บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ โดยใช้ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เป็นเกณฑ์ ด้วยวิธีการพยากรณ์เดี่ยว 8 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) และวิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) และวิธีการพยากรณ์ร่วม โดยการใช้น้ำหนักเฉลี่ยของ Newbold และ Granger 2 แบบ ในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาทางการศึกษาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย หนังสือภาษาอังกฤษ และวิทยานิพนธ์ และข้อมูลอนุกรมเวลาทางการศึกษาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ จำนวนครูวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยแยกนำเสนอเป็น 6 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล
ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีการพยากรณ์เดี่ยว
ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วม
ตอนที่ 5 ผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์
ตอนที่ 6 ผลการพยากรณ์ล่วงหน้า

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทั่วไปของข้อมูลเบื้องต้น โดยผู้วิจัยได้นำเสนอค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าความเบ้ (SK) ค่าความโด่ง (KU) ค่าสูงสุด (MAX) ค่าต่ำสุด (MIN) และค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (C.V.) โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล 3 ชุด ได้แก่ ปริมาณการยืมหนังสือ 3 ประเภท คือ หนังสือภาษาไทย (BOOK1) หนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) พบว่า วิทยานิพนธ์ (BOOK3) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ส่วนหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เมื่อ

พิจารณาค่าความเบ้และค่าความโด่ง พบว่าค่าความเบ้ของข้อมูลทั้งสามนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีการแจกแจงที่มีลักษณะใกล้เคียงโค้งปกติ แต่ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) มีค่าความโด่งสูง เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การกระจาย พบว่าปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) มีการกระจายสูงสุด และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) มีการกระจายต่ำสุด และข้อมูลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล 2 ชุด ได้แก่ จำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) พบว่าตัวแปรจำนวนครูวิทยาศาสตร์(TEACH1) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) ค่าความเบ้และค่าความโด่ง พบว่าตัวแปรทั้งสองมีการแจกแจงเป็นโค้งเบ้ทางขวามีค่าความโด่งสูงกว่าโค้งปกติ เมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การกระจายพบว่าตัวแปรจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) มีการกระจายมากกว่าจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) ดังตาราง 14

ตาราง 14 ค่าสถิติพื้นฐานของตัวแปร

ตัวแปร	N	$\bar{X}$	S.D.	SK	KU	MIN	MAX	C.V.
BOOK1	65	3108.43	1726.55	-0.150	-0.918	84	6620	55.54
BOOK2	65	465.66	211.32	0.207	-0.107	16	937	45.38
BOOK3	65	7225.74	2719.67	-0.277	-0.493	1310	12313	37.64
TEACH1	14	14138.71	2022.52	0.746	-1.093	12047	17595	14.30
TEACH2	14	9840.36	1100.79	0.896	-0.759	8865	11892	11.19

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิจัยในตอนนี้ เพื่อให้ทราบลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลอนุกรมเวลาทั้ง 5 ชุด โดยผู้วิจัยแยกนำเสนอออกเป็น 2 ตอน ตอนแรก ตรวจสอบโดยการพล็อตกราฟ ตอนที่สอง ตรวจสอบโดยการวิเคราะห์การถดถอย มีดังนี้

ตอนที่ 2.1 ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้ม และการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลโดยการพล็อตกราฟ

การตรวจสอบในตอนนี้เป็นการนำค่าสังเกตของข้อมูลอนุกรมเวลาทั้ง 5 ชุด ที่เสนอไว้ในตาราง 15-19 มาพล็อตกราฟ พบว่าข้อมูลรายเดือน คือ ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) มีแนวโน้มเส้นโค้งและฤดูกาล ดังภาพที่ 10 ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) มีแนวโน้มเส้นตรงและฤดูกาล ดังภาพที่ 11–12 ตามลำดับ

ส่วนข้อมูลรายปี คือ จำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) มีแนวโน้มเป็นเส้นโค้ง ดังภาพที่ 13-14

เมื่อพิจารณาลักษณะของข้อมูลโดยคร่าว ๆ จากกราฟแล้ว ขั้นต่อไปก็จะพิจารณาลักษณะของข้อมูลโดยการวิเคราะห์การถดถอย

ตอนที่ 2.2 ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้ม และการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล โดยการวิเคราะห์การถดถอย

การตรวจสอบในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยแบ่งเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรกเป็นการตรวจสอบข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) หนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) ตอนที่ 2 เป็นการตรวจสอบข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 2.2.1 การตรวจสอบข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) หนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) ข้อมูลอนุกรมเวลาทั้ง 3 ชุดนี้ เป็นข้อมูลอนุกรมเวลารายเดือน ผู้วิจัยจึงตรวจสอบว่าข้อมูลอนุกรมเวลาทั้ง 3 ชุดนี้มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและ/หรือการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลหรือไม่ โดยตรวจสอบทั้งรูปแบบแบบบวกและรูปแบบแบบคูณ ซึ่งมีขั้นตอนการตรวจสอบ 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกตรวจสอบว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มหรือไม่ ขั้นที่สองตรวจสอบว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลหรือไม่ ได้ผลดังนี้

ขั้นที่ 1 ตรวจสอบว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีแนวโน้มเส้นตรงหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ partial t- test

$$t = \frac{b_1}{s_{b_1}}$$

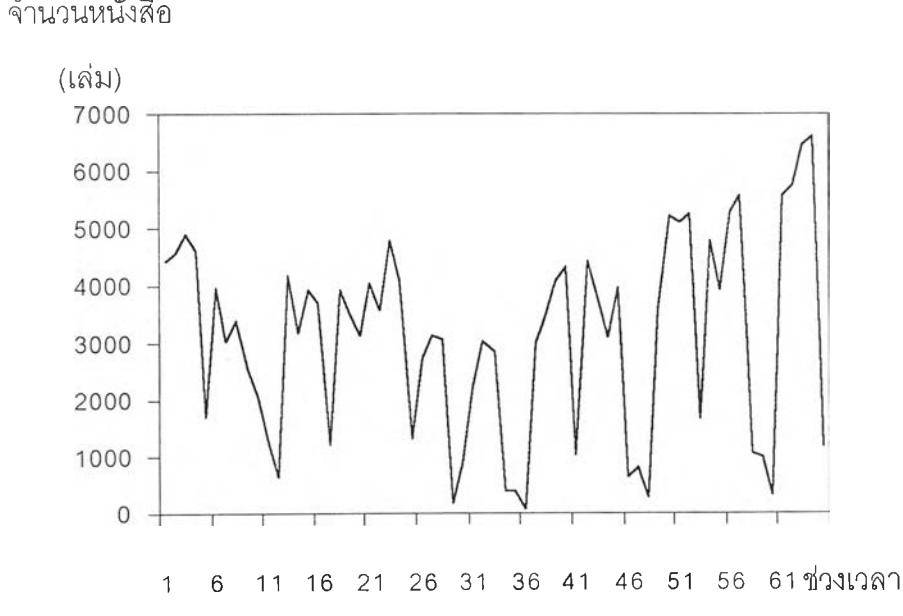
เพื่อทดสอบสมมติฐานว่า

H_0: ข้อมูลอนุกรมเวลาไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นตรง

H_1: ข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นตรง

ตาราง 15 ปริมาณ (เล่ม) การยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1)

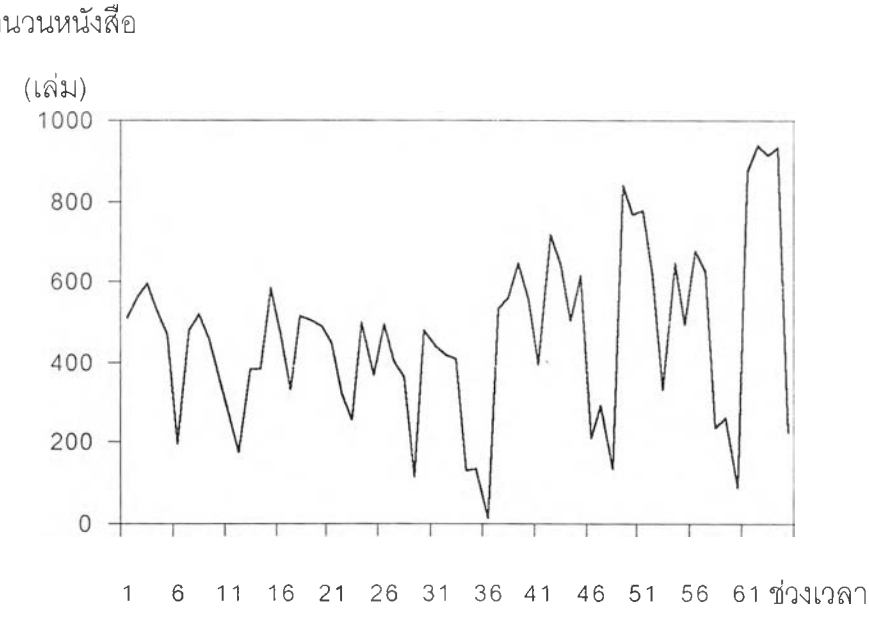
ปีการศึกษา / เดือน	2537	2538	2539	2540	2541	2542
มิถุนายน	4,415	4,181	1,312	2,983	3,587	5,570
กรกฎาคม	4,557	3,176	2,760	3,464	5,205	5,750
สิงหาคม	4,908	3,922	3,160	4,074	5,110	6,450
กันยายน	4,623	3,732	3,081	4,322	5,238	6,620
ตุลาคม	1,712	1,226	182	1,031	1,678	1,194
พฤศจิกายน	3,957	3,928	908	4,436	4,780	
ธันวาคม	3,019	3,501	2,257	3,763	3,913	
มกราคม	3,388	3,140	3,040	3,094	5,268	
กุมภาพันธ์	2,534	4,052	2,843	3,962	5,566	
มีนาคม	2,087	3,571	402	647	1,070	
เมษายน	1,283	4,795	408	805	986	
พฤษภาคม	651	4,087	84	283	317	



ภาพที่ 10 ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1)

ตาราง 16 ปริมาณ (เล่ม) การยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2)

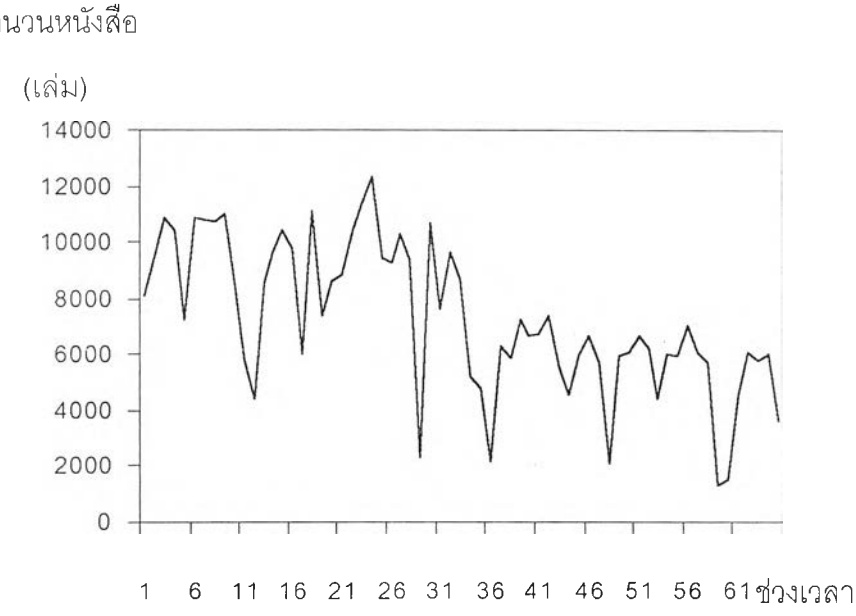
ปีการศึกษา / เดือน	2537	2538	2539	2540	2541	2542
มิถุนายน	511	384	371	537	839	876
กรกฎาคม	562	384	495	563	766	937
สิงหาคม	596	587	404	646	776	913
กันยายน	532	473	362	557	614	933
ตุลาคม	469	333	114	394	332	228
พฤศจิกายน	195	517	481	719	647	
ธันวาคม	479	507	441	643	497	
มกราคม	519	488	421	505	677	
กุมภาพันธ์	461	449	411	618	627	
มีนาคม	368	321	132	214	236	
เมษายน	274	257	136	291	265	
พฤษภาคม	178	502	16	138	90	



ภาพที่ 11 ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2)

ตาราง 17 ปริมาณ (เล่ม) การยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3)

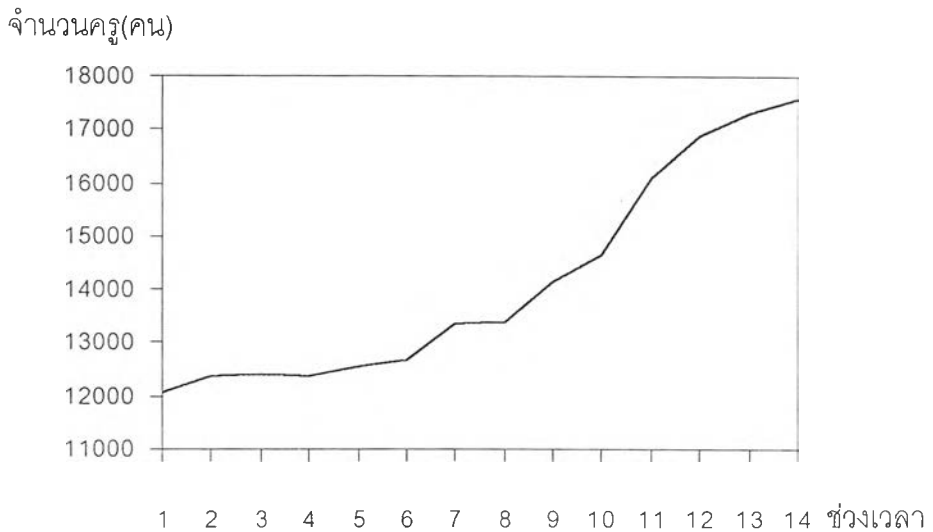
ปีการศึกษา / เดือน	2537	2538	2539	2540	2541	2542
มิถุนายน	8,122	8,526	9,446	6,318	5,954	4,597
กรกฎาคม	9,434	9,638	9,289	5,859	6,095	6,109
สิงหาคม	10,912	10,474	10,324	7,253	6,670	5,803
กันยายน	10,428	9,821	9,328	6,653	6,250	6,015
ตุลาคม	7,238	6,039	2,344	6,763	4,435	3,659
พฤศจิกายน	10,846	11,128	10,642	7,421	5,997	
ธันวาคม	10,780	7,419	7,648	5,565	5,957	
มกราคม	10,715	8,598	9,626	4,560	7,028	
กุมภาพันธ์	11,053	8,823	8,735	6,018	6,072	
มีนาคม	8,635	10,349	5,238	6,672	5,757	
เมษายน	5,833	11,373	4,778	5,734	1,310	
พฤษภาคม	4,444	12,313	2,155	2,124	1,531	



ภาพที่ 12 ปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3)

ตาราง 18 จำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1)

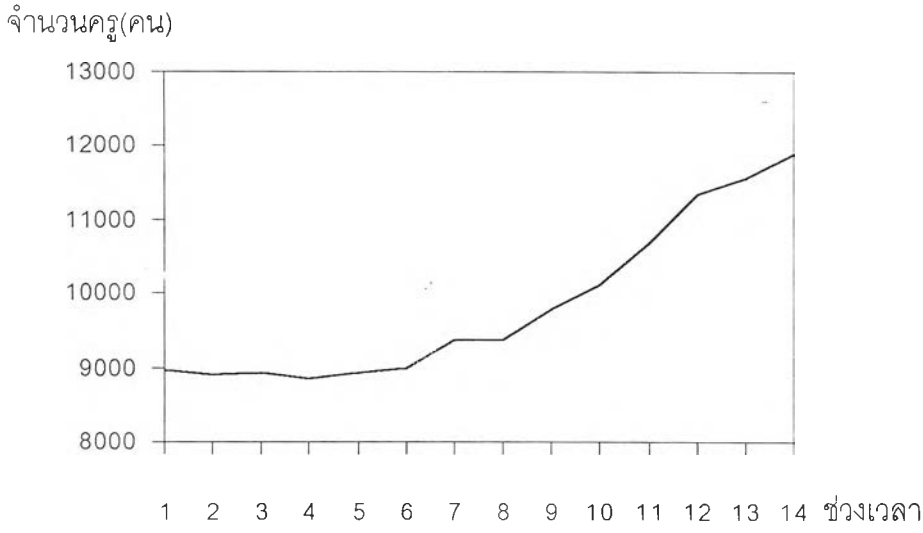
ปีการศึกษา	จำนวนคน	ปีการศึกษา	จำนวนคน	ปีการศึกษา	จำนวนคน
2528	12,047	2533	12,655	2538	16,115
2829	12,383	2534	13,371	2539	16,913
2530	12,423	2535	13,388	2540	17,297
2531	12,356	2536	14,157	2541	17,595
2532	12,576	2537	14,666		



ภาพที่ 13 จำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1)

ตาราง 19 จำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2)

ปีการศึกษา	จำนวนคน	ปีการศึกษา	จำนวนคน	ปีการศึกษา	จำนวนคน
2528	8,970	2533	8,983	2538	10,691
2829	8,905	2534	9,380	2539	11,355
2530	8,933	2535	9,361	2540	11,584
2531	8,865	2536	9,782	2541	11,892
2532	8,937	2537	10,127		



ภาพที่ 14 จำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2)

จากรูปแบบแบบบวก (additive model)

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 x_{1t} + \beta_3 x_{2t} + ... + \beta_{12} x_{11t} + \varepsilon_t$$

ทดสอบ H_0: $\beta_1 = 0$

H_1: $\beta_1 \neq 0$

จากรูปแบบแบบคูณ (multiplicative model)

$$Y_t = \beta_0 \beta_1^{\,t} \beta_2^{\,x_{1t}} \beta_3^{\,x_{2t}} ... \beta_{12}^{\,x_{11t}} \varepsilon_t$$

ซึ่งแปลงให้เป็นรูปแบบแบบบวก โดยการหาลอการิทึม ดังนี้

$$\ln Y_t = (\ln \beta_0) + (\ln \beta_1)t + (\ln \beta_2)x_{1t} + ... + (\ln \beta_{12})x_{11t} + (\ln \varepsilon_t)$$

$$Y'_t = \beta'_0 + \beta'_1 t + \beta'_2 x_{1t} + \beta'_3 x_{2t} + ... + \beta'_{12} x_{11t} + \varepsilon'_t$$

ทดสอบ H_0: $\beta'_1 = 0$

H_1: $\beta'_1 \neq 0$

หรือ ตรวจสอบว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีแนวโน้มเส้นโค้งหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ partial t- test

$$t = \frac{b_2}{s_{b_2}}$$

เพื่อทดสอบสมมติฐานว่า

H_0: ข้อมูลอนุกรมเวลาไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นโค้ง

H_1: ข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นโค้ง

จากรูปแบบแบบบวก (additive model)

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 x_{1t} + \beta_4 x_{2t} + \ldots + \beta_{13} x_{11t} + \varepsilon_t$$

ทดสอบ H_0: $\beta_2 = 0$

H_1: $\beta_2 \neq 0$

จากผลการตรวจสอบในขั้นที่ 1 ทั้งรูปแบบแบบบวกและรูปแบบแบบคูณ พบว่าข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก มีค่า t= 5.078 (p=.00) จากรูปแบบแนวโน้มเส้นโค้งและฤดูกาลที่รวมตัวกันแบบบวก แสดงว่าข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มแบบเส้นโค้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ส่วนหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก มีค่า t= 3.760 (p=.00) และ t=-9.190 (p=.00) ตามลำดับ จากรูปแบบแนวโน้มเส้นตรงและฤดูกาลที่รวมตัวกันแบบบวก แสดงว่าข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มแบบเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ดังรายละเอียดในตาราง 19 ผู้วิจัยจึงตรวจสอบต่อไปว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลหรือไม่ ในขั้นที่ 2

