับ 5.093 ซึ่งปัจจัยนี้สามารถอธิบายความผันแปรได้ร้อยละ 5.596 ส่วนปัจจัยที่สกัดได้ตามมาจะอธิบายความผันแปรของตัวแปรได้ลดน้อยลงเรื่อยๆ ในที่นี้จะพิจารณาถึงปัจจัยที่ 8 โดยที่ค่าสัดส่วนของการผันแปรรวมสะสมเท่ากับร้อยละ 100 สามารถพิจารณาค่าน้ำหนักปัจจัยได้จากตาราง 7

ตาราง 7 เมทริกซ์โครงสร้างปัจจัย(Component Structure Matrix)

	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
AB800	.915	.377	.144	-2.E-02	-1.3E-02	8.42E-04	8.7E-03	2.82E-03
AB805	.915	.381	.133	-1.E-02	-9.3E-03	8.47E-04	6.7E-03	2.03E-03
AB810	.917	.380	.124	-1.E-02	-7.2E-03	-1.8E-03	4.3E-03	2.08E-03
AB815	.917	.382	.113	-9.E-03	-4.3E-03	-1.0E-03	2.1E-03	1.26E-03
AB820	.912	.398	9.8E-02	-2.E-03	1.72E-03	8.38E-03	5.1E-04	-1.8E-03
AB825	.920	.382	8.3E-02	-9.E-04	2.96E-04	4.93E-03	-1.3E-03	-7.4E-04
AB830	.927	.368	6.9E-02	5.8E-04	-4.2E-04	3.53E-03	-2.5E-03	-1.4E-04
AB835	.933	.354	5.6E-02	1.5E-03	-6.0E-04	2.30E-03	-3.4E-03	2.44E-04
AB840	.936	.348	4.8E-02	2.7E-03	6.08E-05	1.56E-03	-3.7E-03	3.92E-05
AB845	.937	.347	3.9E-02	4.9E-03	1.44E-03	2.40E-03	-4.1E-03	-6.2E-04
AB850	.938	.346	3.1E-02	6.5E-03	2.81E-03	3.34E-03	-4.3E-03	-1.2E-03
AB855	.939	.344	2.3E-02	7.5E-03	4.09E-03	3.03E-03	-4.3E-03	-1.6E-03
AB860	.939	.342	1.5E-02	8.7E-03	5.87E-03	3.65E-03	-4.2E-03	-2.2E-03
AB865	.940	.340	7.8E-03	1.0E-02	7.13E-03	3.46E-03	-4.1E-03	-2.5E-03
AB870	.943	.332	1.5E-03	1.0E-02	7.18E-03	1.66E-03	-3.7E-03	-2.4E-03
AB875	.945	.326	-6.E-03	1.0E-02	7.70E-03	9.53E-04	-3.3E-03	-2.2E-03
AB880	.949	.316	-1.E-02	1.0E-02	7.27E-03	-8.4E-04	-2.7E-03	-1.8E-03
AB885	.952	.305	-2.E-02	9.6E-03	6.53E-03	-2.9E-03	-1.9E-03	-1.1E-03
AB890	.954	.298	-2.E-02	9.9E-03	6.84E-03	-3.4E-03	-1.1E-03	-7.9E-04
AB895	.958	.287	-3.E-02	9.1E-03	6.09E-03	-5.8E-03	-1.5E-04	3.14E-05
AB900	.961	.276	-3.E-02	8.4E-03	5.52E-03	-7.6E-03	6.9E-04	7.91E-04
AB905	.963	.267	-4.E-02	8.9E-03	5.00E-03	-7.9E-03	1.2E-03	1.32E-03
AB910	.967	.250	-4.E-02	8.2E-03	3.28E-03	-9.3E-03	1.9E-03	2.01E-03
AB915	.972	.230	-5.E-02	8.2E-03	9.27E-04	-9.5E-03	2.5E-03	2.34E-03
AB920	.978	.201	-5.E-02	7.8E-03	-2.6E-03	-9.6E-03	3.0E-03	2.53E-03
AB925	.986	.160	-5.E-02	7.5E-03	-7.6E-03	-1.0E-02	3.3E-03	2.48E-03
AB930	.992	.118	-5.E-02	7.6E-03	-1.2E-02	-8.0E-03	3.5E-03	1.97E-03
AB935	.996	6.8E-02	-5.E-02	7.7E-03	-1.6E-02	-7.6E-03	3.7E-03	1.13E-03
AB940	.999	1.8E-02	-4.E-02	8.9E-03	-1.9E-02	-7.0E-03	4.2E-03	-2.0E-04
AB945	.999	-3.E-02	-3.E-02	9.2E-03	-2.1E-02	-6.1E-03	4.4E-03	-1.6E-03
AB950	.996	-8.E-02	-2.E-02	1.1E-02	-2.2E-02	-5.5E-03	4.2E-03	-2.9E-03
AB955	.993	-.120	-1.E-02	3.9E-03	-1.4E-02	-4.6E-03	-3.5E-03	-1.4E-03
AB960	.988	-.154	2.8E-03	-5.E-03	-5.2E-03	-4.4E-03	-1.3E-02	9.60E-04
AB965	.986	-.164	5.9E-03	-6.E-03	-3.8E-03	-4.8E-03	-1.3E-02	8.68E-04
AB970	.987	-.162	5.8E-03	-7.E-03	-3.0E-03	-5.6E-03	-1.2E-02	8.37E-04
AB975	.987	-.163	6.7E-03	-9.E-03	-1.1E-03	-5.6E-03	-1.2E-02	7.14E-04
AB980	.988	-.154	4.2E-03	-8.E-03	-1.9E-03	-5.9E-03	-8.9E-03	-3.9E-04
AB985	.989	-.147	2.1E-03	-9.E-03	-2.1E-03	-6.0E-03	-7.1E-03	-1.1E-03
AB990	.990	-.138	1.2E-05	-1.E-02	-1.6E-03	-5.8E-03	-6.1E-03	-1.6E-03

Extraction Method: Principal Component Analysis.