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลหรือไม่

ขั้นที่ 2.1 เมื่อพบว่าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มเส้นตรง จึงตรวจสอบต่อไปว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลด้วยหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ partial F-test

$$F = \frac{((SSR(t, x_1, \ldots, x_{11}) - SSR(t))/(L-1)}{SSE(t, x_1, \ldots, x_{11})/(n-L-1)}$$

เพื่อทดสอบสมมติฐานว่า

H_0: ข้อมูลอนุกรมเวลาไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

H_1: ข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

จากรูปแบบแบบบวก (additive model)

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 x_{1t} + \beta_3 x_{2t} + \ldots + \beta_{12} x_{11t} + \varepsilon_t$$

ทดสอบ H_0: $\beta_2 = \beta_3 = ... = \beta_{12} = 0$

H_1: $\beta_2, \beta_3, ..., \beta_{12}$ มีค่าไม่เป็น 0 อย่างน้อยหนึ่งค่า

จากรูปแบบแบบคูณ (multiplicative model)

$$Y_t = \beta_0 \beta_1{}^t \beta_2{}^{x_{1t}} \beta_3{}^{x_{2t}} ... \beta_{12}{}^{x_{11t}} \varepsilon_t$$

ซึ่งแปลงให้เป็นรูปแบบแบบบวก โดยการหาลอการิทึม ดังนี้

$$\ln Y_t = (\ln \beta_0) + (\ln \beta_1)t + (\ln \beta_2)x_{1t} + ... + (\ln \beta_{12})x_{11t} + (\ln \varepsilon_t)$$

$$Y_t' = \beta_0' + \beta_1' x_{1t} + \beta_2' x_{2t} + ... + \beta_{12}' x_{11t} + \varepsilon_t'$$

ทดสอบ H_0: $\beta_2' = \beta_3' = ... = \beta_{12}' = 0$

H_1: $\beta_2', \beta_3', ..., \beta_{12}'$ มีค่าไม่เป็น 0 อย่างน้อยหนึ่งค่า

ขั้นที่ 2.2 ถ้าพบว่าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มเส้นโค้ง จึงตรวจสอบต่อไปว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลด้วยหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ partial F-test

$$F = \frac{((SSR(t, t^2, x_1, ..., x_{11}) - SSR(t, t^2))/(L-1)}{SSE(t, t^2, x_1, ..., x_{11})/(n-L-2)}$$

เพื่อทดสอบสมมติฐานว่า

H_0: ข้อมูลอนุกรมเวลาไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

H_1: ข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

จากรูปแบบแบบบวก (additive model)

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 x_{1t} + \beta_4 x_{2t} + ... + \beta_{13} x_{11t} + \varepsilon_t$$

ทดสอบ H_0: $\beta_3 = \beta_4 = ... = \beta_{13} = 0$

H_1: $\beta_3, \beta_4, ..., \beta_{13}$ มีค่าไม่เป็น 0 อย่างน้อยหนึ่งค่า

จากการตรวจสอบรูปแบบแนวโน้มและฤดูกาลแบบบวกและแบบคูณ พบว่าข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) มีค่า F = 17.480 และค่าวิกฤต $F_{.01,(11,51)} \approx 2.50$ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) มีการ

เปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มเส้นโค้งและฤดูกาลแบบบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยที่รูปแบบแบบบวกสามารถอธิบายลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) ได้ 81.4% (R^2 =.814) หนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) มีค่า F= 7.508 และ F= 6.731 ตามลำดับ และค่าวิกฤต $F_{.01,(11,52)} \approx 2.50$ ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่าข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มเส้นตรงและฤดูกาลแบบบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยที่รูปแบบแบบบวกสามารถอธิบายลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) ได้ 64.0% และ 77.2% ตามลำดับ (R^2 =.640 และ .772 ตามลำดับ) ดังรายละเอียดในตาราง 20 -21

ตาราง 20 ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มจากรูปแบบแนวโน้มและฤดูกาล โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย

ตัวแปร	แนวโน้ม	R^2	t	P
BOOK1	เส้นโค้ง	.814	5.078	.00**
BOOK2	เส้นตรง	.640	3.760	.00**
BOOK3	เส้นตรง	.772	-9.190	.00**

หมายเหตุ ** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

แนวโน้ม หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้ม

ตาราง 21 ผลการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย

ตัวแปร	แนวโน้ม	แนวโน้มและฤดูกาล		F
	SSR	SSR	MSE	
BOOK1	2.1×10^7	1.6×10^8	722920.4	$\frac{((1.6\times10^8)-(2.1\times10^7))/11}{722920.4}=17.480$
BOOK2	197746.8	1830159	19765.57	$\frac{(1830159-197746.8))/11}{19765.57}=7.508$
BOOK3	2.1×10^8	3.6×10^8	2025921	$\frac{((3.6\times10^8)-(2.1\times10^8))/11}{2025921}=6.731$

หมายเหตุ แนวโน้ม BOOK1 หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นโค้ง

แนวโน้ม BOOK2 และ BOOK3 หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นตรง

แนวโน้มและฤดูกาล BOOK1 หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นโค้งและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

แนวโน้มและฤดูกาล BOOK2 และ BOOK3 หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นตรงและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

ตอนที่ 2.2.2 การตรวจสอบข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) ซึ่งเป็นข้อมูลรายปี ดังนั้นผู้วิจัยจึงตรวจสอบเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเพียงอย่างเดียว

จากการพล๊อตกราฟข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) ในตอนที่ 2.1 พบว่าข้อมูลทั้ง 2 ชุดนี้มีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มแบบเส้นโค้งควอดราติก (quadratic) ผู้วิจัยจึงใช้การวิเคราะห์การถดถอย เพื่อตรวจสอบสมมติฐานว่า อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) มีแนวโน้มแบบเส้นโค้งควอดราติกจริงหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ partial t- test

$$t = \frac{b_2}{s_{b_2}}$$

เพื่อทดสอบสมมติฐานว่า

H_0: ข้อมูลอนุกรมเวลาไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นโค้งควอดราติก

H_1: ข้อมูลอนุกรมเวลามีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มเส้นโค้งควอดราติก

จากรูปแบบที่แสดงแนวโน้มแบบเส้นโค้งควอดราติก คือ

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \varepsilon_t$$

ทดสอบ H_0: $\beta_2 = 0$

H_1: $\beta_2 \neq 0$

ผลการวิจัยพบว่า ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) ปฏิเสธสมมติฐานหลัก t= 6.254 (p=.00) และ t= 10.211 (p=.00) ตามลำดับ แสดงว่าข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) มีแนวโน้มแบบเส้นโค้งควอดราติกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 โดยแนวโน้มแบบเส้นโค้งควอดราติกสามารถอธิบายลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1)

และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) ได้ 97.7% และ 98.6% ตามลำดับ ดังรายละเอียดในตาราง 22

ตาราง 22 ผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้ม โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย

ตัวแปร	แนวโน้ม	R^2	t	P
TEACH1	เส้นโค้ง	.977	6.254	.00**
TEACH2	เส้นโค้ง	.986	10.211	.00**

หมายเหตุ ** หมายถึง มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

แนวโน้ม หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้ม

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีการพยากรณ์เดี่ยว

สาระในตอนนี้ ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีการพยากรณ์เดี่ยว โดยแบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรก การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล และตอนที่สอง การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล มีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและฤดูกาล ได้แก่ ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) หนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) วิธีที่สามารถใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลทั้งสามนี้ได้คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) และวิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J)

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ ยกเว้นวิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) โปรแกรมสำเร็จรูปจะคำนวณหาสมการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดให้ ส่วนวิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) เป็นวิธีที่มีขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ยุ่งยากและซับซ้อน ผู้วิจัยจึงได้เสนอผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 3.1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย เมื่อใช้วิธีการพยากรณ์เดี่ยวทั้ง 8 วิธี มีรายละเอียดดังนี้

วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ โดยทำการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย 12 เดือน จะให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 168,870,782 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_{65+p}$=3,957 สำหรับ $p \geq 1$ origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .00 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 190,781,785 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .00 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=3,108 สำหรับ $p \geq 1$ origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .11 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 213,844,854 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .11 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=4,181.339+50.074p สำหรับ $p \geq 1$ origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α และ γ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .02 และ .67 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 200,580,495 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .02 และ γ = .67 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=4,679.673+108.286p สำหรับ $p \geq 1$ origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .13 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 237,086,190 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .13 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=4,310.449+80.612p+1.723p^2 สำหรับ $p \geq 1$ origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) เมื่อแนวโน้มและฤดูกาลมีการรวมตัวกันแบบบวก สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α, γ และ δ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .60, .00 และ .00 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 73,632,060 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .60, γ = .00 และ δ = .00 คือ

$\hat{Y}_{65+p}$=3,891.95+9.694p+s_i สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน มีค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล (s_i ,i=1, 2,...,12) เป็น 275.687, 892.562, 1,268.646, 1,232.229, -1,810.584, 679.354, 425.554, 701.704, 887.220, -1,374.480, -1,307.763 และ –1,870.130 ตามลำดับ โดย origin ที่เดือนตุลาคม 2542 คือ s_5

วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ ที่ทำให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 74,746,452 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_t$=1,136.329-98.617t+1.739t^2+3,193.987X_1+3,660.384X_2+4,097.969X_3+4,078.744X_4+625.207X_5+3,358.119X_6+3,039.461X_7+3,323.924X_8+3,514.910X_9+1,261.018X_{10}+549.848X_{11} สำหรับ t≥1 origin ที่เดือนมิถุนายน 2537 และ t มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ 4 ขั้นตอน ได้แก่ การกำหนดรูปแบบ การประมาณค่าพารามิเตอร์ การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ และการนำรูปแบบที่เหมาะสมไปพยากรณ์ค่าในอนาคต ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ในตอนที่ 2.2.1 พบว่า ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) เป็นข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มเส้นโค้งและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล โดยมีการรวมตัวกันของแนวโน้มและฤดูกาลแบบบวก ดังนั้นจึงวิเคราะห์ตามขั้นตอนของบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ต่อไป

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดรูปแบบ ผู้วิจัยนำค่าสังเกตปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) ในตาราง 14 มาวิเคราะห์หาฟังก์ชันอัตตะสหสัมพันธ์ (r_k) พบว่าลักษณะของฟังก์ชันอัตตะสหสัมพันธ์หรือคอเรลโลแกรมมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ แสดงว่าข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นอนุกรมเวลาไม่คงที่ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยในตารางที่ 19-20 ตามหลักการวิเคราะห์ ผู้วิจัยต้องแปลงข้อมูลอนุกรมเวลาไม่คงที่ให้อยู่ในรูปอนุกรมเวลาที่คงที่ โดยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ดังนั้นจึงหาอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) โดยการหาผลต่างลำดับที่ 2 และผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 (d=2, D=1) $Z_t=\nabla_{12}\nabla^2 y_t=\nabla_{12}(y_t-2y_{t-1}+y_{t-2})$ $=y_t-2y_{t-1}+y_{t-2}-y_{t-12}+2y_{t-13}-y_{t-14}$ แล้วหาค่าคอเรลโลแกรมของอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) ซึ่งมีค่าลดลงเข้าหา 0 เร็ว แสดงว่าอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่แล้ว ขั้นต่อไปจึงกำหนดรูปแบบให้กับอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) จากคอเรลโลแกรมของค่า r_k และr_{kk} สำหรับอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) พบว่าค่า r_1 , r_{12}, $r_{1,1}$ และ $r_{2,2}$ มีค่าสูง จึงกำหนดรูปแบบ MA(1), $SMA(1)_{12}$ และ AR(2) ให้กับ

อนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) ดังนั้นรูปแบบที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดของอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) คือ MA(1)×SMA(1)$_{12}$ และ AR(2)×SMA(1)$_{12}$ หรือรูปแบบที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดของอนุกรมเวลาเดิม (y_t) คือ ARIMA(0,2,1)×SARIMA(0,1,1)$_{12}$ และ ARIMA(2,2,0)×SARIMA(0,1,1)$_{12}$ หรือ IMA(2,1)×SIMA(1,1)$_{12}$ และ ARI(2,2)×SIMA(1,1)$_{12}$

ในขั้นตอนที่ 2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ และขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบจะต้องทำทั้ง 2 รูปแบบ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะรูปแบบ AR(1)×SMA(1)$_{12}$ เท่านั้น

ขั้นตอนที่ 2 รูปแบบสำหรับอนุกรมเวลาใหม่เป็น AR(1)×SMA(1)$_{12}$ คือ $Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t - \theta_{12}\varepsilon_{t-12}$ รูปแบบไม่มีค่า θ_0 เพราะ θ_0 เป็นฟังก์ชันของ μ ของ Z_t ซึ่งประมาณได้ด้วยค่า 0 หรือรูปแบบสำหรับอนุกรมเวลาเดิมเป็น ARI(1,2)×SIMA(1,1)$_{12}$ คือ $Y_t = (2+\phi_1)Y_{t-1} - (1+2\phi_1)Y_{t-2} - (2-\phi_1)Y_{t-13} + (1+2\phi_1)Y_{t-14} - \phi_1 Y_{t-15} + \varepsilon_t - \theta_{12}\varepsilon_{t-12}$ ดังนั้นจากรูปแบบนี้จะทำการหาค่าประมาณของพารามิเตอร์ ϕ_1 และ θ_{12} ซึ่งได้ $\hat{\phi}_1$ =-.6417 และ $\hat{\theta}_{12}$ =.4914 ทำให้ได้สมการพยากรณ์ในรูปของอนุกรมเวลาใหม่ คือ $\hat{Z}_t$ =-.6417Z_{t-1}+e_t -.4914e_{t-12}

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของอนุกรมเวลาใหม่รูปแบบ AR(1)×SMA(1)$_{12}$ จะพิจารณาหลาย ๆ วิธีพร้อมกัน คือ รูปแบบ AR(1)×SMA(1)$_{12}$ มีค่า S_e^2= 2,101,569.2 ซึ่งต่ำกว่าของรูปแบบ MA(1) × SMA(1)$_{12}$ การทดสอบพารามิเตอร์โดยกำหนด H_0: $\phi_1 = 0$ หรือรูปแบบ SMA(1)$_{12}$ เหมาะสม กับ H_1: $\phi_1 \neq 0$ หรือรูปแบบ AR(1)×SMA(1)$_{12}$ เหมาะสม และ H_0: $\theta_{12} = 0$ หรือรูปแบบ AR(1) เหมาะสม กับ H_1: $\theta_{12} \neq 0$ หรือรูปแบบ AR(1)×SMA(1)$_{12}$ เหมาะสม มีค่า t=-5.7602 (p=.0000) และ t=2.3625 (p=.0222) ตามลำดับ จะปฏิเสธ H_0 ทั้งสองการทดสอบ เมื่อทำ autocorrelation check โดยพิจารณาคอเรลโลแกรมของ $r_k(e_t)$ พบว่ามีค่าใกล้กับ 0 สำหรับค่า k ต่าง ๆ และการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบโดยใช้สถิติทดสอบ Box-Ljung Chi-Square Statistic เพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ว่า

$H_0 : \rho_1(e_t) = \ldots = \rho_m(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0 สำหรับ k= 1, 2, 3, ..., m

ผลการทดสอบ พบว่า Q'_m =11.654 (p=.070) และ Q'_m =18.338 (p=.106) สำหรับ m=6 และ m=12 ตามลำดับ จะยอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่

ห่างกัน k ค่าเป็นอิสระต่อกัน จึงสรุปได้ว่ารูปแบบ AR(1)×SMA(1)$_{12}$ ที่ผู้วิจัยกำหนดให้กับอนุกรมเวลาชุดนี้เหมาะสมแล้วเมื่อเทียบกับรูปแบบ MA(1) × SMA(1)$_{12}$ สามารถนำไปใช้พยากรณ์ได้

ขั้นตอนที่ 4 การพยากรณ์ค่าในอนาคต ผู้วิจัยนำรูปแบบที่ได้ตรวจสอบแล้วว่าเหมาะสมมาพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) 10 ช่วงเวลาล่วงหน้า จากสมการพยากรณ์ $\hat{Y}_t = 1.3583Y_{t-1} + .2834Y_{t-2} - 2.6417Y_{t-13} - .2834Y_{t-14} + .6417Y_{t-15} + e_t - .4914e_{t-12}$ สำหรับ $t \geq 66$

เมื่อ y_t คือ ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1)

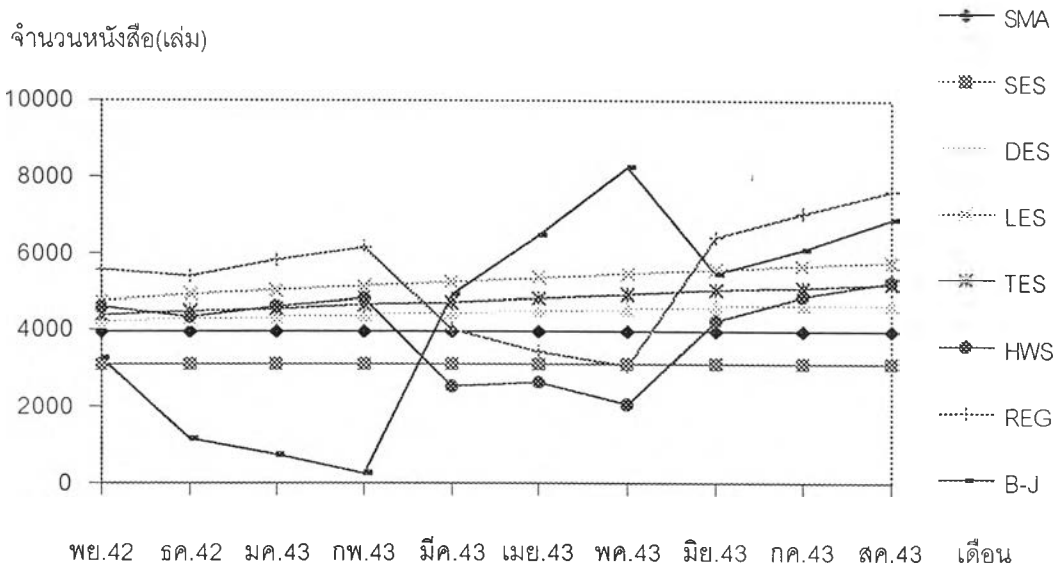
e_t คือ ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 8 วิธี สามารถหาค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้า ดังตาราง 23

ตาราง 23 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้า ของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย

เดือน	ค่าพยากรณ์							
	SMA	SES	DES	LES	TES	HWS	REG	B-J
พฤศจิกายน 2542	3,957	3,108	4,231	4,788	4,392	4,581	5,561	3,298
ธันวาคม 2542	3,957	3,108	4,281	4,896	4,475	4,337	5,375	1,174
มกราคม 2543	3,957	3,108	4,332	5,005	4,560	4,623	5,795	755
กุมภาพันธ์ 2543	3,957	3,108	4,382	5,113	4,647	4,818	6,126	280
มีนาคม 2543	3,957	3,108	4,432	5,221	4,735	2,566	4,015	4,934
เมษายน 2543	3,957	3,108	4,482	5,329	4,825	2,642	3,451	6,476
พฤษภาคม 2543	3,957	3,108	4,532	5,438	4,917	2,090	3,051	8,269
มิถุนายน 2543	3,957	3,108	4,582	5,546	5,010	4,245	6,398	5,458
กรกฎาคม 2543	3,957	3,108	4,632	5,654	5,106	4,872	7,022	6,085
สิงหาคม 2543	3,957	3,108	4,682	5,763	5,203	5,258	7,620	6,889