	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
AB995	.992	-.128	-.003	-1.0E-02	-1.5E-03	-5.6E-03	-4.8E-03	-2.1E-03
AB1000	.993	-.115	-.007	-1.0E-02	-1.7E-03	-5.4E-03	-3.4E-03	-2.5E-03
AB1005	.995	-.100	-.011	-1.1E-02	-1.6E-03	-4.9E-03	-2.1E-03	-2.7E-03
AB1010	.996	-8.E-02	-.016	-1.1E-02	-1.5E-03	-4.3E-03	-1.1E-03	-2.7E-03
AB1015	.998	-6.E-02	-.022	-1.2E-02	-9.7E-04	-3.4E-03	-6.3E-05	-2.6E-03
AB1020	.999	-4.E-02	-.028	-1.2E-02	-1.3E-04	-2.4E-03	8.5E-04	-2.5E-03
AB1025	.999	-2.E-02	-.034	-1.1E-02	6.84E-04	-1.7E-03	1.4E-03	-2.1E-03
AB1030	.999	9.8E-04	-.039	-1.2E-02	2.10E-03	-8.8E-04	1.9E-03	-1.6E-03
AB1035	.999	2.0E-02	-.044	-1.1E-02	3.37E-03	-5.6E-04	2.3E-03	-1.1E-03
AB1040	.998	3.8E-02	-.048	-1.1E-02	4.68E-03	-4.7E-04	2.5E-03	-4.0E-04
AB1045	.997	5.2E-02	-.051	-1.0E-02	5.68E-03	-6.8E-04	2.5E-03	2.2E-04
AB1050	.996	6.4E-02	-.054	-1.0E-02	6.68E-03	-9.9E-04	2.5E-03	8.9E-04
AB1055	.996	7.4E-02	-.057	-9.7E-03	7.35E-03	-4.6E-04	2.6E-03	1.4E-03
AB1060	.995	8.0E-02	-.059	-8.9E-03	7.54E-03	1.35E-04	2.6E-03	1.8E-03
AB1065	.995	8.3E-02	-.061	-8.1E-03	7.59E-03	1.07E-03	2.6E-03	1.9E-03
AB1070	.994	8.4E-02	-.063	-7.4E-03	7.31E-03	2.36E-03	2.7E-03	1.9E-03
AB1075	.995	7.9E-02	-.064	-6.5E-03	6.25E-03	3.73E-03	2.6E-03	1.8E-03
AB1080	.995	7.0E-02	-.064	-5.8E-03	4.88E-03	5.25E-03	2.6E-03	1.6E-03
AB1085	.996	5.9E-02	-.064	-4.6E-03	3.35E-03	6.62E-03	2.5E-03	1.3E-03
AB1090	.997	4.5E-02	-.062	-4.0E-03	1.76E-03	8.14E-03	2.5E-03	8.5E-04
AB1095	.998	2.9E-02	-.060	-3.3E-03	-1.9E-05	9.30E-03	2.5E-03	5.4E-04
AB1100	.998	1.3E-02	-.058	-2.5E-03	-1.8E-03	1.04E-02	2.4E-03	1.9E-04
AB1105	.998	-5.E-03	-.055	-1.7E-03	-3.5E-03	1.10E-02	2.1E-03	1.3E-04
AB1110	.998	-2.E-02	-.051	-1.3E-03	-5.1E-03	1.17E-02	1.7E-03	1.6E-04
AB1115	.998	-5.E-02	-.045	-6.1E-04	-6.7E-03	1.25E-02	1.3E-03	-8.2E-05
AB1120	.996	-7.E-02	-.038	4.5E-04	-8.1E-03	1.32E-02	6.1E-04	-3.0E-04
AB1125	.993	-.113	-.028	2.5E-03	-9.0E-03	1.32E-02	-5.6E-04	-5.1E-04
AB1130	.988	-.154	-.016	4.2E-03	-9.0E-03	1.34E-02	-1.9E-03	-7.7E-04
AB1135	.981	-.194	-.004	5.9E-03	-7.4E-03	1.23E-02	-3.3E-03	4.8E-05
AB1140	.972	-.234	8.E-03	7.9E-03	-5.1E-03	1.11E-02	-4.9E-03	9.3E-04
AB1145	.967	-.255	2.E-02	8.1E-03	-3.1E-03	8.83E-03	-5.0E-03	1.8E-03
AB1150	.961	-.275	2.E-02	8.1E-03	-6.7E-04	5.89E-03	-5.0E-03	3.0E-03
AB1155	.958	-.284	3.E-02	7.2E-03	9.07E-04	4.12E-03	-4.3E-03	3.2E-03
AB1160	.957	-.287	3.E-02	5.9E-03	2.20E-03	1.85E-03	-2.9E-03	3.2E-03
AB1165	.956	-.291	4.E-02	5.1E-03	3.23E-03	4.36E-04	-2.1E-03	3.1E-03
AB1170	.956	-.292	4.E-02	4.1E-03	3.88E-03	-6.9E-04	-9.9E-04	2.6E-03
AB1175	.955	-.294	4.E-02	3.9E-03	4.61E-03	-1.4E-03	-2.0E-04	2.3E-03
AB1180	.955	-.294	4.E-02	3.7E-03	5.29E-03	-1.8E-03	5.3E-04	1.9E-03
AB1185	.954	-.296	4.E-02	3.2E-03	5.90E-03	-2.4E-03	1.2E-03	1.7E-03
AB1190	.954	-.298	4.E-02	3.0E-03	6.45E-03	-2.9E-03	1.8E-03	1.4E-03
AB1195	.953	-.299	4.E-02	2.9E-03	6.63E-03	-3.3E-03	2.4E-03	9.8E-04

Extraction Method: Principal Component Analysis.

	Component							
	1	2	3	4	5	6	7	8
AB1195	.953	-.299	4.E-02	2.93E-03	6.6E-03	-3.3E-03	2.42E-03	9.8E-04
AB1200	.953	-.299	4.E-02	2.35E-03	6.8E-03	-3.6E-03	3.14E-03	5.3E-04
AB1205	.953	-.300	4.E-02	2.58E-03	6.6E-03	-3.7E-03	3.59E-03	6.2E-05
AB1210	.953	-.299	4.E-02	2.61E-03	6.2E-03	-3.4E-03	4.04E-03	-5.E-04
AB1215	.953	-.299	4.E-02	2.67E-03	5.8E-03	-2.9E-03	4.49E-03	-9.E-04
AB1220	.953	-.298	4.E-02	2.84E-03	5.2E-03	-2.1E-03	4.84E-03	-1.E-03
AB1225	.954	-.297	4.E-02	3.22E-03	4.7E-03	-1.5E-03	5.20E-03	-2.E-03
AB1230	.954	-.296	4.E-02	3.30E-03	4.3E-03	-7.8E-04	5.64E-03	-2.E-03
AB1235	.955	-.295	4.E-02	3.85E-03	3.7E-03	-1.6E-04	6.04E-03	-2.E-03
AB1240	.955	-.293	4.E-02	4.20E-03	3.0E-03	5.25E-04	6.46E-03	-3.E-03
AB1245	.956	-.292	4.E-02	4.65E-03	2.6E-03	8.69E-04	7.03E-03	-3.E-03
AB1250	.956	-.291	4.E-02	5.76E-03	2.0E-03	8.36E-04	7.66E-03	-3.E-03

Extraction Method: Principal Component Analysis.

จากตาราง 7 เป็นค่าน้ำหนักปัจจัยที่สกัดโดยวิธี PCA ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่ 1 เป็นปัจจัยที่ประกอบด้วยน้ำหนักปัจจัยของแต่ละตัวแปรมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นต่างๆ มีส่วนประกอบหลักอยู่ที่ปัจจัยที่ 1 ในขณะที่ปัจจัยที่ 2 มีค่าน้ำหนักปัจจัยรองลงมา เมื่อพิจารณาน้ำหนักที่ความยาวคลื่นช่วงต่างๆ พบว่าในปัจจัยนี้ประกอบไปด้วยความยาวคลื่นในช่วง 800 นาโนเมตร ถึง 885 นาโนเมตรซึ่งมีค่าน้ำหนักอยู่ในระดับเดียวกันและมีค่าเกิน 0.3 หลังจากนั้นปัจจัยที่สกัดรองลงมามีค่าน้ำหนักปัจจัยน้อยกว่า 0.3 เมื่อพิจารณาที่ปัจจัยที่ 3 พบว่าในช่วงความยาวคลื่นที่ 800 ถึง 815 นาโนเมตรจะมีน้ำหนักปัจจัยมากที่สุดในปัจจัยนี้ และสำหรับปัจจัยอื่นๆ นั้นจะมีค่าน้ำหนักปัจจัยน้อย ซึ่งแสดงว่าในปัจจัยนั้นมีส่วนประกอบของความยาวคลื่นเพียงเล็กน้อยและในส่วนประกอบเหล่านี้จะมีความสำคัญกับการพยากรณ์หาปริมาณน้ำตาลหรือไม่ ขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการวิเคราะห์การถดถอยในหัวข้อ 4.2.2

เมื่อได้ปัจจัยแล้วขั้นตอนต่อไปคือ การนำน้ำหนักปัจจัยที่ได้ไปคำนวณหาสัมประสิทธิ์คะแนนปัจจัยเพื่อหาคะแนนปัจจัยสำหรับใช้เป็นตัวแทนของปัจจัยต่างๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์การถดถอยต่อไป

ตาราง 8 เมทริกซ์ค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานคะแนนปัจจัย (Standardize Component Score Matrix)

	ปัจจัย							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A800	0.011	0.074	0.678	-3.244	-3.127	0.271	4.728	10.098
A805	0.011	0.075	0.630	-2.657	-2.256	0.272	3.620	7.272
A810	0.011	0.075	0.585	-2.328	-1.743	-0.567	2.313	7.443
A815	0.011	0.075	0.532	-1.736	-1.040	-0.324	1.119	4.529
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
A1250	0.011	-0.057	0.178	1.071	0.498	0.269	4.151	-11.819

หมายเหตุ ตารางที่สมบูรณ์อยู่ในภาคผนวก

จากเมทริกซ์ค่าสัมประสิทธิ์มาตรฐานคะแนนปัจจัย สามารถหาคะแนนปัจจัยทั้ง 8 ปัจจัยได้ดังนี้

$$\text{fac1} = 0.011*Z_{800} + 0.011*Z_{805} + 0.011*Z_{810} + 0.011*Z_{815} + \dots + 0.011*Z_{1250}$$

$$\text{fac2} = 0.074*Z_{800} + 0.075*Z_{805} + 0.075*Z_{810} + 0.075*Z_{815} + \dots - 0.057*Z_{1250}$$

$$\text{fac3} = 0.678*Z_{800} + 0.630*Z_{805} + 0.585*Z_{810} + 0.532*Z_{815} + \dots + 0.178*Z_{1250}$$

$$\text{fac4} = -3.244*Z_{800} - 2.657*Z_{805} - 2.328*Z_{810} - 1.736*Z_{815} + \dots + 1.071*Z_{1250}$$

$$\text{fac5} = -3.127*Z_{800} - 2.256*Z_{805} - 1.743*Z_{810} - 1.040*Z_{815} + \dots + 0.498*Z_{1250}$$

$$\text{fac6} = 0.271*Z_{800} + 0.272*Z_{805} - 0.567*Z_{810} + 0.324*Z_{815} + \dots + 0.269*Z_{1250}$$

$$\text{fac7} = 4.728*Z_{800} + 3.620*Z_{805} + 2.313*Z_{810} + 1.119*Z_{815} + \dots + 4.151*Z_{1250}$$

$$\text{fac8} = 10.098*Z_{800} + 7.272*Z_{805} + 7.443*Z_{810} + 4.529*Z_{815} + \dots - 11.819*Z_{1250}$$