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย ด้วยวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ จากตาราง 23 มาพล็อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย 10 เดือนล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) มีลักษณะการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นและลดลงในทิศทางเดียวกัน วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) ลักษณะการเคลื่อนไหวคงที่เท่ากันทุกเดือน วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงและแตกต่างจากวิธีอื่นมากที่สุด

ตอนที่ 3.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ เมื่อใช้วิธีการพยากรณ์เดี่ยวทั้ง 8 วิธี มีรายละเอียดดังนี้

วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ โดยทำการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย 12 เดือน จะให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 2,496,348 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_{65+p}=577$ สำหรับ $p\geq 1$ origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .10 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของ

ความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 2,813,847 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .10 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=576 สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .11 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 3,077,272 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .11 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=629.451+6.602p สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α และ γ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .06 และ .18 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 2,845,062 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .06 และ γ = .18 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=662.319+11.272p สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .16 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 3,803,468 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .16 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=640.565+8.684p+.073p^2 สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) เมื่อแนวโน้มและฤดูกาลมีการรวมตัวกันแบบบวก สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α, γ และ δ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .20, .00 และ .00 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 1,131,617 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .20, γ = .00 และ δ = .00 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=634.07+2.122p+s_i สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน มีค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล (s_i ,i=1, 2,...,12) เป็น 98.958, 117.833, 165.791, 60.583, -144.917, 153.020, 79.758, 82.275, 67.225, -197.059, -213.342 และ –270.125 ตามลำดับ โดย origin ที่เดือนตุลาคม 2542 คือ s_5

วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ ที่ทำให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 1,263,062 สมการพยากรณ์คือ

$\hat{Y}_t$=3.510t+419.084X_1+447.074X_2+479.397X_3+400.720X_4+140.377X_5+348.060X_6 +346.150X_7+351.240X_8+338.930X_9+76.420X_{10}+63.310X_{11} สำหรับ t≥1 origin ที่เดือนมิถุนายน 2537 และ t มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ ได้แก่ การกำหนดรูปแบบ การประมาณค่าพารามิเตอร์ การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ และการนำรูปแบบที่เหมาะสมไปพยากรณ์ค่าในอนาคต ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ในตอนที่ 2.2.1 พบว่า ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) เป็นข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มเส้นตรงและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล โดยมีการรวมตัวกันของแนวโน้มและฤดูกาลแบบบวก ดังนั้นจึงวิเคราะห์ตามขั้นตอนของบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ต่อไป

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดรูปแบบ ผู้วิจัยนำค่าสังเกตปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) ในตาราง 15 มาวิเคราะห์หาฟังก์ชันอัตตะสหสัมพันธ์ (r_k) พบว่าลักษณะของฟังก์ชันอัตตะสหสัมพันธ์หรือคอเรลโลแกรมมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ แสดงว่าข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นอนุกรมไม่คงที่ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยในตารางที่ 19-20 ตามหลักการวิเคราะห์ ผู้วิจัยต้องแปลงข้อมูลอนุกรมเวลาไม่คงที่ให้อยู่ในรูปอนุกรมเวลาที่คงที่ โดยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ดังนั้นจึงหาอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) โดยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 (d=1, D=1) $z_t = \nabla_{12}\nabla y_t = \nabla_{12}(y_t - y_{t-1}) = y_t - y_{t-1} - y_{t-12} + y_{t-13}$ แล้วหาค่าคอเรลโลแกรมของอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) ซึ่งมีค่าลดลงเข้าหา 0 เร็ว แสดงว่าอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่แล้ว ขั้นต่อไปจึงกำหนดรูปแบบให้กับอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) จากคอเรลโลแกรมของค่า r_k และ r_{kk} สำหรับอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) พบว่าค่า r_1 , r_2 และ r_{11} มีค่าสูง จึงกำหนดรูปแบบ AR(1) และ MA(2) ให้กับอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) ดังนั้นรูปแบบที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดของอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) คือ AR(1) และ MA(2) หรือรูปแบบที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดของอนุกรมเวลาเดิม (y_t) คือ ARIMA(1,1,0)×SARIMA$(0,1,0)_{12}$ และ ARIMA(0,1,2)× SARIMA$(0,1,0)_{12}$ หรือ ARI(1,1)×SI$(1)_{12}$ และ IMA(1,2)×SI$(1)_{12}$

ในขั้นตอนที่ 2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ และขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ จะต้องทำทั้ง 2 รูปแบบ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะรูปแบบ AR(1) เท่านั้น

ขั้นตอนที่ 2 รูปแบบสำหรับอนุกรมเวลาใหม่เป็น AR(1) คือ $Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t$ รูปแบบไม่มีค่า θ_0 เพราะ θ_0 เป็นฟังก์ชันของ μ ของ Z_t ซึ่งประมาณได้ด้วยค่า 0 หรือรูปแบบสำหรับอนุกรมเวลาเดิมเป็น $ARI(1,1)\times SI(1)_{12}$ คือ $Y_t = (1+\phi_1)Y_{t-1} - \phi_1 Y_{t-2} + Y_{t-3} - (1+\phi_1)Y_{t-13} + \phi_1 Y_{t-14} + \varepsilon_t$ ดังนั้นจากรูปแบบนี้จะทำการหาค่าประมาณของพารามิเตอร์ ϕ_1 ซึ่งได้ $\hat{\phi}_1$ = -0.5616 ทำให้ได้สมการพยากรณ์ในรูปอนุกรมเวลาใหม่ คือ $\hat{Z}_t = -.5616 Z_{t-1} + e_t$

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของอนุกรมเวลาใหม่ของรูปแบบ AR(1) จะพิจารณาหลาย ๆ วิธีพร้อมกัน คือ รูปแบบ AR(1) มีค่า S_e^2= 24,678.70 ซึ่งต่ำกว่าของรูปแบบ MA(2) ทำการทดสอบพารามิเตอร์โดยกำหนด H_0: $\phi_1 = 0$ หรือรูปแบบ AR(1) ไม่เหมาะสม กับ H_1: $\phi_1 \neq 0$ หรือรูปแบบ AR(1) เหมาะสม มีค่า t=-4.6481 (p=.0000) จะปฏิเสธ H_0 เมื่อทำ autocorrelation check โดยพิจารณาคอเรลโลแกรมของ $r_k(e_t)$ พบว่ามีค่าใกล้กับ 0 สำหรับค่า k ต่าง ๆ และการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบโดยใช้สถิติทดสอบ Box-Ljung Chi-Square Statistic เพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ว่า

$H_0 : \rho_1(e_t) = \ldots = \rho_m(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0 สำหรับ k= 1, 2, 3, ..., m

ผลการทดสอบ พบว่า Q'_m =7.334 (p=.291) และ Q'_m =13.743 (p=.317) สำหรับ m=6 และ m=12 ตามลำดับ จะยอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ห่างกัน k ค่าเป็นอิสระต่อกัน จึงสรุปได้ว่ารูปแบบที่ผู้วิจัยกำหนดให้กับอนุกรมเวลาชุดนี้เหมาะสมสามารถนำไปใช้พยากรณ์ได้

ขั้นตอนที่ 4 การพยากรณ์ค่าในอนาคต ผู้วิจัยนำรูปแบบที่ได้ตรวจสอบแล้วว่าเหมาะสม มาพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) 10 ช่วงเวลาล่วงหน้า จากสมการพยากรณ์ $\hat{Y}_t = .4384Y_{t-1} + .5616Y_{t-2} + Y_{t-12} - .4384Y_{t-13} - .5616Y_{t-14} + e_t$ สำหรับ $t \geq 66$

เมื่อ Y_t คือ ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2)

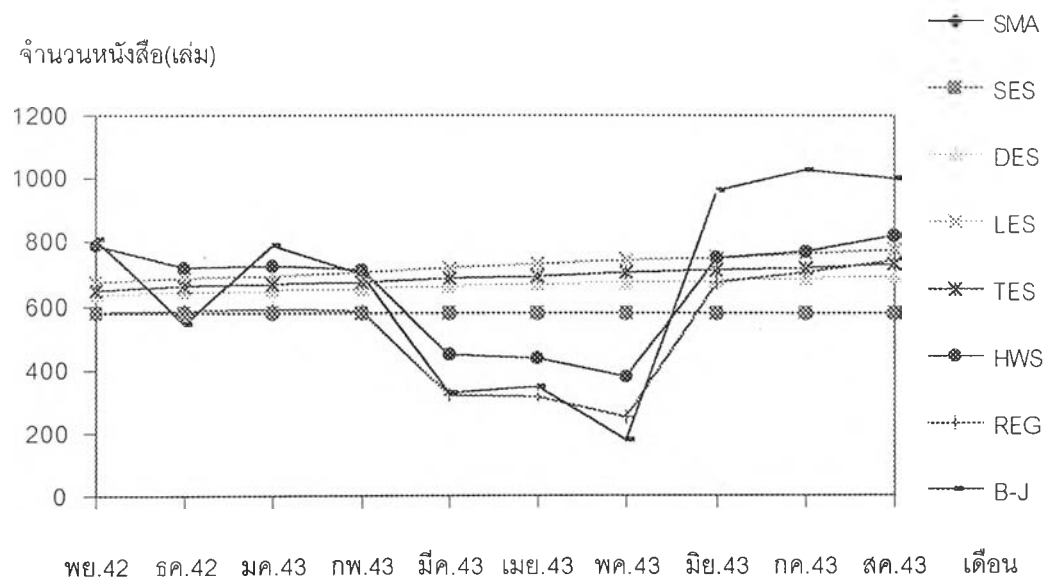
e_t คือ ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 8 วิธี สามารถหาค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้า ดังตาราง 24

ตาราง 24 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์10 ช่วงเวลาล่วงหน้า ของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ

เดือน	ค่าพยากรณ์							
	SMA	SES	DES	LES	TES	HWS	REG	B-J
พฤศจิกายน 2542	577	576	636	674	649	789	580	807
ธันวาคม 2542	577	576	643	685	658	718	581	542
มกราคม 2543	577	576	649	696	667	723	590	787
กุมภาพันธ์ 2543	577	576	656	707	676	710	581	701
มีนาคม 2543	577	576	662	719	685	448	322	330
เมษายน 2543	577	576	669	730	694	433	313	347
พฤษภาคม 2543	577	576	676	741	703	379	253	179
มิถุนายน 2543	577	576	682	752	712	750	675	961
กรกฎาคม 2543	577	576	689	764	722	771	707	1,024
สิงหาคม 2543	577	576	695	775	731	821	743	999

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ ด้วยวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ จากตาราง 24 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ 10 เดือนล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) มีลักษณะการเคลื่อนไหวในอัตราเพิ่มขึ้นเล็กน้อย วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) มีลักษณะการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นและลดลงในทิศทางเดียวกัน วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) ลักษณะการเคลื่อนไหวคงที่เท่ากันทุกเดือนและมีค่าเกือบเท่ากัน วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

ตอนที่ 3.1.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ เมื่อใช้วิธีการพยากรณ์เดี่ยวทั้ง 8 วิธี มีรายละเอียดดังนี้

วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ โดยทำการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย 12 เดือน จะให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 238,628,488 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_{65+p}$=4,986 สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .27 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 308,047,490 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .27 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=4,574 สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .11 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 324,508,087 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .11 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=4,220.197-85.514p สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α และ γ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .16 และ .00

ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 294,149,820 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .16 และ γ = .00 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=4,321.149–69.734p สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .07 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 351,659,077 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .07 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=3,584.752-206.523p–5.623p^2 สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) เมื่อแนวโน้มและฤดูกาลมีการรวมตัวกันแบบบวก สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α, γ และ δ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .30, .00 และ .00 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 167,407,288 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .30, γ = .00 และ δ = .00 คือ $\hat{Y}_{65+p}$=4,818.42–78.792p+s_i สำหรับ p≥1 origin ที่เดือนตุลาคม 2542 และ p มีหน่วยเป็นเดือน มีค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล (s_i ,i=1, 2,...,12) เป็น 45.921, 305.650, 1,342.463, 778.984, -2,278.808, 1,717.171, 55.867, 796.217, 886.434, 161.584, -1,289.466 และ -2,522.016 ตามลำดับ โดย origin ที่เดือนตุลาคม 2542 คือ s_5

วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ ที่ทำให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 172,668,092 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_t$=5,837.752-86.860t+3,515.401X_1+4,679.094X_2+5,801.287X_3+5,197.980X_4 +2,282.007X_5+5,974.841X_6+4,328.701X_7+5,047.161X_8+5,168.821X_9+4,445.680X_{10} +3,007.940X_{11} สำหรับ t≥1 origin ที่เดือนมิถุนายน 2537 และ t มีหน่วยเป็นเดือน

วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการวิเคราะห์ตามขั้นตอนของบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ ได้แก่ การกำหนดรูปแบบ การประมาณค่าพารามิเตอร์ การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ และการนำรูปแบบที่เหมาะสมไปพยากรณ์ค่าในอนาคต ตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ในตอนที่ 2.2.1 พบว่า ปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3) เป็นข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มเส้นตรงและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจาก

ฤดูกาล โดยมีการรวมตัวกันของแนวโน้มและฤดูกาลแบบบวก ดังนั้นจึงวิเคราะห์ตามขั้นตอนของบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ต่อไป

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดรูปแบบ ผู้วิจัยนำค่าสังเกตปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3) ในตาราง 16 มาวิเคราะห์หาฟังก์ชันอัตตะสหสัมพันธ์ (r_k) พบว่า ลักษณะของฟังก์ชันอัตตะสหสัมพันธ์หรือคอเรลโลแกรมมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ แสดงว่าข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นอนุกรมไม่คงที่ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงที่แสดงแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบด้วยการวิเคราะห์การถดถอยในตารางที่ 19-20 ตามหลักการวิเคราะห์ ผู้วิจัยต้องแปลงข้อมูลอนุกรมเวลาไม่คงที่ให้อยู่ในรูปอนุกรมเวลาที่คงที่ โดยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาล ดังนั้นจึงหาอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) โดยการหาผลต่างและผลต่างฤดูกาลลำดับที่ 1 (d=1, D=1) $z_t=\nabla_{12}\nabla y_t=\nabla_{12}(y_t - y_{t-1})=y_t-y_{t-1}-y_{t-12}+y_{t-13}$ แล้วหาค่าคอเรลโลแกรมของอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) ซึ่งมีค่าลดลงเข้าหา 0 เร็ว แสดงว่าอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) เป็นอนุกรมเวลาที่คงที่แล้ว ขั้นต่อไปจึงกำหนดรูปแบบให้กับอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) จากคอเรลโลแกรมของค่า r_k และ r_{kk} สำหรับอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) พบว่าค่า r_1 , r_{12} และ $r_{12,12}$ มีค่าสูง จึงกำหนดรูปแบบ MA(1) $SMA(1)_{12}$ และ $SAR(1)_{12}$ ให้กับอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) ซึ่งรูปแบบที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดของอนุกรมเวลาใหม่ (Z_t) คือ MA(1)×$SMA(1)_{12}$ และ MA(1)×$SAR(1)_{12}$ หรือรูปแบบที่น่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดของอนุกรมเวลาเดิม (y_t) คือ ARIMA(0,1,1)×$SARIMA(0,1,1)_{12}$ และ ARIMA(0,1,1)×$SARIMA(1,1,0)_{12}$ หรือ IMA(1,1)×$SIMA(1,1)_{12}$ และ IMA(1,1)×$SARI(1,1)_{12}$

ในขั้นตอนที่ 2 การประมาณค่าพารามิเตอร์ และขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ จะต้องทำทั้ง 2 รูปแบบ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะรูปแบบ MA(1)×$SAR(1)_{12}$ เท่านั้น

ขั้นตอนที่ 2 รูปแบบสำหรับอนุกรมเวลาใหม่เป็น MA(1)×$SAR(1)_{12}$ คือ $Z_t=\phi_{12}Z_{t-12}+\varepsilon_t-\theta_1\varepsilon_{t-1}$ รูปแบบไม่มีค่า θ_0 เพราะ θ_0 เป็นฟังก์ชันของ μ ของ Z_t ซึ่งประมาณได้ด้วยค่า 0 หรือรูปแบบสำหรับอนุกรมเวลาเดิมเป็น IMA(1,1)×$SARI(1,1)_{12}$ คือ $Y_t=Y_{t-1}+(1+\phi_{12})Y_{t-12}-(1+\phi_{12})Y_{t-13}-\phi_{12}Y_{t-24}+\phi_{12}Y_{t-25}+\varepsilon_t-\theta_1\varepsilon_{t-1}$ ดังนั้นจากรูปแบบนี้จะทำการหาค่าประมาณของพารามิเตอร์ ϕ_{12} และ θ_1 ในรูปแบบ MA(1)×$SAR(1)_{12}$ ได้ $\hat{\phi}_{12}$=-.6934 และ $\hat{\theta}_1$=.7472 ทำให้ได้สมการพยากรณ์ในรูปของอนุกรมเวลาใหม่ คือ $\hat{Z}_t$ =-.6934 Z_{t-12}+e_t-.7472e_{t-1}

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบความเหมาะสมของอนุกรมเวลาใหม่ของรูปแบบ MA(1)×SAR(1)$_{12}$ จะพิจารณาหลาย ๆ วิธีพร้อมกัน คือ รูปแบบ MA(1)×SAR(1)$_{12}$ มีค่า S_e^2= 4,277,088 ซึ่งต่ำกว่าของรูปแบบ MA(1) × SMA(1)$_{12}$ ทำการทดสอบพารามิเตอร์โดยกำหนด H_0: $\theta_1 = 0$ หรือรูปแบบ SAR(1)$_{12}$ เหมาะสม กับ H_1: $\theta_1 \neq 0$ หรือรูปแบบ MA(1)×SAR(1)$_{12}$ เหมาะสม มีค่า t=8.0521 (p=.0000) และ H_0: $\phi_{12} = 0$ หรือรูปแบบ MA(1) เหมาะสม กับ H_1: $\phi_{12} \neq 0$ หรือรูปแบบ MA(1)×SAR(1)$_{12}$ เหมาะสม มีค่า t=-7.8297 (p=.0000) ตามลำดับ จะปฏิเสธ H_0 ทั้งสองการทดสอบ เมื่อทำ autocorrelation check โดยพิจารณาคอเรลโลแกรมของ $r_k(e_t)$ พบว่ามีค่าใกล้กับ 0 สำหรับค่า k ต่าง ๆ และการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบโดยใช้สถิติทดสอบ Box-Ljung Chi-Square Statistic เพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ว่า

$H_0 : \rho_1(e_t) = \ldots = \rho_m(e_t) = 0$

$H_1 : \rho_k(e_t)$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0 สำหรับ k= 1, 2, 3, …, m

ผลการทดสอบ พบว่า Q'_m =9.102 (p=.168) และ Q'_m =11.200 (p=.512) สำหรับ m=6 และ m=12 ตามลำดับ จะยอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ห่างกัน k ค่าเป็นอิสระต่อกัน จึงสรุปได้ว่ารูปแบบที่ผู้วิจัยกำหนดให้กับอนุกรมเวลาชุดนี้เหมาะสมสามารถนำไปใช้พยากรณ์ได้

ขั้นตอนที่ 4 การพยากรณ์ค่าในอนาคต ผู้วิจัยนำรูปแบบที่ได้ตรวจสอบแล้วว่าเหมาะสม มาพยากรณ์ปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3) 10 ช่วงเวลาล่วงหน้า จากสมการพยากรณ์ $\hat{Y}_t = Y_{t-1} + .3066Y_{t-12} - .3066Y_{t-13} + .6934Y_{t-24} - .6934Y_{t-25} + e_t - .7472e_{t-1}$ สำหรับ $t \geq 66$

เมื่อ y_t คือ ปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3)

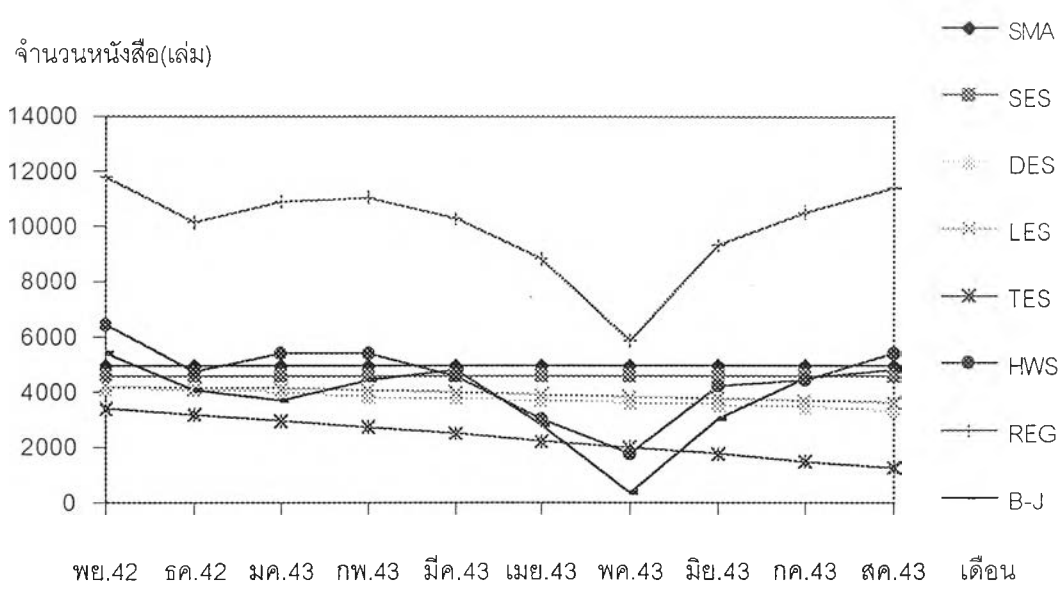
e_t คือ ความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 8 วิธี สามารถหาค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้าดังตาราง 25

ตาราง 25 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้า ของข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์

เดือน	ค่าพยากรณ์							
	SMA	SES	DES	LES	TES	HWS	REG	B-J
พฤศจิกายน 2542	4,986	4,574	4,135	4,251	3,375	6,457	11,813	5,385
ธันวาคม 2542	4,986	4,574	4,049	4,182	3,160	4,717	10,166	4,086
มกราคม 2543	4,986	4,574	3,964	4,112	2,940	5,378	10,885	3,717
กุมภาพันธ์ 2543	4,986	4,574	3,878	4,042	2,714	5,390	11,007	4,439
มีนาคม 2543	4,986	4,574	3,793	3,972	2,482	4,586	10,283	4,792
เมษายน 2543	4,986	4,574	3,707	3,903	2,244	3,056	8,846	2,778
พฤษภาคม 2543	4,986	4,574	3,622	3,833	2,001	1,745	5,838	342
มิถุนายน 2543	4,986	4,574	3,536	3,763	1,753	4,234	9,353	3,018
กรกฎาคม 2543	4,986	4,574	3,451	3,694	1,498	4,415	10,517	4,500
สิงหาคม 2543	4,986	4,574	3,365	3,624	1,238	5,373	11,439	4,804

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ ด้วยวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ จากตาราง 25 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ 10 เดือนล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับให้เรียบ 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) มีลักษณะการเคลื่อนไหวในอัตราที่ลดลงเร็วกว่า วิธีการปรับให้เรียบ 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) และวิธีการปรับให้เรียบ 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) ส่วนวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) และวิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) มีลักษณะการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นและลดลงในทิศทางเดียวกัน วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) ลักษณะการเคลื่อนไหวคงที่เท่ากันทุกเดือน

ตอนที่ 3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) วิธีที่สามารถใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลทั้งสองนี้ได้ คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) ส่วนวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) ใช้พยากรณ์ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์(TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) นี้ไม่ได้ เนื่องจากทั้ง 2 วิธีมีข้อจำกัด คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) จะต้องใช้กับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ซึ่งข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) เป็นข้อมูลรายปี ดังนั้นจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ส่วนวิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) ใช้กับข้อมูลที่ต้องมีจำนวนข้อมูลอย่างน้อย 50 ค่า แต่ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) มีจำนวนข้อมูล 14 ค่า ซึ่งน้อยเกินไปสำหรับที่จะนำวิธีของบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) มาใช้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการพยากรณ์สำหรับข้อมูลทั้งสองนี้เพียง 6 วิธีเท่านั้น และทั้ง 6 วิธีนี้ โปรแกรมสำเร็จรูปจะคำนวณหาสมการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดให้

ตอนที่ 3.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ เมื่อใช้วิธีการพยากรณ์เดี่ยวทั้ง 6 วิธี มีรายละเอียดดังนี้

วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ โดยทำการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย 3 ปี จะให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 15,528,450 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_{14+p}$=17,268 สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 8,884,947 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = 1 คือ $\hat{Y}_{14+p}$=17,595 สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .11 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 15,528,448 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .11 คือ $\hat{Y}_{14+p}$=16,388.367+282.045p สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α และ γ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .00 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 2,187,495 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = 1 และ γ = .00 คือ $\hat{Y}_{14+p}$=17,595+426.769p สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .07 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 4,413,362 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .07 คือ $\hat{Y}_{14+p}$=17,374.298+691.225p+48.082p^2 สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ ที่ทำให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 1,249,546 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_t$=12,274.582–129.020t+39.053t^2 สำหรับ t≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2528 และ t มีหน่วยเป็นปี

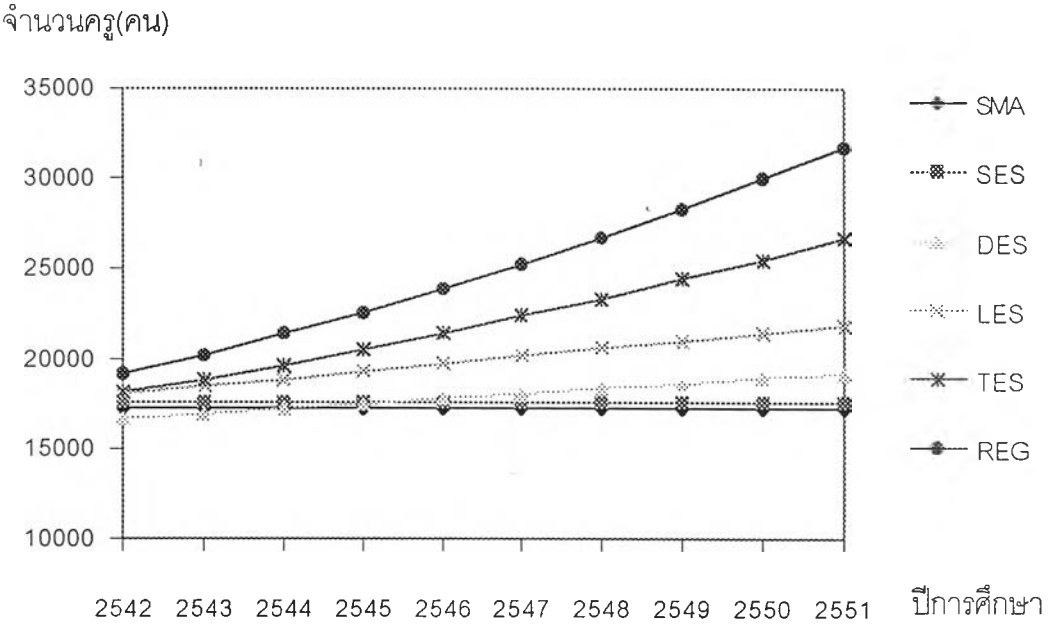
จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 6 วิธี สามารถพยากรณ์ 10 ปีล่วงหน้า ได้ดังตาราง 26

ตาราง 26 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ 10 ปีล่วงหน้า ของข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา	ค่าพยากรณ์					
	SMA	SES	LES	DES	TES	REG
2542	17,268	17,595	16,670	18,022	18,090	19,128
2543	17,268	17,595	16,952	18,449	18,853	20,209
2544	17,268	17,595	17,235	18,875	19,664	21,369
2545	17,268	17,595	17,517	19,302	20,524	22,607
2546	17,268	17,595	17,799	19,729	21,431	23,924
2547	17,268	17,595	18,081	20,156	22,387	25,318
2548	17,268	17,595	18,363	20,582	23,391	26,790
2549	17,268	17,595	18,645	21,009	24,443	28,341
2550	17,268	17,595	18,927	21,436	25,543	29,969
2551	17,268	17,595	19,209	21,863	26,691	31,676

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ ด้วยวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ จากตาราง 26 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 18

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์จำนวนครูวิทยาศาสตร์ 10 ปีล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) มีอัตราการเพิ่มมากที่สุด รองลงมา คือ วิธีการปรับให้เรียบ 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการปรับให้เรียบ 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) ตามลำดับ วิธีที่มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA)



ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์จำนวนครูวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 3.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์ เมื่อใช้วิธีการพยากรณ์เดี่ยวทั้ง 6 วิธี มีรายละเอียดดังนี้

วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ โดยทำการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย 3 ปี จะให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 4,370,603 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_{14+p}$=11,610 สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 2,134,988 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = 1 คือ $\hat{Y}_{14+p}$=11,892 สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .11 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 6,509,738 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ

α = .11 คือ $\hat{Y}_{14+p}$=10,954.404+129.181p สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α และ γ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .79 และ .88 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 591,759 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .79 และ γ = .88 คือ $\hat{Y}_{14+p}$=11,925.202+275.936p สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า α ที่เหมาะสมได้เท่ากับ .07 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 529,537 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ α = .07 คือ $\hat{Y}_{14+p}$=11,906.276+519.098p+46.248p^2 สำหรับ p≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2541 และ p มีหน่วยเป็นปี

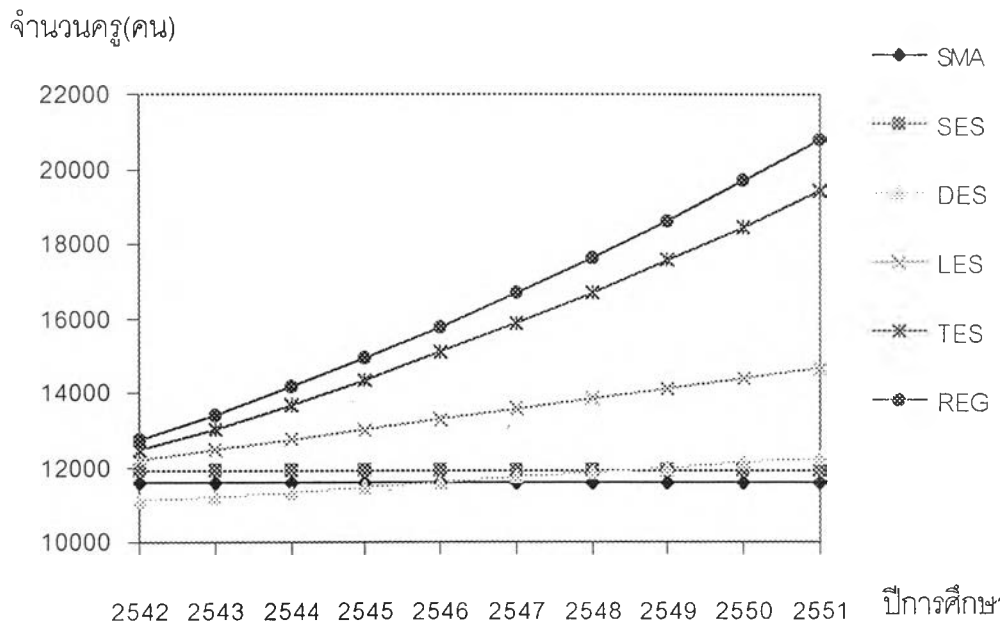
วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) สามารถสร้างสมการพยากรณ์ ที่ทำให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 225,973 สมการพยากรณ์คือ $\hat{Y}_t$=9,106.077–164.278t+27.122t^2 สำหรับ t≥1 origin ที่ปีการศึกษา 2528 และ t มีหน่วยเป็นปี

จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 6 วิธี สามารถพยากรณ์ 10 ปีล่วงหน้า ได้ดังตาราง 27

ตาราง 27 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ 10 ช่วงเวลาล่วงหน้าของข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์

ปีการศึกษา	ค่าพยากรณ์					
	SMA	SES	LES	DES	TES	REG
2542	11,610	11,892	11,084	12,201	12,449	12,744
2543	11,610	11,892	11,213	12,477	13,037	13,421
2544	11,610	11,892	11,342	12,753	13,672	14,152
2545	11,610	11,892	11,471	13,029	14,353	14,937
2546	11,610	11,892	11,600	13,305	15,080	15,776
2547	11,610	11,892	11,729	13,581	15,853	16,669
2548	11,610	11,892	11,859	13,857	16,673	17,617
2549	11,610	11,892	11,988	14,133	17,539	18,619
2550	11,610	11,892	12,117	14,409	18,451	19,675
2551	11,610	11,892	12,246	14,685	19,410	20,786

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์ ด้วยวิธีการพยากรณ์ต่าง ๆ จากตาราง 27 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์จำนวนครูคณิตศาสตร์

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์จำนวนครูคณิตศาสตร์ 10 ปีล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) มีอัตราการเพิ่มมากที่สุด รองลงมา

คือ วิธีการปรับให้เรียบ 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการปรับให้เรียบ 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) ตามลำดับ วิธีที่มีอัตราการเพิ่มน้อยที่สุด คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA)

อย่างไรก็ตามผลการพยากรณ์ในตอนนี้ ผู้วิจัยไม่สามารถสรุปได้ว่าผลการพยากรณ์โดยวิธีใด จะมีความถูกต้องมากที่สุด ผู้วิจัยจึงต้องตรวจสอบความถูกต้องของผลการพยากรณ์ด้วยค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ในตอนต่อไป

ตอนที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วม

ผู้วิจัยแบ่งวิธีการพยากรณ์ออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีความเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล กลุ่มที่ไม่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล และกลุ่มที่รวมวิธีการพยากรณ์เดี่ยวทุกวิธี โดยในแต่ละกลุ่มจะมีการให้น้ำหนักเฉลี่ย (weighted average: w_i) ของวิธีการพยากรณ์เดี่ยวตามแบบของ Newbold และ Granger 2 แบบ ดังนั้นในการพยากรณ์ร่วมจะมีวิธีการพยากรณ์ทั้งหมด 6 วิธี ซึ่งผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรกเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล และตอนที่สอง เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล มีรายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) หนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) และวิทยานิพนธ์ (BOOK3) ซึ่งวิธีการพยากรณ์ที่จะนำมารวมกันสำหรับข้อมูลนี้มี 7 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) และการให้น้ำหนักเฉลี่ยสำหรับแต่ละวิธีตามแบบของ Newbold และ Granger มี 2 แบบ คือ

1. $$w_i = \frac{\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-1} e_t^{(i)2} \right)^{-1}}{\sum_{j=1}^{p} \left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-1} e_t^{(j)2} \right)^{-1}}$$

$$2.\ w_i = \beta\left[\frac{\left(\sum_{t=n-\upsilon-1}^{n-2} e_t^{(i)2}\right)^{-1}}{\sum_{j=1}^{p}\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-2} e_t^{(j)2}\right)^{-1}}\right] + (1-\beta)\left[\frac{\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-1} e_t^{(i)2}\right)^{-1}}{\sum_{j=1}^{p}\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-1} e_t^{(j)2}\right)^{-1}}\right] \quad ,0<\beta<1$$

โดยที่ 3 กลุ่มแรก คือ C1, C2 และ C3 มีการให้น้ำหนักเฉลี่ยในแบบที่ 1 และอีก 3 กลุ่มหลัง คือ C4, C5 และ C6 จะให้น้ำหนักเฉลี่ยในแบบที่ 2

ตอนที่ 4.1.1 ผลการพยากรณ์ร่วมของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย

จากผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและฤดูกาล ในตอนที่ 2.2.1 พบว่าข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) มีแนวโน้มเส้นโค้งและฤดูกาลโดยมีการรวมกันแบบบวก ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) ซึ่งผลการพยากรณ์ร่วมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่1 (C1) ได้จากการรวมกันของวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 6 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 5,649,505 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ $\upsilon=6$ คือ $\hat{y}_t = .78738\,\hat{y}_{t\,(HWS)} + .21262\,\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 66$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 2 (C2) ได้จากการรวมกันของวิธีที่เหลืออีก 5 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 35 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 16,302,020 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ $\upsilon=35$ คือ $\hat{y}_t = .15888\,\hat{y}_{t\,(SMA)} + .08038\,\hat{y}_{t\,(SES)} + .32909\,\hat{y}_{t\,(DES)} + .15792\,\hat{y}_{t\,(LES)} + .27373\,\hat{y}_{t\,(TES)}$ สำหรับ $t \geq 66$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 3 (C3) ได้จากการรวมวิธีพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธี

การปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 36 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 5,807,300 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=36 คือ $\hat{y}_t = .01073\,\hat{y}_{t\,(SMA)} + .00628\,\hat{y}_{t\,(SES)} + .02029\,\hat{y}_{t\,(DES)} + .01260\,\hat{y}_{t\,(LES)} + .01343\,\hat{y}_{t\,(TES)} + .61806\,\hat{y}_{t\,(HWS)} + .3186\,\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 66$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 4 (C4) ได้จากการรวมกันของวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 5 และ .9 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 5,647,005 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=5 และβ=.9 คือ $\hat{y}_t = .79109\,\hat{y}_{t\,(HWS)} + .20891\,\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 66$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 5 (C5) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 34 และ .9 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 16,296,700 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=34 และ β=.9 คือ $\hat{y}_t = .15891\,\hat{y}_{t\,(SMA)} + .08037\,\hat{y}_{t\,(SES)} + .32908\,\hat{y}_{t\,(DES)} + .15786\,\hat{y}_{t\,(LES)} + .27378\,\hat{y}_{t\,(TES)}$ สำหรับ $t \geq 66$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 6 (C6) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 48 และ .2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

(SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 5,817,335 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=48 และ β=.2 คือ $\hat{y}_t = .01039\hat{y}_{t\,(SMA)} + .00609\hat{y}_{t\,(SES)} + .01961\hat{y}_{t\,(DES)} + .01222\hat{y}_{t\,(LES)} + .01286\hat{y}_{t\,(TES)} + .39839\hat{y}_{t\,(HWS)} + .34045\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 66$