เมื่อ fac1 คือ คะแนนปัจจัยจากปัจจัยตัวที่ 1

fac2 คือ คะแนนปัจจัยจากปัจจัยตัวที่ 2

fac3 คือ คะแนนปัจจัยจากปัจจัยตัวที่ 3

fac4 คือ คะแนนปัจจัยจากปัจจัยตัวที่ 4

fac5 คือ คะแนนปัจจัยจากปัจจัยตัวที่ 5

fac6 คือ คะแนนปัจจัยจากปัจจัยตัวที่ 6

fac7 คือ คะแนนปัจจัยจากปัจจัยตัวที่ 7

fac8 คือ คะแนนปัจจัยจากปัจจัยตัวที่ 8

Z_i คือ คะแนนมาตรฐานของตัวแปรที่ i เมื่อ $i = 800, 805, \dots, 1250$

ดังนั้นจะได้คะแนนปัจจัยจากปัจจัยทั้งหมดเป็น 8 ตัวแปร คือตัวแปร fac1, fac2, ..., fac8 ในแต่ละกรณี จากกระบวนการ PCA สามารถลดจำนวนตัวแปรจากความยาวคลื่น 91 ความยาวคลื่น (800 ถึง 1250 นาโนเมตร) เหลือเพียงปัจจัยเพียง 8 ปัจจัย

4.2.2 การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก สามารถสกัดปัจจัยได้ในแต่ละจำนวนต่างๆ เมื่อนำคะแนนปัจจัยที่สกัดได้เหล่านั้นมาหาความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลได้ค่าสถิติดังนี้

ตาราง 9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคะแนนปัจจัยกับปริมาณน้ำตาล

	fac1	fac2	fac3	fac4	fac5	fac6	fac7	fac8
TSS	0.136	-0.014	-0.636	0.252	0.133	-0.223	-0.149	-0.163

จากตาราง 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนปัจจัยกับปริมาณน้ำตาลพบว่าคะแนนปัจจัยจากปัจจัยที่ 3 มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลมากที่สุด มีทิศทางความสัมพันธ์เป็นไปในทางตรงกันข้าม รองลงมาคือคะแนนปัจจัยที่ 4 จากคะแนนปัจจัยที่ได้นำมาหาสมการถดถอยโดยวิธี Stepwise ได้สมการพยากรณ์และค่าสถิติดังนี้

ตาราง 10 ค่าสถิติในการพยากรณ์ปริมาณน้ำตาลจากคะแนนปัจจัยในแต่ละสมการ

สมการ ที่	ตัวแปร	R^2	R_a^2	SE	PRESS	F	Sig.F
1	fac3, fac4, fac6	0.517	0.492	1.8373	218.16	20.016	0.000
2	fac3, fac4, fac6, fac8 , fac1fac8 ¹ ,	0.637	0.603	1.6233	171.43	18.932	0.000

¹ fac1fac8 คือ fac1*fac8

สมการทั้ง 2 อาจแสดงได้ดังนี้

สมการที่ 1

$$TSS = 12.903 - 1.638 * fac3 + 0.649 * fac4 - 0.575 * fac6$$

สมการที่ 2

$$TSS = 12.903 - 1.635 * fac3 - 0.727 * fac6 + 0.547 * fac4 - 0.443 * fac8 - 0.824 * fac1 * fac8$$

เมื่อได้เส้นสมการการถดถอยแล้ว ทำการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการพยากรณ์ทั้ง 2 สมการ

ตาราง 11 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการจากค่าความคลาดเคลื่อน

สมการ	ตัวแปร	Mean Residual	Sig.Kolmogorov- Smirnov	Durbin –Watson
1	fac3,fac4,fac6	$1.391 * 10^{-15}$	0.200	1.746
2	fac3,fac4,fac6, fac8,fac1fac8	$6.217 * 10^{-16}$	0.103	1.819

การตรวจสอบความเหมาะสมของเส้นพยากรณ์

ผลการตรวจสอบเส้นสมการพยากรณ์ทั้ง 2 สมการ พบว่า

ก.) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากเข้าใกล้ 0

ข.) ค่า sig จากสถิติ Kolmogorov-Smirnov มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ค.) สมการทั้ง 2 สมการ มีค่า Durbin –Watson เข้าใกล้ 2 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยเป็นอิสระกัน

ง.) เมื่อพิจารณาแผนภาพการกระจายระหว่างค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการกับค่าความคลาดเคลื่อนมีลักษณะกระจายมากแสดงว่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่ ทำการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยถ่วงน้ำหนักตัวแปรตาม (TSS) ด้วย

$$\frac{1}{(\text{ความคลาดเคลื่อน})^2} \quad \text{ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากคำสั่ง Weighted Least Square ดัง}$$

ตาราง 12

ตาราง 12 ค่าสถิติในการพยากรณ์ปริมาณน้ำตาจากคะแนนปัจจัยของแต่ละสมการเมื่อถ่วงน้ำหนักแล้ว

สมการที่	ตัวแปร	R^2	R_a^2	SE	PRESS	F	Sig.F
1	fac3, fac4, fac6	0.855	0.847	1.0172	194.12	110.176	0.000
2	fac3, fac4, fac6, fac8 , fac1fac8,	0.912	0.904	1.0456	151.02	112.599	0.000

สมการทั้ง 2 อาจแสดงได้ดังนี้

สมการที่ 1

$$TSS = 12.886 - 1.735 * fac3 + 0.671 * fac4 - 0.561 * fac6$$

สมการที่ 2

$$TSS = 12.884 - 1.555 * fac3 - 0.710 * fac6 + 0.563 * fac4 - 0.419 * fac8 - 0.812 * fac1fac8$$

เมื่อทราบค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น λ (A_λ) จะสามารถหาค่า fac1 ถึง fac8 จากสมการที่ได้จากตาราง 8 แทนค่าในสมการพยากรณ์ TSS จะได้ค่า TSS จากการพยากรณ์ในแต่ละกรณี

จากตาราง 12 พบว่าสมการที่ 2 เป็นสมการที่ดีกว่าสมการที่ 1 เนื่องจากมีค่า R_a^2 สูงกว่าและมีค่า PRESS น้อยกว่า โดยที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.912 แสดงว่าสมการนี้สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำตาได้ถูกต้อง 91.2 % และมีค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ 1.0456

ตาราง 13 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการจากค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อถ่วงน้ำหนักแล้ว

สมการ	ตัวแปร	Mean Residual	Sig.Kolmogorov- Smirnov	Durbin –Watson
1	fac3,fac4,fac6	0.01750	0.200	1.822
2	fac3,fac4,fac6, fac8,fac1fac8	0.01942	0.091	1.855

การตรวจสอบความเหมาะสมของเส้นพยากรณ์

ผลการตรวจสอบเส้นสมการพยากรณ์ทั้ง 2 สมการ พบว่า

ก.) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากเข้าใกล้ 0

ข.) ค่า sig จากสถิติ Kolmogorov-Smirnov มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

ค.) สมการทั้ง 2 สมการ มีค่า Durbin -Watson เข้าใกล้ 2 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยเป็นอิสระกัน

ง.) เมื่อพิจารณาแผนภาพการกระจายระหว่างค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการกับค่าความคลาดเคลื่อนมีลักษณะกระจายอยู่ในช่วงแคบๆ แสดงว่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่

4.2.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลจากสมการcalibration กับปริมาณน้ำตาลที่วัดจากการรวมวิธีทางเคมี

จากสมการพยากรณ์ทั้ง 2 สมการนี้นำมาทำ validation คือพยากรณ์ข้อมูลจากตัวอย่างที่เหลือจำนวน 60 ตัวอย่าง โดยการหาคะแนนปัจจัยจากข้อมูลชุดใหม่แล้วนำไปใส่ในสมการได้ค่าปริมาณน้ำตาล และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้กับปริมาณน้ำตาลจากการวัดทางเคมีได้ค่าความสัมพันธ์และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการพยากรณ์ดังตาราง 14

ตาราง 14 ลักษณะข้อมูลโดยทั่วไปของปริมาณน้ำตาลที่วัดได้โดยกรรมวิธีทางเคมีและปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการพยากรณ์

ตัวแปร	minimum	maximum	mean	Std. Deviation
TSS(เคมี)	8.20	17.40	12.74	2.36
TSS จากสมการที่ 1	9.36	18.54	12.89	1.94
TSS จากสมการที่ 2	8.64	18.82	12.88	2.10

ข้อมูลตัวอย่างชุดนี้ มีค่าปริมาณน้ำตาลเฉลี่ย 12.74 °Brix มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.20 °Brix สูงสุดเท่ากับ 17.40 °Brix ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.36 ส่วนค่าปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้จากสมการที่ 1 มีค่าเฉลี่ย 12.89 °Brix ค่าต่ำสุดเท่ากับ 9.36 °Brix สูงสุด 18.54 °Brix ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.94 °Brix แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากการรวมวิธีทางเคมี ค่าปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้จากสมการที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 12.88 ค่าต่ำสุดเท่ากับ

กับ 8.64 °Brix ค่าสูงสุด 18.82 °Brix ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.0981 มีการกระจายของข้อมูลน้อยกว่าข้อมูลที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมีแต่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน

ตาราง 15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของTSSกับค่าพยากรณ์ของ TSS

สมการ	r	SEP	BIAS	CV%
สมการที่1	0.570**	2.0316	-0.1427	15.9425
สมการที่ 2	0.661**	1.8508	-0.1407	14.5473

** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

จากตาราง 15 พบว่าปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้จากสมการกับปริมาณน้ำตาลที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมี มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 99 % โดยที่สมการที่ 1 ปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้กับปริมาณน้ำตาลที่วัดได้ทางกรรมวิธีทางเคมีมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 0.570 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในทิศทางเดียวกันในระดับปานกลางและค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์เท่ากับ 2.0316 ความเอนเอียงในการพยากรณ์ครั้งนี้เท่ากับ -0.1427 และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันร้อยละ 15.9425 ในสมการที่ 2 มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.661 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันในระดับปานกลางค่อนข้างสูง มีค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์เท่ากับ 1.8508 ความเอนเอียงในการพยากรณ์เท่ากับ -0.1407 และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันร้อยละ 14.5473

จากค่าสถิติในตาราง 15 อาจสรุปได้ว่าสมการที่ 2 มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำตาลมากกว่าสมการที่ 1 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใกล้เคียงกันแต่สมการที่ 2 มีค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์น้อยกว่า และมีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรน้อยกว่า แสดงว่าสมการที่ 2 สามารถพยากรณ์ได้ดีกว่าสมการที่ 1

เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของ ปริมาณน้ำตาลที่วัดได้ทางกรรมวิธีทางเคมีกับปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้ ในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีขึ้น จึงถ่วงน้ำหนักตัวแปรตาม (TSS) ด้วย

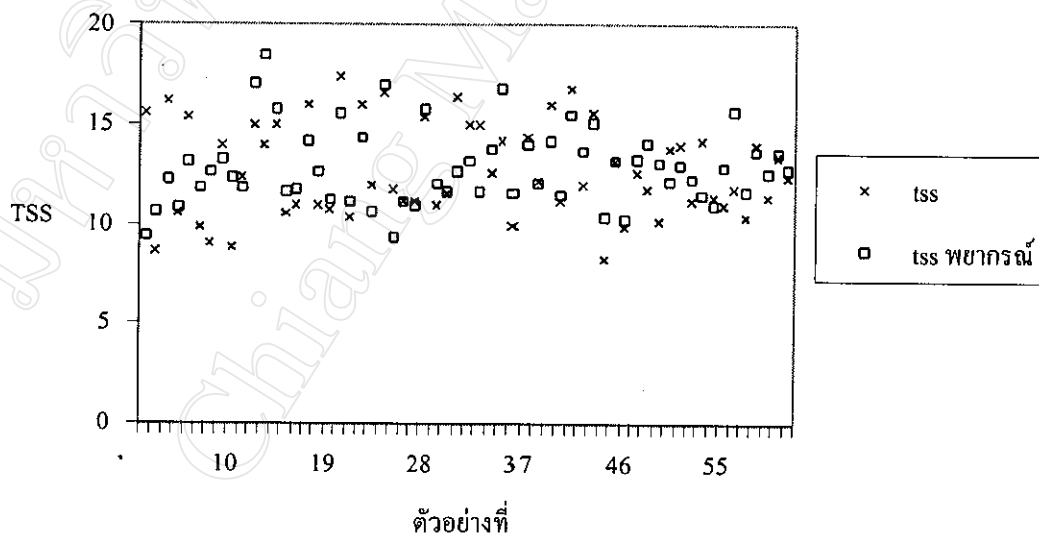
$\frac{1}{(\text{ความคลาดเคลื่อน})^2}$ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากค่าตั้ง Weighted Least Square เพื่อปรับเส้นพยากรณ์ ปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้ จากปริมาณน้ำตาลที่วัดได้จริง ให้เป็นเส้นที่ดีขึ้น ได้ค่าสถิติดังตาราง