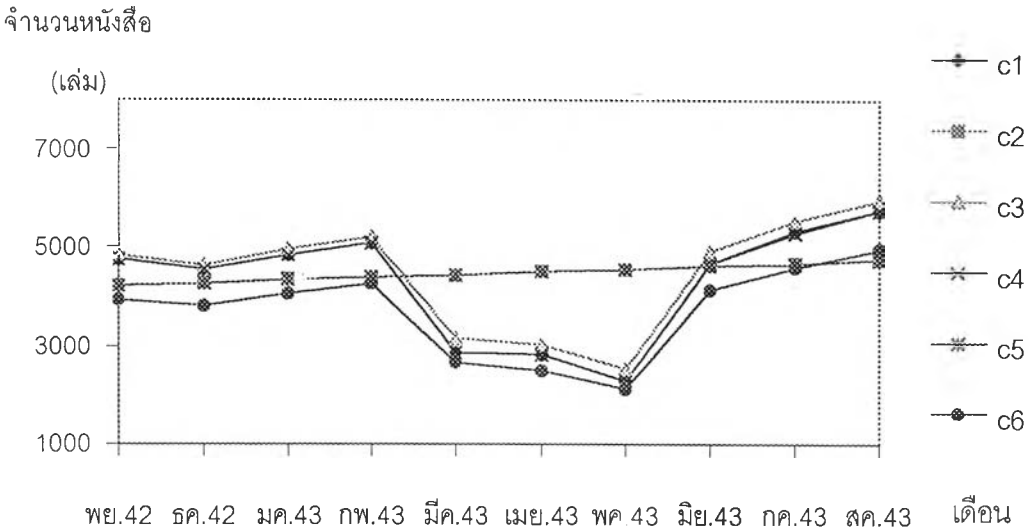
จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 6 วิธี สามารถหาค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้าได้ดังตาราง 28

ตาราง 28 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วม 10 เดือนล่วงหน้า ของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย

เดือน	ค่าพยากรณ์					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
พฤศจิกายน 2542	4,789	4,229	4,870	4,786	4,229	3,957
ธันวาคม 2542	4,558	4,286	4,664	4,554	4,286	3,800
มกราคม 2543	4,872	4,343	4,978	4,868	4,343	4,061
กุมภาพันธ์ 2543	5,096	4,400	5,207	5,091	4,400	4,254
มีนาคม 2543	2,874	4,458	3,146	2,869	4,458	2,642
เมษายน 2543	2,814	4,516	3,017	2,811	4,516	2,484
พฤษภาคม 2543	2,294	4,575	2,552	2,290	4,575	2,131
มิถุนายน 2543	4,703	4,634	4,954	4,695	4,634	4,133
กรกฎาคม 2543	5,329	4,693	5,544	5,321	4,693	4,598
สิงหาคม 2543	5,760	4,754	5,977	5,751	4,753	4,959

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมต่าง ๆ จากตาราง 28 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 20

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย 10 เดือนล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1, 3, 4 และ 6 มีลักษณะการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นและลดลงในทิศทางเดียวกัน และผลการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 2 กับกลุ่มที่ 5 หรือ กลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 4 บางช่วงเวลาก็มีค่าเท่ากันหรือมีค่าใกล้เคียงกันมากจนกระทั่งไม่สามารถเห็นถึงความแตกต่างเลย



ภาพที่ 20 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วมปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย

ตอนที่ 4.1.2 ผลการพยากรณ์ร่วมของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ

จากผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและฤดูกาล ในตอนที่ 2.2.1 พบว่าข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) มีแนวโน้มเส้นตรงและฤดูกาลโดยมีการรวมกันแบบบวก ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) ซึ่งผลการพยากรณ์ร่วมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่1 (C1) ได้จากการรวมกันของวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 34 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 82,135 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=34 คือ $\hat{y}_t = .68031\,\hat{y}_{t\,(HWS)} + .31969\,\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 66$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 2 (C2) ได้จากการรวมกันของวิธีที่เหลืออีก 5 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการ

พยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 257,255 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 คือ $\hat{y}_t$ =.05785 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.06189 $\hat{y}_{t\ (SES)}$+.11148 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.10373 $\hat{y}_{t\ (LES)}$+.66505 $\hat{y}_{t\ (TES)}$ สำหรับ t≥66

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 3 (C3) ได้จากการรวมวิธีพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 32 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 96,160 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=32 คือ $\hat{y}_t$ =.02635 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.02714 $\hat{y}_{t\ (SES)}$ +.04627 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.03144 $\hat{y}_{t\ (LES)}$+.06453 $\hat{y}_{t\ (TES)}$+.54714 $\hat{y}_{t\ (HWS)}$+.25713 $\hat{y}_{t\ (REG)}$ สำหรับ t≥66

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 4 (C4) ได้จากการรวมกันของวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .9 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 27,395 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 และ β=.9 คือ $\hat{y}_t$ =.68125 $\hat{y}_{t\ (HWS)}$+.31875 $\hat{y}_{t\ (REG)}$ สำหรับ t≥66

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 5 (C5) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 256,685 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 และ β=.1 คือ $\hat{y}_t$ =.06571 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.06835 $\hat{y}_{t\ (SES)}$+.11777 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.11514 $\hat{y}_{t\ (LES)}$+.63303 $\hat{y}_{t\ (TES)}$ สำหรับ t≥66

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 6 (C6) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

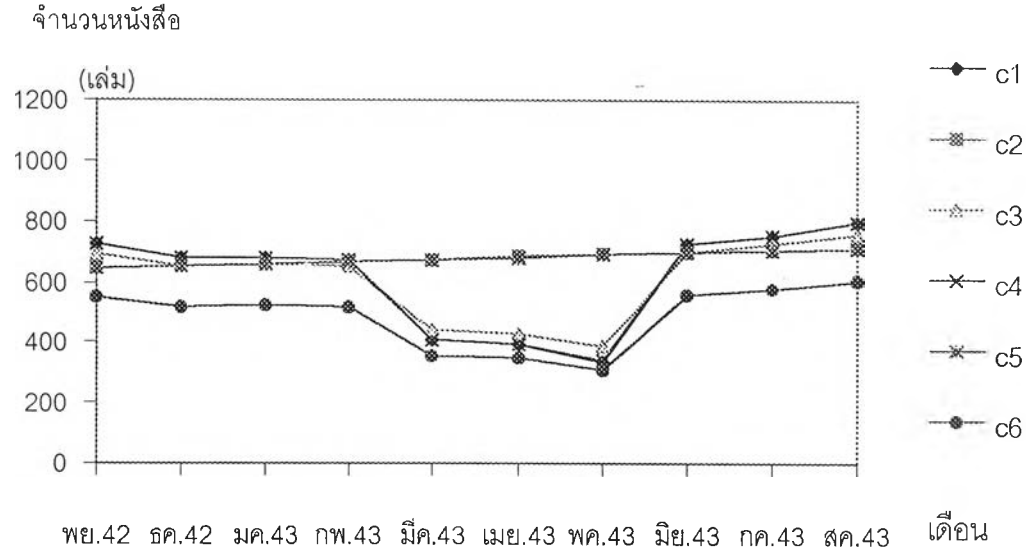
2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้ เท่ากับ 48 และ .2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 95,895 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=48 และ β=.2 คือ $\hat{y}_t = .02252\,\hat{y}_{t\,(SMA)} + .02317\,\hat{y}_{t\,(SES)} + .03934\,\hat{y}_{t\,(DES)} + .02693\,\hat{y}_{t\,(LES)} + .05277\,\hat{y}_{t\,(TES)} + .42520\,\hat{y}_{t\,(HWS)} + .21007\,\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 66$

จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 6 วิธี สามารถหาค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้าได้ดังตาราง 29

ตาราง 29 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วม 10 เดือนล่วงหน้า ของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ

เดือน	ค่าพยากรณ์					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
พฤศจิกายน 2542	722	642	689	722	641	548
ธันวาคม 2542	674	649	651	674	648	519
มกราคม 2543	680	657	657	680	656	524
กุมภาพันธ์ 2543	669	665	649	669	664	517
มีนาคม 2543	408	673	440	408	672	353
เมษายน 2543	395	681	431	395	679	346
พฤษภาคม 2543	338	689	387	339	687	311
มิถุนายน 2543	726	697	700	726	695	558
กรกฎาคม 2543	750	705	721	751	703	575
สิงหาคม 2543	796	713	759	796	711	605

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมต่าง ๆ จากตาราง 29 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วมปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ 10 เดือนล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1, 3, 4 และ 6 มีลักษณะการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นและลดลงในทิศทางเดียวกัน และผลการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 2 กับกลุ่มที่ 5 หรือกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 4 บางช่วงเวลาก็มีค่าเท่ากันหรือมีค่าใกล้เคียงกันมากจนกระทั่งไม่สามารถเห็นถึงความแตกต่างเลย

ตอนที่ 4.1.3 ผลการพยากรณ์ร่วมของข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์

จากผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและฤดูกาล ในตอนที่ 2.2.1 พบว่าข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3) มีแนวโน้มเส้นตรงและฤดูกาลโดยมีการรวมกันแบบบวก ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลนี้ คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) ซึ่งผลการพยากรณ์ร่วมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่1 (C1) ได้จากการรวมกันของวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 37 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 13,566,390 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=37 คือ $\hat{y}_t = .38703\,\hat{y}_{t\,(HWS)} + .61297\,\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 66$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 2 (C2) ได้จากการรวมกันของวิธีที่เหลืออีก 5 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้ง ตามแบบของบราวน์ (TES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 48 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 22,107,025 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=48 คือ $\hat{y}_t$ =.16872 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.17888 $\hat{y}_{t\ (SES)}$+.17959 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.19892 $\hat{y}_{t\ (LES)}$+.27388 $\hat{y}_{t\ (TES)}$ สำหรับ t≥66

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 3 (C3) ได้จากการรวมวิธีพยากรณ์ทั้ง 7 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 2 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 13,864,165 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=2 คือ $\hat{y}_t$ =.14679 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.03513 $\hat{y}_{t\ (SES)}$ +.02347 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.03020 $\hat{y}_{t\ (LES)}$+.01164 $\hat{y}_{t\ (TES)}$ +.12602 $\hat{y}_{t\ (HWS)}$+.62676 $\hat{y}_{t\ (REG)}$ สำหรับ t≥66

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 4 (C4) ได้จากการรวมกันของวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 37 และ .1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 13,575,970 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=37 และ β=.1 คือ $\hat{y}_t$ =.38712 $\hat{y}_{t\ (HWS)}$+.61288 $\hat{y}_{t\ (REG)}$ สำหรับ t≥66

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 5 (C5) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 4 และ .5 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความ

คลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 21,952,905 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=4 และ β=.5 คือ $\hat{y}_t$ =.36258 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.15222 $\hat{y}_{t\ (SES)}$+.14657 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.16100 $\hat{y}_{t\ (LES)}$+.17763 $\hat{y}_{t\ (TES)}$ สำหรับ t≥66

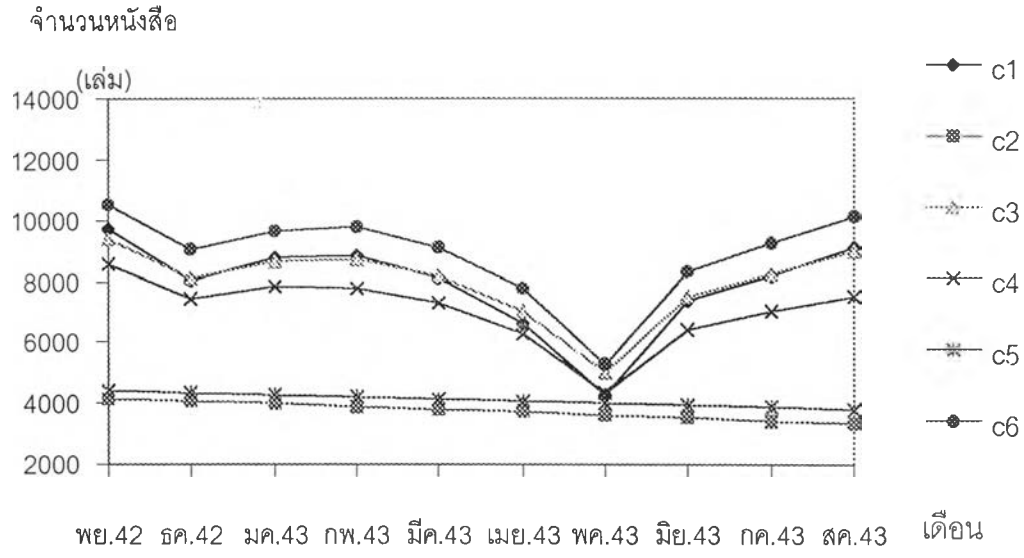
วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 6 (C6) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .9 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 14,540,385 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 และ β=.9 คือ $\hat{y}_t$ = .06283 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$ + .01305 $\hat{y}_{t\ (SES)}$ + .00860 $\hat{y}_{t\ (DES)}$ + .01108 $\hat{y}_{t\ (LES)}$ + .00426 $\hat{y}_{t\ (TES)}$ +.10914 $\hat{y}_{t\ (HWS)}$+.79104 $\hat{y}_{t\ (REG)}$ สำหรับ t≥66

จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 6 วิธี สามารถหาค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้าได้ดังตาราง 30

ตาราง 30 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วม 10 เดือนล่วงหน้า ของข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์

เดือน	ค่าพยากรณ์					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
พฤศจิกายน 2542	9,740	4,172	9,375	8,546	4,394	10,519
ธันวาคม 2542	8,057	4,084	8,117	7,454	4,332	9,024
มกราคม 2543	8,754	3,994	8,644	7,809	4,269	9,662
กุมภาพันธ์ 2543	8,833	3,903	8,715	7,796	4,205	9,758
มีนาคม 2543	8,078	3,811	8,154	7,263	4,140	9,095
เมษายน 2543	6,605	3,716	7,053	6,290	4,074	7,788
พฤษภาคม 2543	4,254	3,620	4,995	4,353	4,008	5,263
มิถุนายน 2543	7,372	3,523	7,505	6,411	3,940	8,313
กรกฎาคม 2543	8,155	3,424	8,250	7,026	3,871	9,251
สิงหาคม 2543	9,091	3,324	8,942	7,490	3,801	10,082

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมต่าง ๆ จากตาราง 30 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วมปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์ปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ 10 เดือนล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1, 3, 4 และ 6 มีลักษณะการเคลื่อนไหวเพิ่มขึ้นและลดลงในทิศทางเดียวกัน ส่วนผลการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 5 มีลักษณะการเคลื่อนไหวในอัตราลดลงอย่างสม่ำเสมอ

ตอนที่ 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ได้แก่ ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) และจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) ซึ่งวิธีการพยากรณ์ที่จะนำมารวมกันสำหรับข้อมูลนี้มี 6 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) และการให้น้ำหนักเฉลี่ยสำหรับแต่ละวิธีตามแบบของ Newbold และ Granger มี 2 แบบ คือ

$$1.\ w_i = \frac{\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-1} e_t(i)2\right)^{-1}}{\sum_{j=1}^{p}\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-1} e_t(j)2\right)^{-1}}$$

$$2.\ w_i = \beta\left[\frac{\left(\sum_{t=n-\upsilon-1}^{n-2} e_t(i)2\right)^{-1}}{\sum_{j=1}^{p}\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-2} e_t(j)2\right)^{-1}}\right] + (1-\beta)\left[\frac{\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-1} e_t(i)2\right)^{-1}}{\sum_{j=1}^{p}\left(\sum_{t=n-\upsilon}^{n-1} e_t(j)2\right)^{-1}}\right] \quad ,0<\beta<1$$

โดยที่ 3 กลุ่มแรก คือ C1, C2 และ C3 มีการให้น้ำหนักเฉลี่ยในแบบที่ 1 และอีก 3 กลุ่มหลัง คือ C4, C5 และ C6 จะให้น้ำหนักเฉลี่ยในแบบที่ 2

ตอนที่ 4.2.1 ผลการพยากรณ์ร่วมของข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์

จากผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและฤดูกาล ในตอนที่ 2.2.2 พบว่าข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) มีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งควอดราติก (quadratic) ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลทั้งสองนี้ คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) ซึ่งผลการพยากรณ์ร่วมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่1 (C1) ได้จากการรวมกันของการรวมวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 802,405 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ $\upsilon=1$ คือ $\hat{y}_t = .01494\,\hat{y}_{t\,(TES)} + .98506\,\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 15$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 2 (C2) ได้จากการรวมกันของวิธีที่เหลืออีก 4 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 1,122,785 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ $\upsilon=1$ คือ $\hat{y}_t = .00092\,\hat{y}_{t\,(SMA)} + .01224\,\hat{y}_{t\,(SES)} + .00053\,\hat{y}_{t\,(DES)} + .98631\,\hat{y}_{t\,(LES)}$ สำหรับ $t \geq 15$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 3 (C3) ได้จากการรวมวิธีพยากรณ์ทั้ง 6 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 988,225 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 คือ $\hat{y}_t = .00078\hat{y}_{t\,(SMA)} + .01030\hat{y}_{t\,(SES)} + .00045\hat{y}_{t\,(DES)} + .83014\hat{y}_{t\,(LES)} + .00237\hat{y}_{t\,(TES)} + .15597\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 15$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 4 (C4) ได้จากการรวมกันของวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 810,055 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 และ β=.1 คือ $\hat{y}_t = .02970\hat{y}_{t\,(TES)} + .97030\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 15$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 5 (C5) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 1,156,605 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 และ β=.1 คือ $\hat{y}_t = .00370\hat{y}_{t\,(SMA)} + .02787\hat{y}_{t\,(SES)} + .00284\hat{y}_{t\,(DES)} + .96559\hat{y}_{t\,(LES)}$ สำหรับ $t \geq 15$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 6 (C6) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่า

ที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 1,006,955 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 และ β=.1 คือ $\hat{y}_t$ =.00274 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.02126 $\hat{y}_{t\ (SES)}$+.00208 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.80255 $\hat{y}_{t\ (LES)}$ +.00682 $\hat{y}_{t\ (TES)}$+.16455 $\hat{y}_{t\ (REG)}$ สำหรับ t≥15

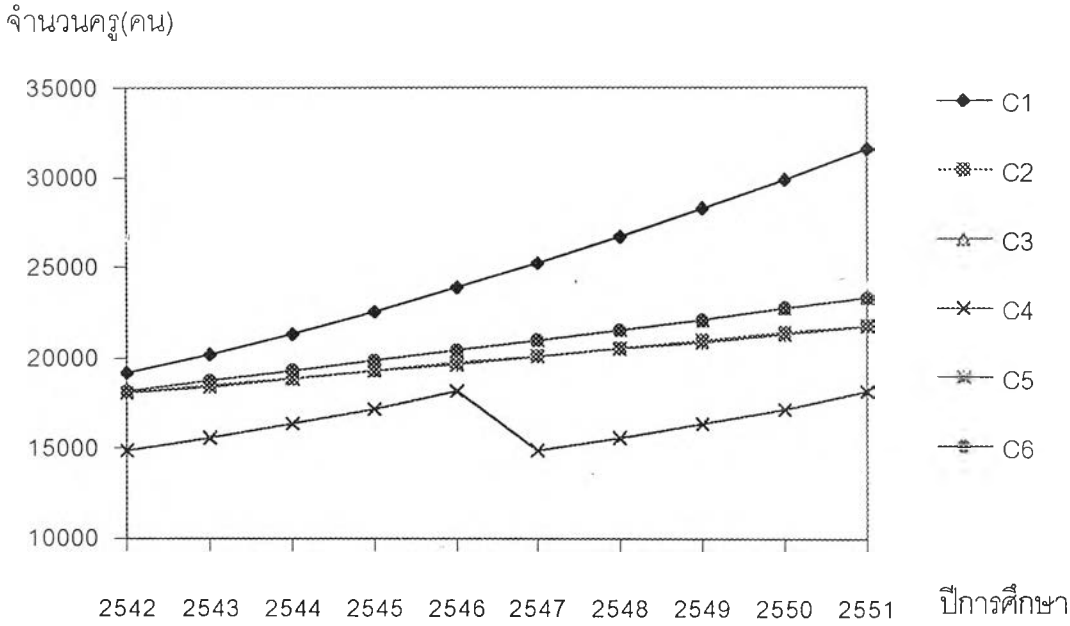
จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 6 วิธี สามารถหาค่าพยากรณ์ 10 ปีล่วงหน้า ได้ดังตาราง 31