ตาราง 16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานระหว่าง TSS กับค่าพยากรณ์ของ TSS เมื่อปรับด้วยค่าความคลาดเคลื่อน

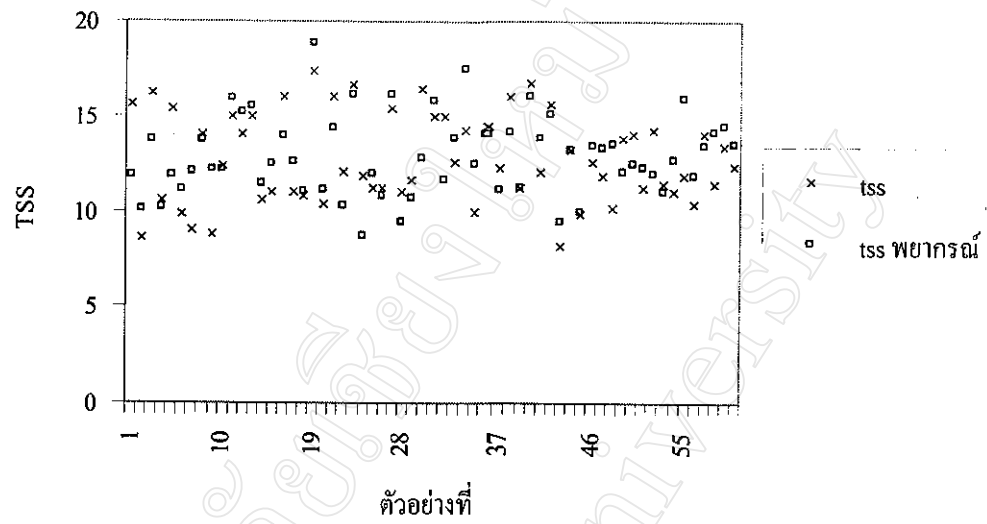
สมการ	r	SEP	BIAS	CV%
สมการที่ 1	0.998**	1.5965	-0.00627	12.5268
สมการที่ 2	0.996**	1.5751	-0.00288	12.3602

** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณน้ำตลที่พยากรณ์ได้จากสมการที่ 1 กับปริมาณน้ำตลที่วัดได้ทางกรรมวิธีทางเคมี มีความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อปรับด้วยค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว ได้ค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.998 ใกล้เคียงกับความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำตลที่ได้จากสมการที่ 2 กับปริมาณน้ำตลที่วัดได้ด้วยกรรมวิธีทางเคมี ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.996 แต่ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าความเอนเอียงของสมการที่ 2 น้อยกว่า ดังนั้นสมการที่ 2 จึงเหมาะสมในการนำมาพยากรณ์ปริมาณน้ำตล



ภาพที่ 7 ปริมาณน้ำตลที่วัดจากกรรมวิธีทางเคมีเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตลที่พยากรณ์ได้จากสมการที่ 1



ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำตลที่วัดจากกรรมวิธีทางเคมีเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตลที่พยากรณ์ได้จาก
สมการที่ 2

4.3 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในช่วงต่างๆ ด้วยวิธี การถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลด้วยวิธี PCR เป็นการเลือกความยาวคลื่นทุกๆ ความยาวคลื่นในช่วงที่เหมาะสมมาพยากรณ์หาปริมาณน้ำตาล ซึ่งวิธีการคำนวณทำได้ช้าและต้องใช้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิค PCA ที่มีคามซับซ้อน ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเทคนิควิธีการพยากรณ์หาปริมาณน้ำตาลจากค่าการดูดกลืน โดยการเพิ่มวิธีการของ Inverse Least Square Regression เข้าไปโดยใช้ Backward ได้ค่าสถิติดังตาราง

4.3.1 การหาสมการพยากรณ์ปริมาณน้ำตาลในช่วงต่างๆ ด้วยวิธี การถดถอยพหุคูณ

ตาราง 17 ค่าสถิติในการพยากรณ์ปริมาณน้ำตาลจากค่าการดูดกลืน

สมการ ที่	ตัวแปร	R ²	R _a ²	SE	PRESS	F	Sig.F
1	A800, A820, A950 , A995, A1100, A1385, A1450	0.649	0.602	1.6254	184.11	13.754	0.000

สมการอาจแสดงได้ดังนี้

สมการที่ 1

$$\text{TSS} = 20.661 - 279.105 * \text{A800} + 269.333 * \text{A820} - 156.001 * \text{A950} + 126.562 * \text{A995} - 208.501 * \text{A1100} - 1677.678 * \text{A1385} + 103.223 * \text{A1450}$$

เมื่อได้เส้นสมการการถดถอยแล้ว ทำการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการพยากรณ์

ตาราง 18 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการจากค่าความคลาดเคลื่อน

สมการ	ตัวแปร	Mean Residual	Sig.Kolmogorov- Smirnov	Durbin –Watson
1	A800, A820, A950 , A995, A1100, A1385, A1450	-4.2197*10 ⁻¹³	0.200	1.631

การตรวจสอบความเหมาะสมของเส้นพยากรณ์

ผลการตรวจสอบเส้นสมการพยากรณ์ พบว่า

- ก.) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากเข้าใกล้ 0
- ข.) ค่า sig จากสถิติ Kolmogorov-Smirnov มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ
- ค.) สมการ มีค่า Durbin -Watson ไม่เข้าใกล้ 2 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยไม่เป็นอิสระกัน
- ง.) เมื่อพิจารณาแผนภาพการกระจายระหว่างค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการกับค่าความคลาดเคลื่อนมีลักษณะกระจายมากแสดงว่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่

แก้ปัญหาข้อ ค. และข้อ ง. ดังกล่าว ด้วยการทำ differences ของค่าการดูดกลืน $A_t - A_{t-1}$ หรือ เรียกว่า First Differences เพื่อปรับเส้นถดถอยให้เรียบขึ้น แล้วนำค่านี้ไปใช้เป็นตัวแปรอิสระในคำสั่ง Regression

ตัวอย่างการทำ differencing

case	A_{800}	dA_{800}	A_{805}	$dA_{805} \dots A_{1700}$	dA_{1700}
1	-7.82	.	-7.81	-8.59	.
2	-8.13	1.44	-8.13	1.47-8.97	0.38
3	-8.30	-1.88	-8.29	-1.91-8.6	-0.35
4	-8.17	0.12	-8.17	0.13-8.99	0.37

นำข้อมูลที่ได้จากการทำ differences มาวิเคราะห์ความถดถอยด้วยวิธี Backward และแก้ปัญหาค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนไม่คงที่โดยหาค่าถ่วงน้ำหนักด้วยวิธี Weighted Least Square ได้ค่าถ่วงน้ำหนักเป็น $\frac{1}{(\text{ความคลาดเคลื่อน})^2}$ แล้วนำค่านี้มาใช้ถ่วงน้ำหนักตัวแปรตาม ในคำสั่ง Regression ได้สมการพยากรณ์ใหม่มีค่าสถิติในการพยากรณ์ดังตาราง 19

ตาราง 19 ค่าสถิติในการพยากรณ์ปริมาณน้ำตลค่าการดูดกลืนเมื่อทำ differences แล้ว

สมการ ที่	ตัวแปร	R^2	R_a^2	SE	PRESS	F	Sig.F
2	d(A800), d(A820), d(A950), d(A995),	0.935	0.931	1.3534	170.37	198.52	0.000
3	d(A1090), d(A1045), d(A865)	0.922	0.851	1.9618	522.52	106.39	0.000

สมการที่ 2

$$TSS = 12.838 - 84.120 * d(A800) + 76.164 * d(A820) + 41.705 * d(A950)$$

$$32.159 * d(A995)$$

สมการที่ 3

$$d(TSS) = -0.05973 + 1059.170 * d(A1090) - 1065.865 * d(A1045) + 12.622 * d(A865)$$

เมื่อ $d(TSS)$ คือ การหาผลต่าง(differences) ระหว่าง $TSS_i - TSS_{i-1}$

$d(A_\lambda)$ คือ การหาผลต่าง(differences) ระหว่าง $A_i - A_{i-1}$

จากตาราง 19 จะเห็นว่าสมการที่ 2 มีค่า R_a^2 มากกว่า สมการที่ 1 ในตาราง 17 และ มากกว่า สมการที่ 3 นอกจากนี้ยังมีค่า PRESS น้อยกว่าสมการที่ 1 และ 3 ซึ่งสมควรเลือกสมการที่ 2 ในการพยากรณ์หาปริมาณน้ำตล ตรวจสอบความเหมาะสมของสมการที่ 2 และ 3 ได้ค่าสถิติ

ตาราง 20 การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการเมื่อทำ differences แล้ว

สมการ	ตัวแปร	Mean Residual	Sig.Kolmogorov- Smirnov	Durbin – Watson
2	d(A800), d(A820), d(A950), d(A995)	-0.079714	0.200	1.998
3	d(A1090), d(A1045), d(A865)	-0.032592	0.200	2.548

การตรวจสอบความเหมาะสมของเส้นพยากรณ์

ผลการตรวจสอบเส้นสมการพยากรณ์ พบว่า

- ก.) ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากเข้าใกล้ 0
- ข.) ค่า Sig จากสถิติ Kolmogorov-Smirnov มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ
- ค.) สมการที่ 2 มีค่า Durbin – Watson เข้าใกล้ 2 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยเป็นอิสระกัน สมการที่ 3 มีค่ามากกว่า 2 แสดงว่าค่าคลาดเคลื่อนไม่เป็นอิสระ
- ง.) เมื่อพิจารณาแผนภาพการกระจายระหว่างค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการกับค่าความคลาดเคลื่อนมีลักษณะกระจายอยู่ในช่วงที่แคบๆ แสดงว่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนคงที่

ดังนั้นสมการที่ 2 เป็นสมการที่มีความเหมาะสม ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำตาล มีค่า R^2 เท่ากับ 0.935 ค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.3534 เป็นสมการที่สามารถพยากรณ์ได้ดี

4.3.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลจากสมการcalibration กับปริมาณน้ำตาลที่วัดจากกรรมวิธีทางเคมี

จากสมการพยากรณ์ที่ได้นำมาทำ validation คือพยากรณ์ข้อมูลจากตัวอย่างที่เหลือจำนวน 60 ตัวอย่าง ด้วยสมการพยากรณ์จาก สมการที่ 2 หาผลต่าง (differences) ของการดูดกลืนของความยาวคลื่น 800, 820, 950 และ 995 นาโนเมตร โดยหาผลต่างระหว่างค่าการดูดกลืนของตัวอย่างใหม่กับค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนของกลุ่ม calibration ดังตัวอย่าง