ตาราง 31 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วม 10 ปีล่วงหน้า ของข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา	ค่าพยากรณ์					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
2542	19,112	18,015	18,189	14,873	18,003	18,190
2543	20,189	18,436	18,714	15,560	18,416	18,717
2544	21,344	18,857	19,251	16,330	18,829	19,256
2545	22,576	19,278	19,801	17,177	19,242	19,809
2546	23,886	19,699	20,362	18,100	19,655	20,375
2547	25,274	20,121	20,937	14,873	20,068	20,954
2548	26,739	20,542	21,523	15,560	20,481	21,546
2549	28,283	20,963	22,122	16,330	20,893	22,151
2550	29,903	21,384	22,733	17,177	21,306	22,770
2551	31,602	21,805	23,356	18,100	21,719	23,402

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมต่าง ๆ จากตาราง 31 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 23

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์จำนวนครูวิทยาศาสตร์ 10 ปีล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1 มีอัตราการเพิ่มมากที่สุด รองลงมาคือ ผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 3 และ 6 ซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้มีค่าการพยากรณ์ที่ใกล้เคียงกันมาก และวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 4 มีอัตราการเพิ่มต่ำที่สุด



ภาพที่ 23 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วมจำนวนครูวิทยาศาสตร์

ตอนที่ 4.2.2 ผลการพยากรณ์ร่วมของข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์

จากผลการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและฤดูกาล ในตอนที่ 2.2.2 พบว่าข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) มีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งควอดราติก (quadratic) ดังนั้นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลทั้งสองนี้ คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) ซึ่งผลการพยากรณ์ร่วมมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่1 (C1) ได้จากการรวมกันของการรวมวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 6 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 142,210 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ $\upsilon=1$ คือ $\hat{y}_t = .01931\,\hat{y}_{t\,(TES)} + .98069\,\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 15$

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 2 (C2) ได้จากการรวมกันของวิธีที่เหลืออีก 4 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถ

สร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 4 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 334,720 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=4 คือ $\hat{y}_t$ =.05100 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.17913 $\hat{y}_{t\ (SES)}$+.03616 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.73371 $\hat{y}_{t\ (LES)}$ สำหรับ t≥15

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 3 (C3) ได้จากการรวมวิธีพยากรณ์ทั้ง 6 วิธี คือ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 1 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 142,505 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 คือ $\hat{y}_t$ =.00116 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.01631 $\hat{y}_{t\ (SES)}$+.00057 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.00586 $\hat{y}_{t\ (LES)}$+.01885 $\hat{y}_{t\ (TES)}$ +.95726 $\hat{y}_{t\ (REG)}$ สำหรับ t≥15

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 4 (C4) ได้จากการรวมกันของวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 143,915 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 และ β=.1 คือ $\hat{y}_t$ = .04283 $\hat{y}_{t\ (TES)}$+.95717 $\hat{y}_{t\ (REG)}$ สำหรับ t≥15

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 5 (C5) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) และวิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 3 และ .9 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 283,080 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=3 และ β=.9 คือ $\hat{y}_t$ =.03381 $\hat{y}_{t\ (SMA)}$+.10309 $\hat{y}_{t\ (SES)}$+.02634 $\hat{y}_{t\ (DES)}$+.83676 $\hat{y}_{t\ (LES)}$ สำหรับ t≥15

วิธีการพยากรณ์ร่วมในกลุ่มที่ 6 (C6) ได้จากการรวมกันของวิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

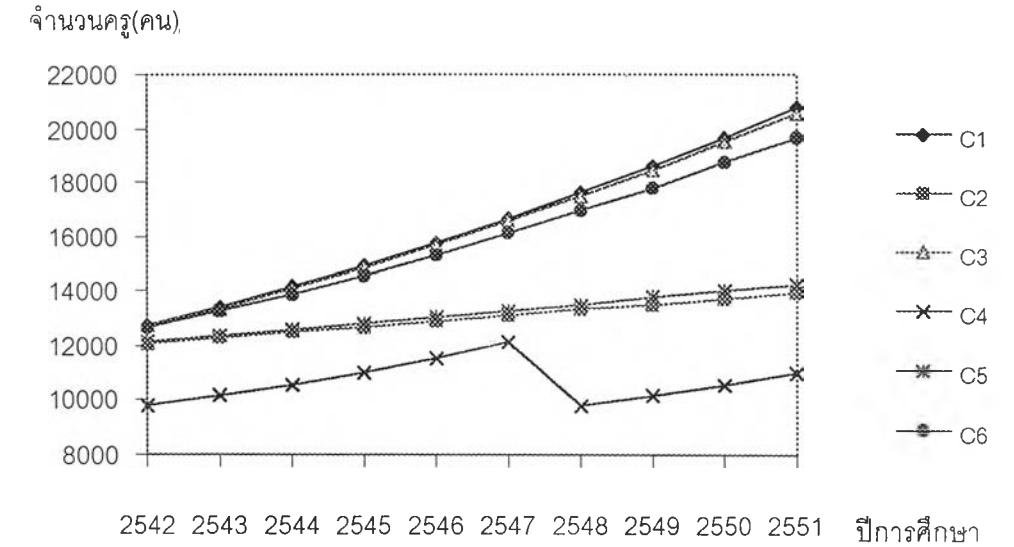
2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักเฉลี่ยแบบที่ 2 สามารถสร้างสมการพยากรณ์โดยคำนวณค่า υ และ β ที่เหมาะสมได้เท่ากับ 1 และ .2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (SSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 135,505 สมการพยากรณ์ที่ได้เมื่อ υ=1 และ β=.2 คือ $\hat{y}_t = .00432\hat{y}_{t\,(SMA)} + .02332\hat{y}_{t\,(SES)} + .00286\hat{y}_{t\,(DES)} + .12726\hat{y}_{t\,(LES)} + .03070\hat{y}_{t\,(TES)} + .81155\hat{y}_{t\,(REG)}$ สำหรับ $t \geq 15$

จากสมการพยากรณ์ดังกล่าวทั้ง 6 วิธี สามารถหาค่าพยากรณ์ 10 ปีล่วงหน้าได้ดังตาราง 32

ตาราง 32 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วม 10 ปีล่วงหน้า ของข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์

ปีการศึกษา	ค่าพยากรณ์					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
2542	12,739	12,075	12,719	9,818	12,120	12,637
2543	13,413	12,282	13,380	10,167	12,354	13,239
2544	14,142	12,489	14,093	10,571	12,588	13,887
2545	14,925	12,697	14,859	11,031	12,823	14,581
2546	15,762	12,904	15,678	11,546	13,057	15,320
2547	16,654	13,111	16,549	12,113	13,291	16,104
2548	17,599	13,318	17,474	9,818	13,526	16,934
2549	18,598	13,525	18,451	10,167	13,760	17,809
2550	19,652	13,732	19,481	10,571	13,994	18,730
2551	20,759	13,939	20,564	11,031	14,228	19,696

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์ ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมต่าง ๆ จากตาราง 32 มาพล๊อตกราฟ ได้ผลดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ร่วมจำนวนครูคณิตศาสตร์

จากกราฟ เมื่อพิจารณาผลการพยากรณ์จำนวนครูคณิตศาสตร์ 10 ปีล่วงหน้า พบว่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1 และ3 มีอัตราการเพิ่มมากที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกันมาก รองลงมาคือผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 6 และวิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 4 มีอัตราการเพิ่มต่ำที่สุด

อย่างไรก็ตามผลการพยากรณ์ในตอนนี้ ผู้วิจัยไม่สามารถสรุปได้ว่าผลการพยากรณ์โดยวิธีใดจะมีความถูกต้องมากที่สุด ผู้วิจัยจึงต้องตรวจสอบความถูกต้องของผลการพยากรณ์ในตอนต่อไป

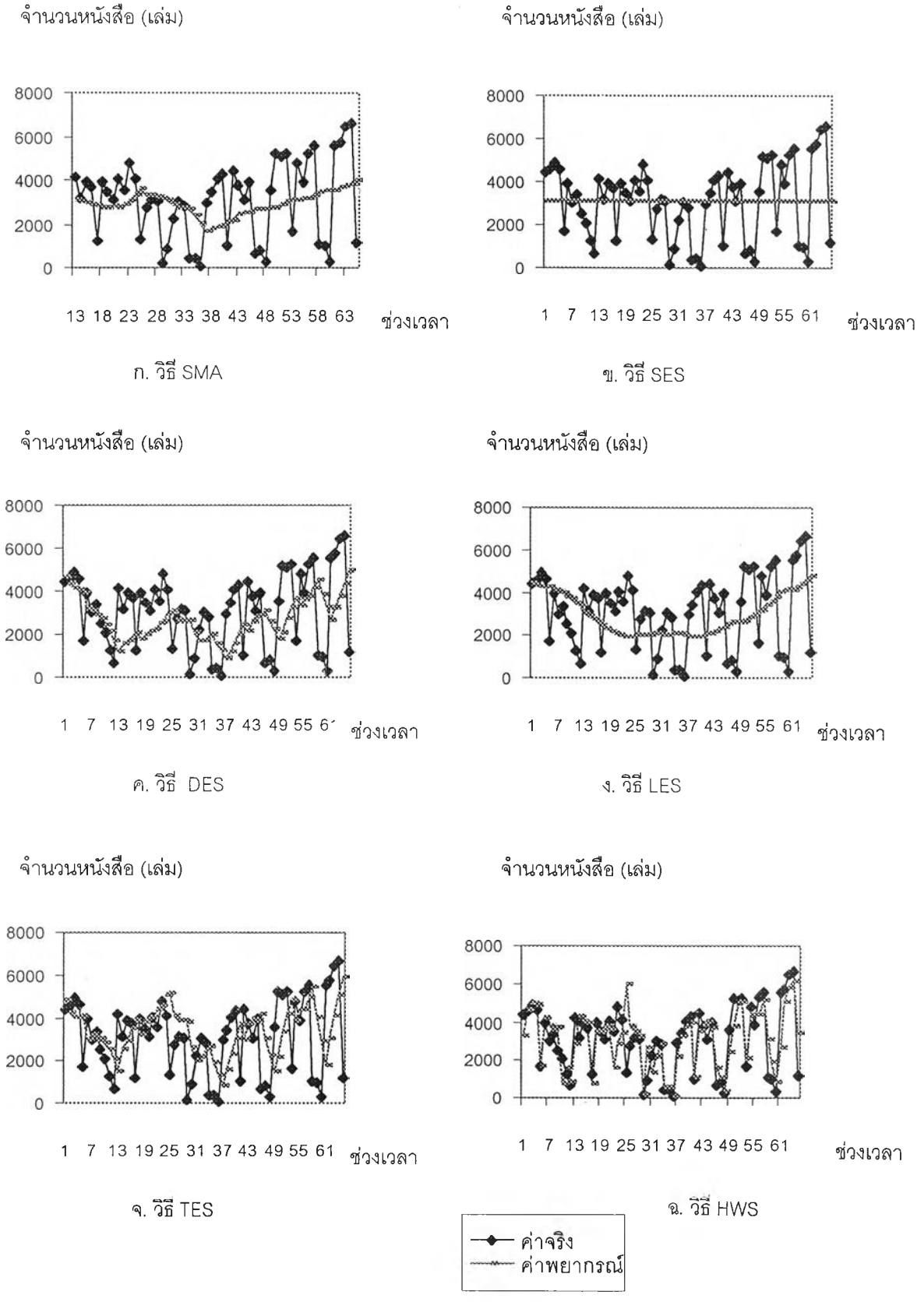
ตอนที่ 5 ผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์

สาระในตอนนี้ ผู้วิจัยตรวจสอบผลการพยากรณ์โดยแบ่งเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรกเป็นการพล็อตกราฟค่าของข้อมูลอนุกรมเวลาที่เกิดขึ้นจริงกับค่าผลการพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ร่วมและวิธีการพยากรณ์เดี่ยว ตอนที่สอง เป็นผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ด้วยค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ ด้วยค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตอนที่ 5.1 การพล็อตกราฟค่าของข้อมูลอนุกรมเวลาที่เกิดขึ้นจริงกับค่าผลการพยากรณ์

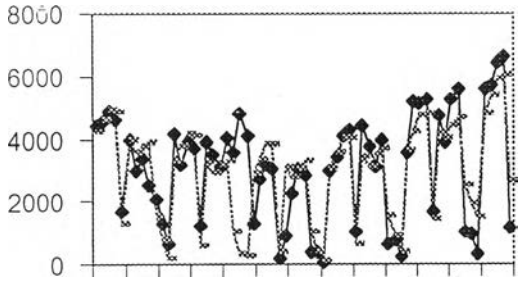
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตอนนี้ เป็นการพล็อตกราฟค่าของข้อมูลอนุกรมเวลาที่เกิดขึ้นจริงกับค่าผลการพยากรณ์ เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพของความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงกับค่าผลการพยากรณ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) ด้วยวิธีการพยากรณ์ทั้ง 14 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) C1 (HWS รวมกับ REGโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C2 (SMA, SES, DES LES และ TES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C3 (SMA, SES, DES, LES, TES, HWS และ REGรวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C4 (HWS รวมกับ REGโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) C5 (SMA, SES, DES LES และ TES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) และC6 (SMA, SES, DES, LES, TES, HWS และ REG รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าจริง ได้ผลดังภาพที่ 25



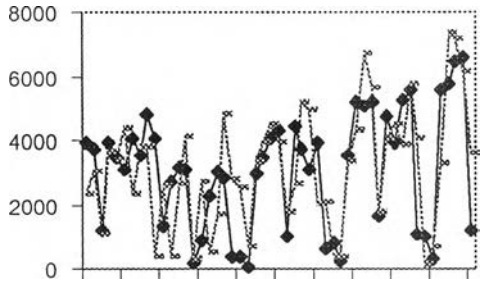
ภาพที่ 25 การเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์ของปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย

จำนวนหนังสือ (เล่ม)



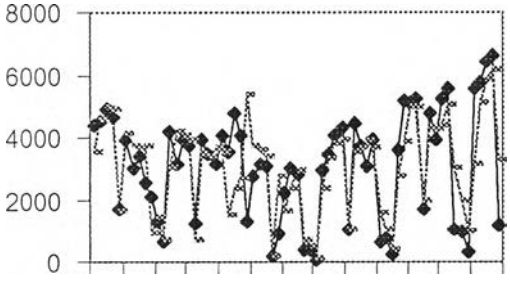
ข. วิธี REG

จำนวนหนังสือ (เล่ม)



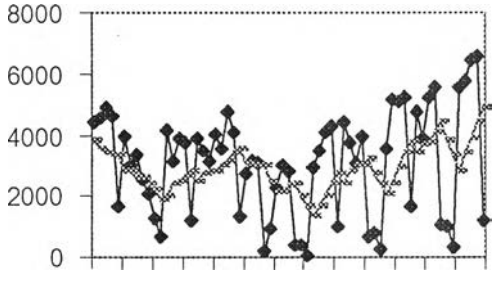
ช. วิธี B-J

จำนวนหนังสือ (เล่ม)



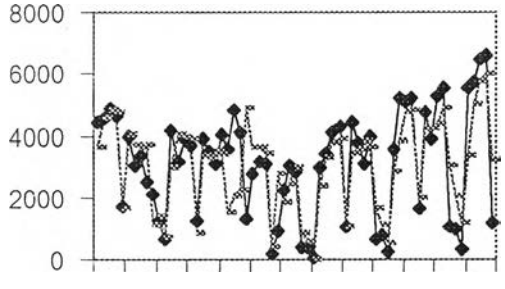
ฌ. วิธี C1

จำนวนหนังสือ (เล่ม)



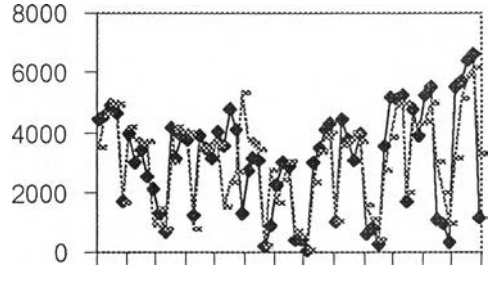
ญ. วิธี C2

จำนวนหนังสือ (เล่ม)

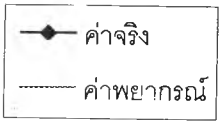


ฎ. วิธี C3

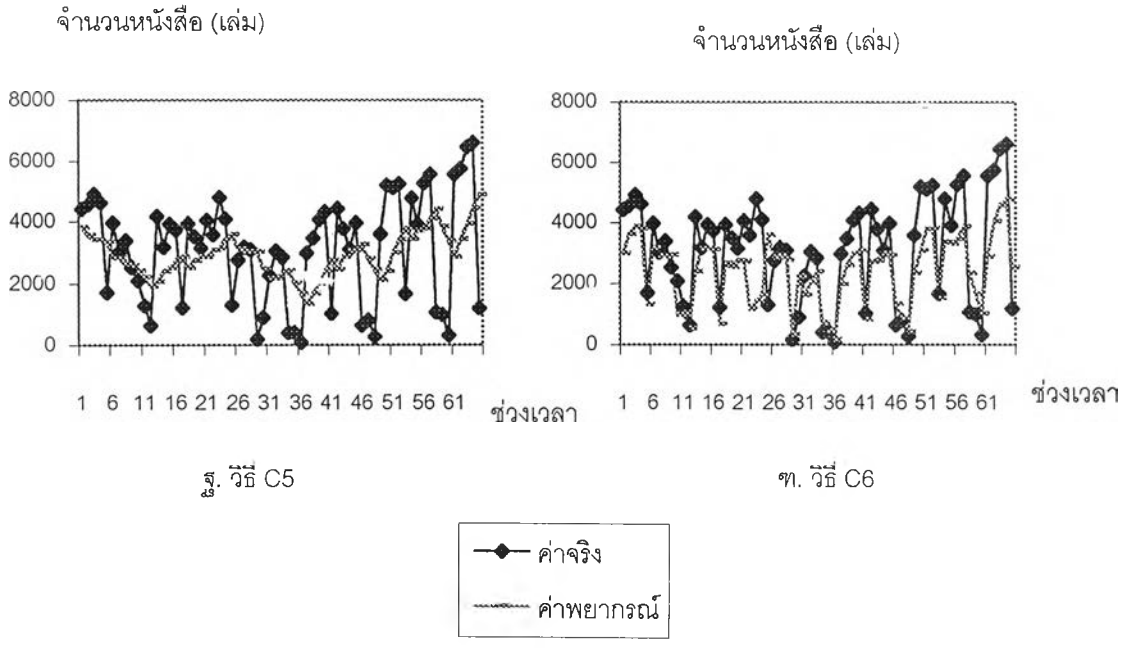
จำนวนหนังสือ (เล่ม)