ความยาวคลื่น λ	ค่าการดูดกลืน A_λ	ค่าเฉลี่ยจากกลุ่ม calibration	$d(A_\lambda)$
800	-6.38	-7.95	$-6.38 - (-7.95) = 1.57$
820	-6.19	-7.92	$-6.19 - (-7.92) = 1.73$
950	-7.85	-8.22	$-7.85 - (-8.22) = 0.37$
995	-7.90	-8.29	$-7.90 - (-8.29) = 0.39$

นำค่า $d(A_\lambda)$ ใส่ในสมการเพื่อพยากรณ์ค่าปริมาณน้ำตาล จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้กับปริมาณน้ำตาลจากการวัดทางเคมีได้ค่าความสัมพันธ์และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานจากการพยากรณ์ดังตาราง 21

ตาราง 21 ลักษณะข้อมูลโดยทั่วไปของปริมาณน้ำตาลที่วัดได้โดยกรรมวิธีทางเคมีและปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการพยากรณ์

ตัวแปร	minimum	maximum	mean	Std. Deviation
TSS(เคมี)	8.20	17.40	12.74	2.36
TSS จากสมการที่ 2	8.03	19.86	12.64	2.58

ข้อมูลตัวอย่างชุดนี้ มีค่าปริมาณน้ำตาลเฉลี่ย 12.7433 °Brix มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.20 °Brix สูงสุดเท่ากับ 17.40 °Brix ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.36 ส่วนค่าปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้จากสมการที่ 2 มีค่าเฉลี่ย 12.64 ค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.03 °Brix ค่าสูงสุด 19.86 °Brix ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.58 มีการกระจายของข้อมูลมากกว่าข้อมูลที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมีเพียงเล็กน้อย

ตาราง 22 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานระหว่าง TSS กับ ค่าพยากรณ์ของ TSS

สมการ	r	SEP	BIAS	CV%
สมการที่ 2	0.663**	1.6495	0.01731	12.9441

** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

จากตาราง 22 พบว่าปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้จากสมการกับปริมาณน้ำตาลที่ได้จากกรรมวิธีทางเคมี มีความสัมพันธ์เชิงเส้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 หรือที่ช่วงความเชื่อมั่น 99 % ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.663 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันค่อนข้างสูง มีค่าคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์เท่ากับ 1.6495 ความเอนเอียงในการพยากรณ์เท่ากับ 0.01731 และมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันร้อยละ 12.9441

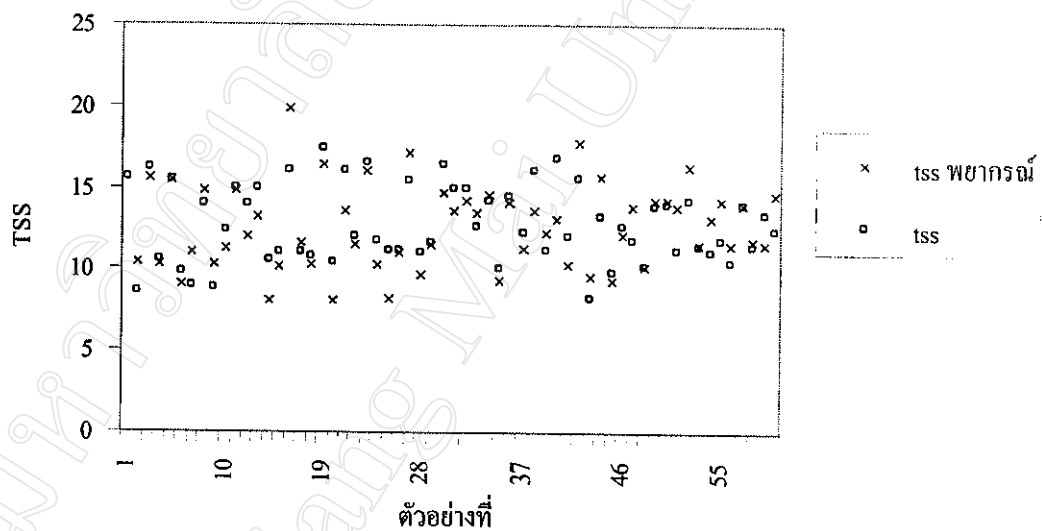
เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของ ปริมาณน้ำตาลที่วัดได้ทางกรรมวิธีทางเคมีกับปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้ ในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีขึ้น จึงถ่วงน้ำหนักตัวแปรตาม (TSS) ด้วย

$\frac{1}{(\text{ความคลาดเคลื่อน})^2}$ ซึ่งเป็นค่าที่หาได้จากคำสั่ง Weighted Least Square เพื่อปรับเส้นพยากรณ์ปริมาณน้ำตาลที่พยากรณ์ได้จากปริมาณน้ำตาลที่วัดได้จริงให้เป็นเส้นที่ดีขึ้นได้ค่าสถิติดังตาราง 23

ตาราง 23 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานระหว่าง TSS กับค่าพยากรณ์ของ TSS เมื่อปรับด้วยค่าความคลาดเคลื่อน

สมการ	r	SEP	BIAS	CV%
สมการที่ 2	0.991**	0.9985	-0.013046	7.8354

ปริมาณน้ำตาที่พยากรณ์ได้จากสมการที่ 2 กับปริมาณน้ำตาที่วัดได้ทางกรรมวิธีทางเคมี มีความสัมพันธ์เชิงเส้น เมื่อปรับด้วยความคลาดเคลื่อนแล้ว ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.991 มีค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณเท่ากับ 0.9985 มีค่าความเอนเอียงเท่ากับ -0.013046 และมีสัมประสิทธิ์ความแปรผันเท่ากับ 7.8354



ภาพที่ 9 ปริมาณน้ำตาที่วัดจากกรรมวิธีทางเคมีเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำตาที่พยากรณ์ได้จากสมการที่ 2
สามารถเขียนสมการในรูปแบบการสะท้อนแสงได้ดังนี้

$$TSS = 12838 - 84120 \cdot d(\log I/R_{800}) + 76164 \cdot d(\log I/R_{820}) + 4170 \cdot d(\log I/R_{950}) - 32159 \cdot d(\log I/R_{995})$$

เมื่อ R_λ : ค่าการสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่น λ