ฏ. วิธี C4



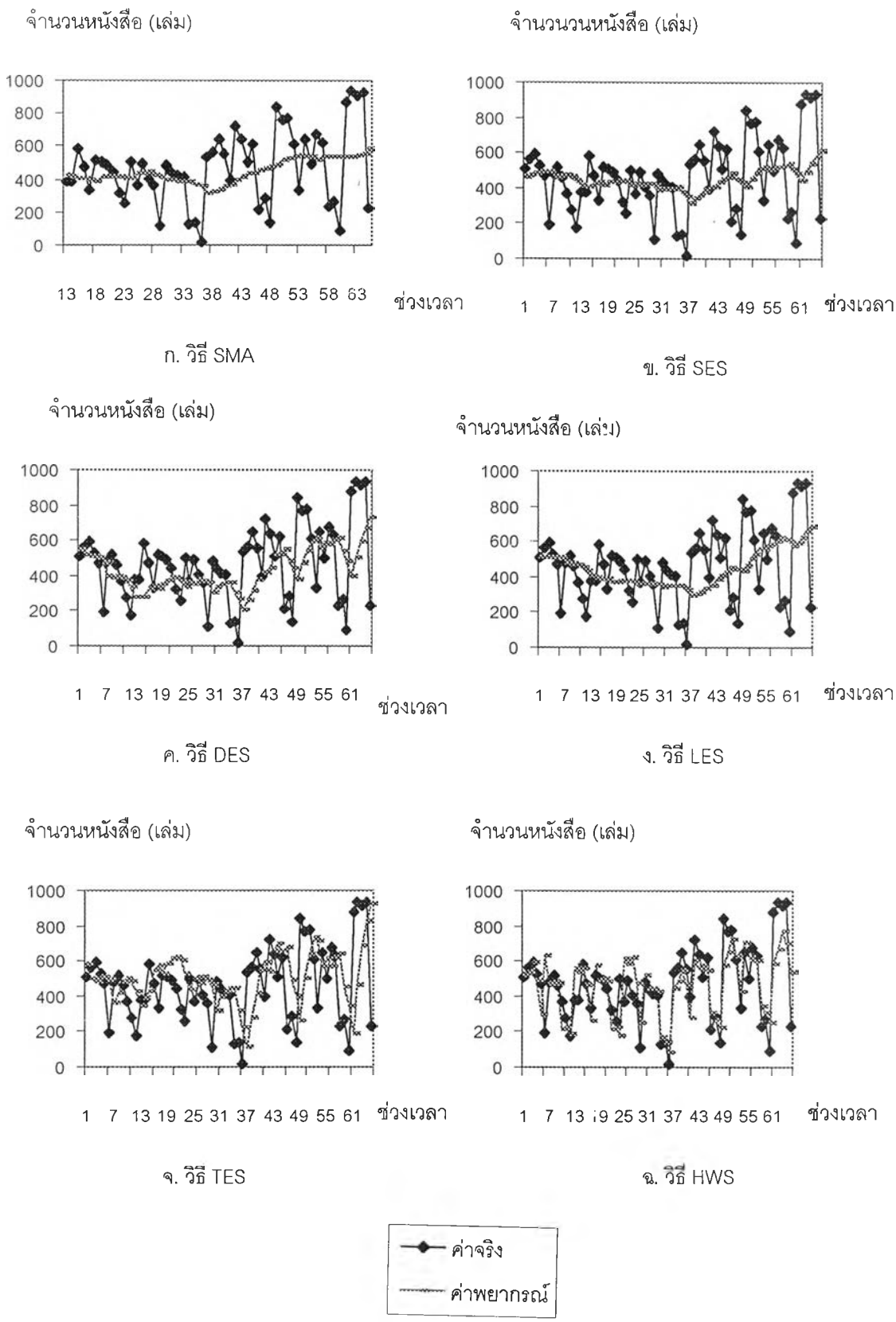
ภาพที่ 25 (ต่อ)



ภาพที่ 25 (ต่อ)

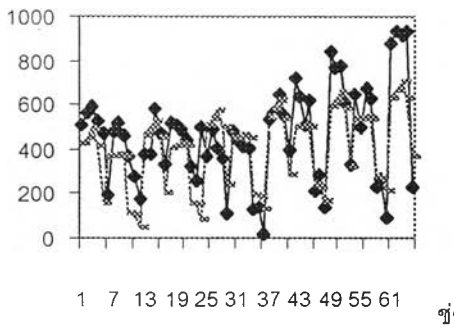
จากกราฟ จะพิจารณาเห็นว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงเป็นอย่างมาก คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1, 3, 4 และ6

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) ด้วยวิธีการพยากรณ์ทั้ง 14 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้ง ตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) C1 (HWS รวมกับ REGโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C2 (SMA, SES, DES LES และ TES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C3 (SMA, SES, DES, LES, TES, HWS และ REG รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C4 (HWS รวมกับ REG โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) C5 (SMA, SES, DES LES และ TES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) และ C6 (SMA, SES, DES, LES, TES, HWS และ REG รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าจริง ได้ผลดังภาพที่ 26



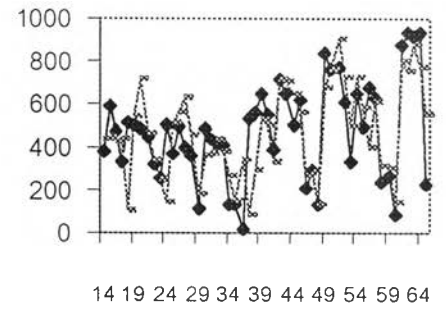
ภาพที่ 26 การเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์ปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ

จำนวนหนังสือ (เล่ม)



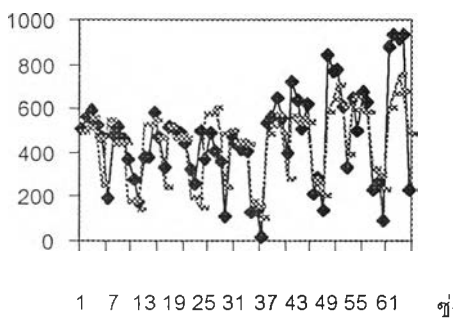
ข. วิธี REG

จำนวนหนังสือ (เล่ม)



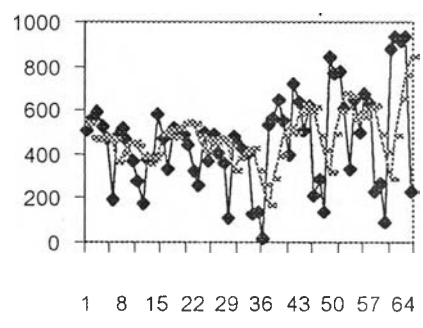
ข. วิธี B-J

จำนวนหนังสือ (เล่ม)



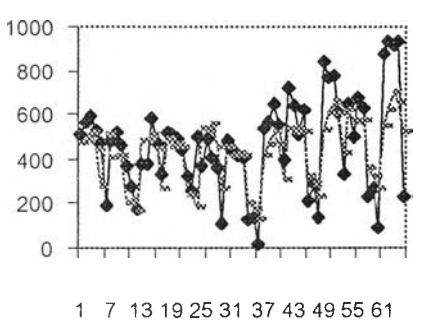
ฌ. วิธี C1

จำนวนหนังสือ (เล่ม)



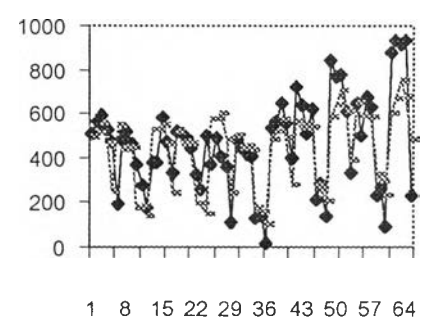
ญ. วิธี C2

จำนวนหนังสือ (เล่ม)

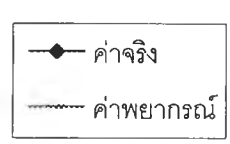


ฎ. วิธี C3

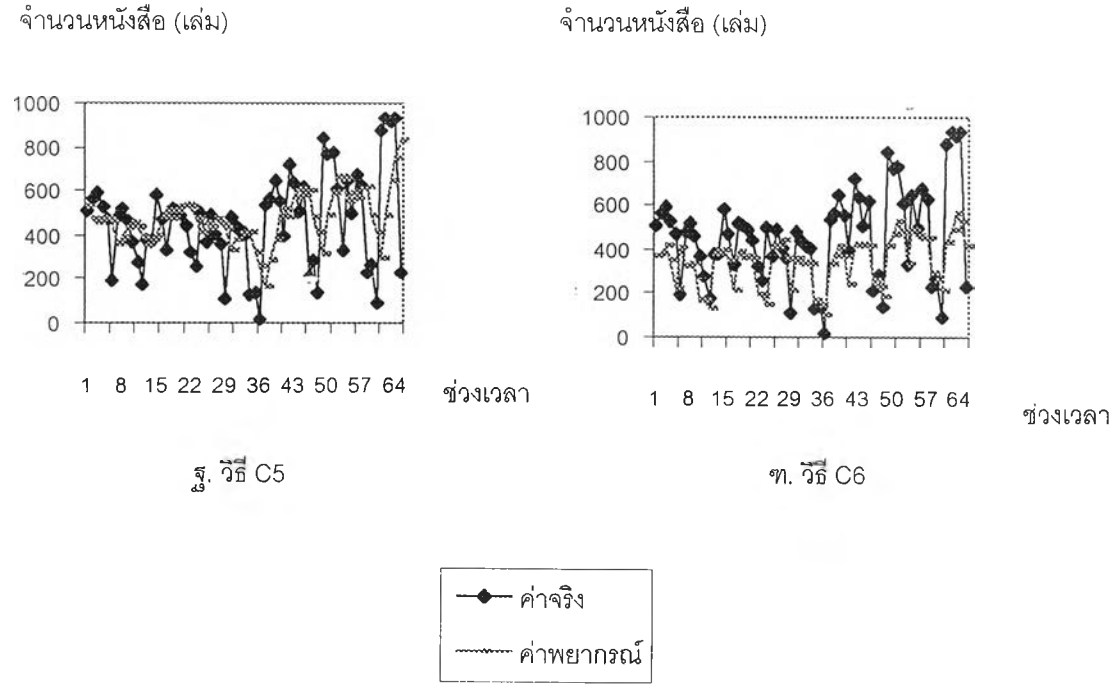
จำนวนหนังสือ (เล่ม)



ฎ. วิธี C4



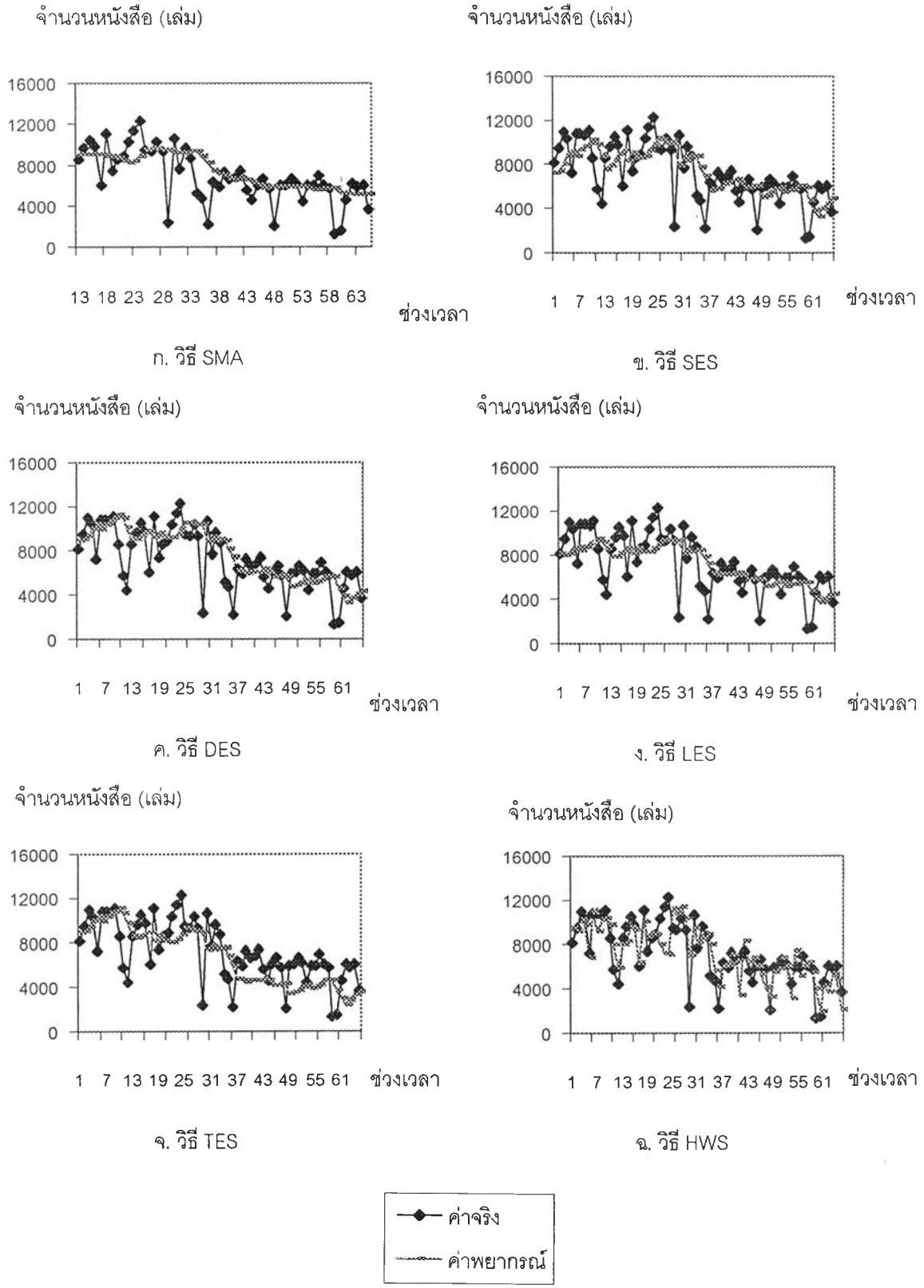
ภาพที่ 26 (ต่อ)



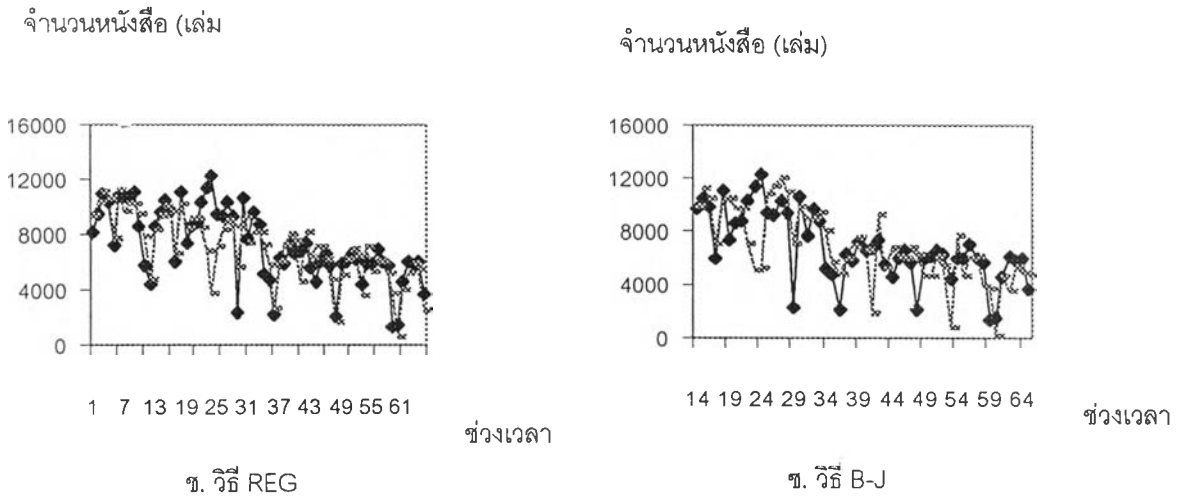
ภาพที่ 26 (ต่อ)

จากกราฟ จะพิจารณาเห็นว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงเป็นอย่างมาก คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1, 3, 4 และ 6

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3) ด้วยวิธีการพยากรณ์ทั้ง 14 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) วิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) C1 (HWS รวมกับ REG โดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C2 (SMA, SES, DES LES และ TES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C3 (SMA, SES, DES, LES, TES, HWS และ REGรวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C4 (HWS รวมกับ REG โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) C5 (SMA, SES, DES LES และ TES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) และ C6 (SMA, SES, DES, LES, TES, HWS และ REG รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าจริง ได้ผลดังภาพที่ 27

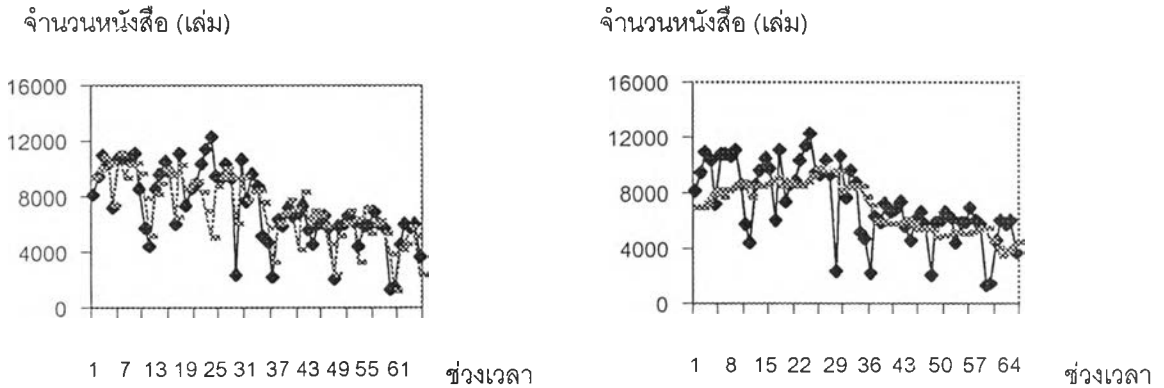


ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์ปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์



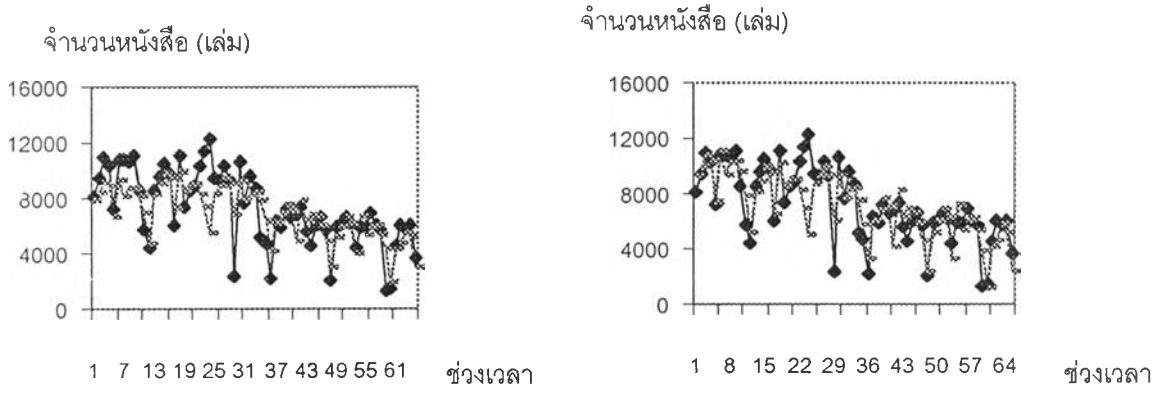
ข. วิธี REG

ข. วิธี B-J



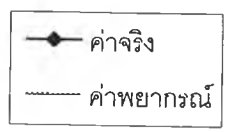
ฌ. วิธี C1

ญ.วิธี C2

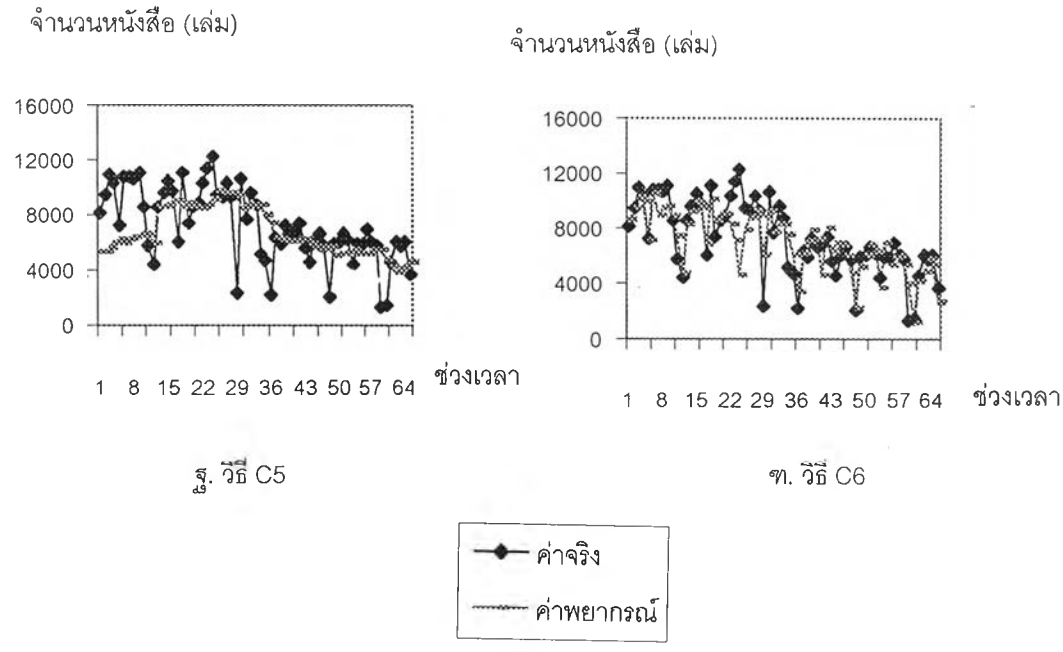


ฎ. วิธี C3

ฎ. วิธี C4



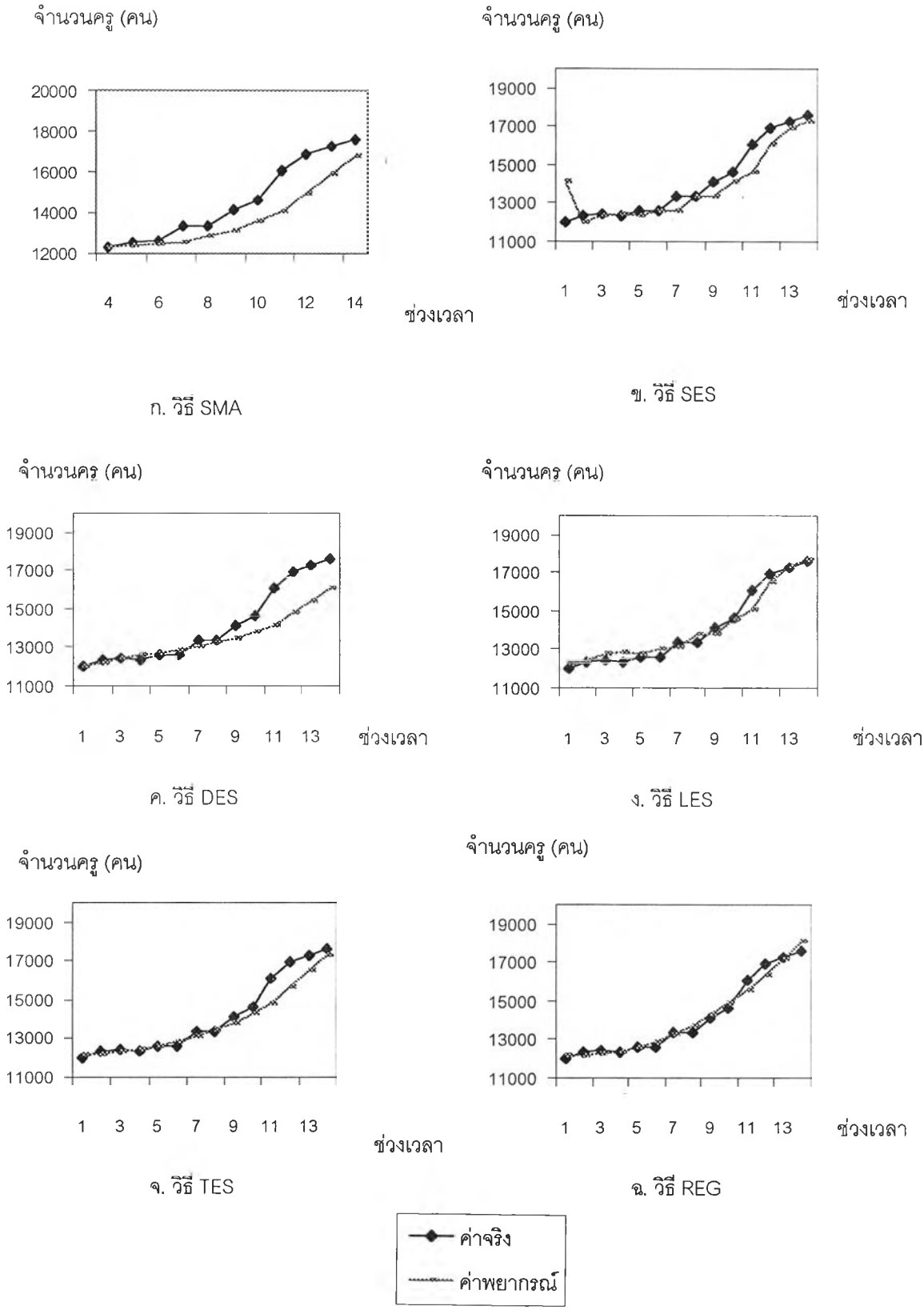
ภาพที่ 27 (ต่อ)



ภาพที่ 27 (ต่อ)

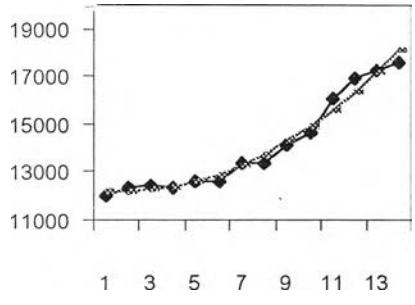
จากกราฟ จะพิจารณาเห็นว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงเป็นอย่างมาก คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1, 3, 4 และ 6

เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) ด้วยวิธีการพยากรณ์ทั้ง 12 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) C1 (TES รวมกับ REGโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C2 (SMA, SES, DES และ LES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C3 (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C4 (TES รวมกับ REG โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) C5 (SMA, SES, DES และ LES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) และ C6 (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าจริง ได้ผลดังภาพที่ 28



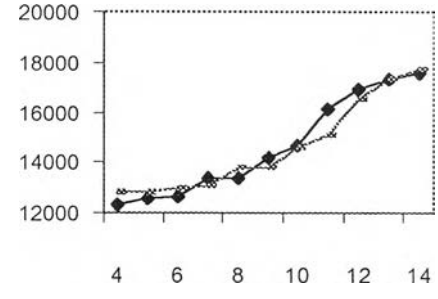
ภาพที่ 28 การเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์ของจำนวนครูวิทยาศาสตร์

จำนวนคร (คน)



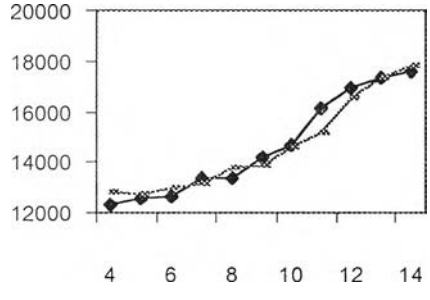
ช. วิธี C1

จำนวนครู (คน)



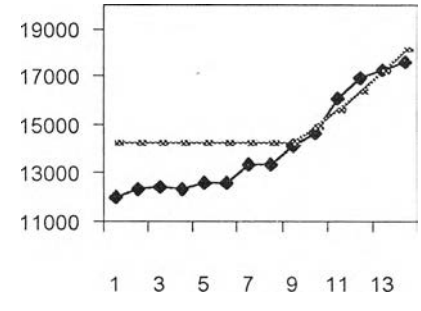
ซ. วิธี C2

จำนวนคร (คน)



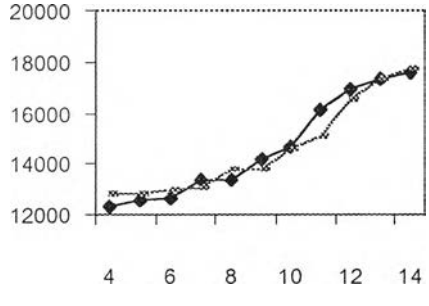
ฌ. วิธี C3

จำนวนครู (คน)



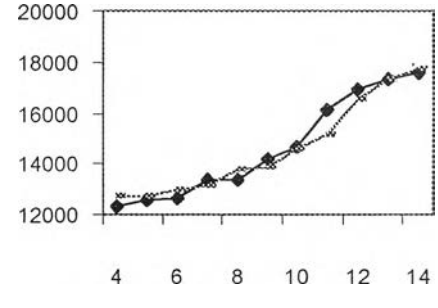
ญ. วิธี C4

จำนวนครู (คน)



ฎ. วิธี C5

จำนวนครู (คน)



ฏ. วิธี C6

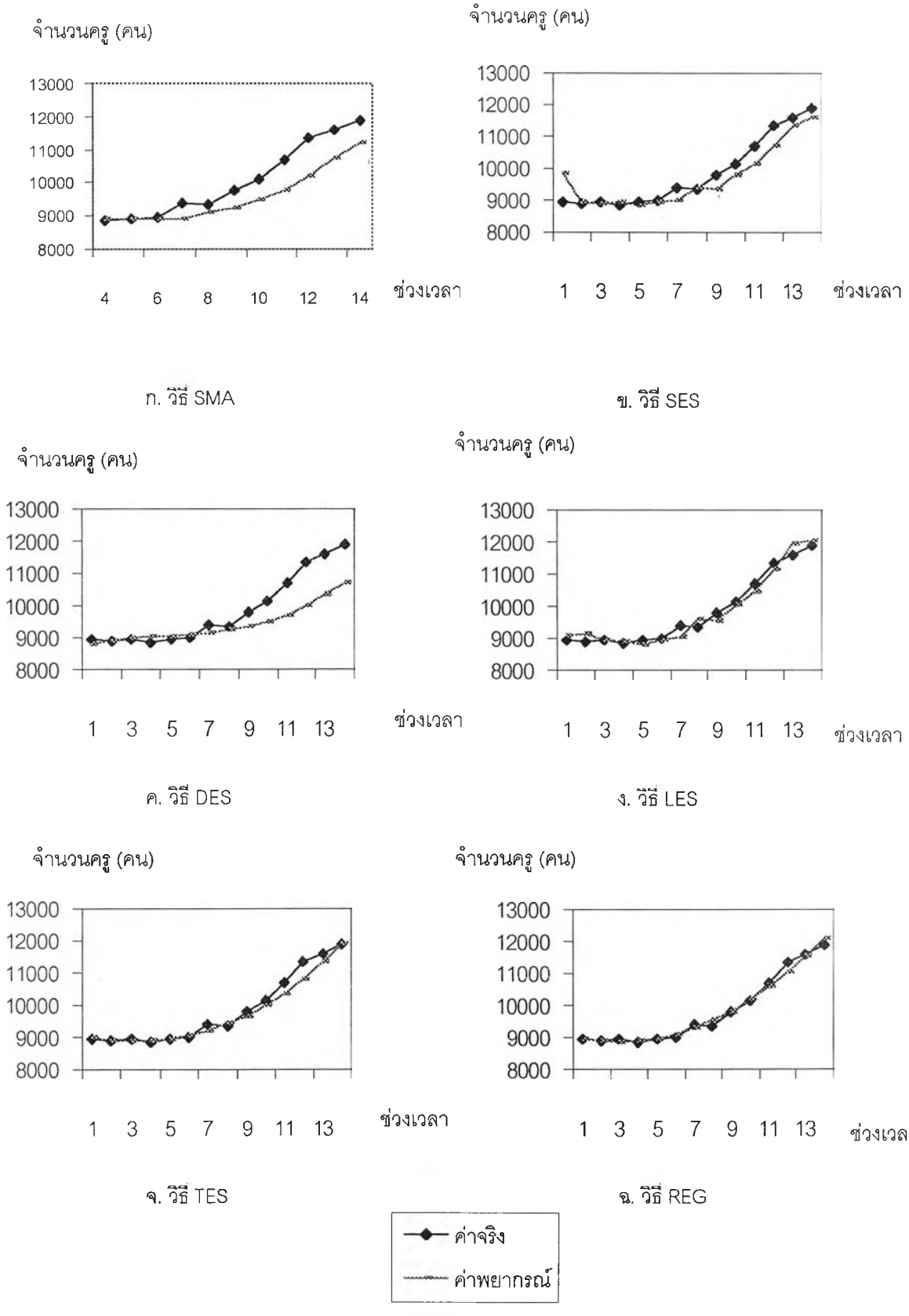
ภาพที่ 28 (ต่อ)

จากกราฟ จะพิจารณาเห็นว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงเป็นอย่างมาก คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) วิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1, 3, 4 และ 6

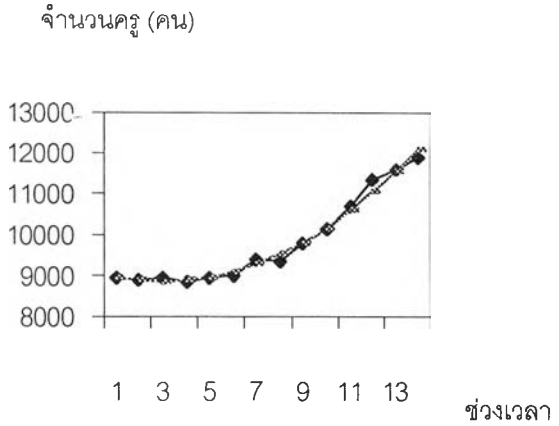
เมื่อนำผลการพยากรณ์ข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) ด้วยวิธีการพยากรณ์ทั้ง 12 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) C1 (TES รวมกับ REGโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C2 (SMA, SES, DES และLES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C3 (SMA, SES, DES, LES, TES และ REGรวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 1) C4 (TES รวมกับ REG โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) C5 (SMA, SES, DES และ LES รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) และ C6 (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG รวมกันโดยให้น้ำหนักแบบที่ 2) มาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าจริง ได้ผลดังภาพที่ 29

จากกราฟ จะพิจารณาเห็นว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีค่าพยากรณ์ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงเป็นอย่างมาก คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) วิธีการพยากรณ์ร่วมกลุ่มที่ 1, 3, 4 และ 6

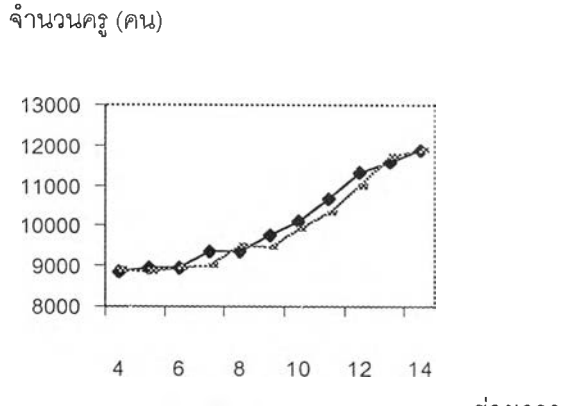
อย่างไรก็ตามการสรุปในตอนนี้ เป็นการสรุปจากการสังเกตลักษณะการเคลื่อนไหวของค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์เท่านั้น ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนได้ว่าวิธีพยากรณ์ใดมีความถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องตัดสินจากผลการคำนวณความคลาดเคลื่อน ในตอนต่อไป



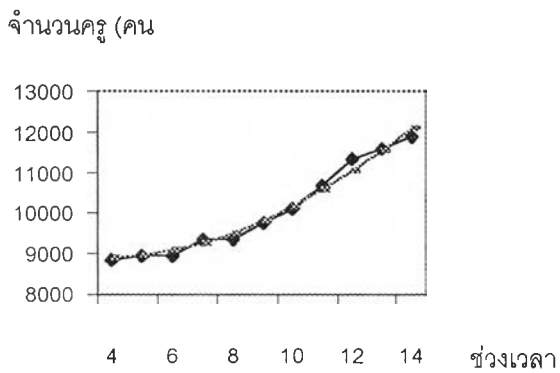
ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์ของจำนวนครูคณิตศาสตร์



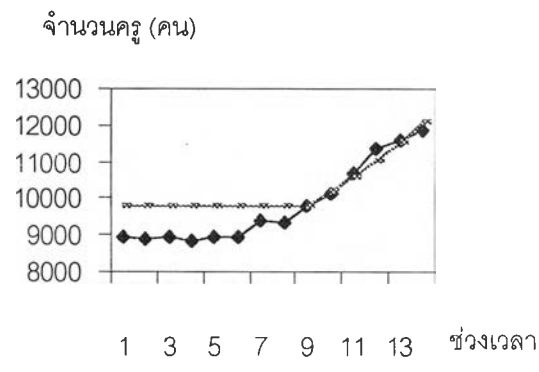
ข. วิธี C1



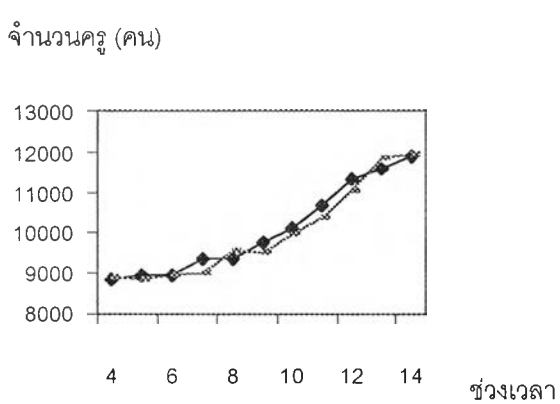
ฃ. วิธี C2



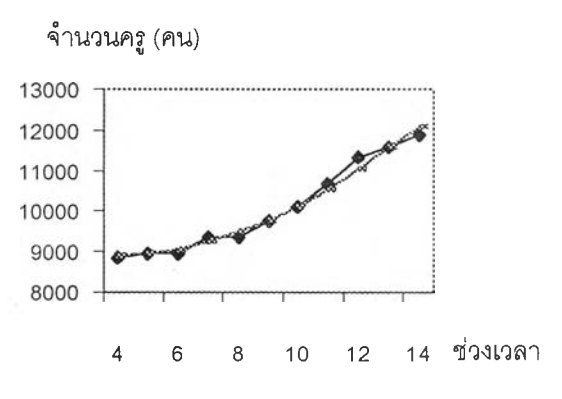
ฌ. วิธี C3



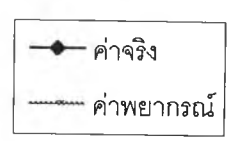
ญ. วิธี C4



ฎ. วิธี C5



ฏ. วิธี C6



ภาพที่ 29 (ต่อ)

ตอนที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ด้วยค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์

ในตอนนี้ผู้วิจัยแบ่งผลการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ด้วยค่าวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ ออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรก เป็นการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล และตอนที่สอง เป็นการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

ตอนที่ 5.2.1 การคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

ผลการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีการพยากรณ์ร่วม C4 วิธีการพยากรณ์ร่วม C1 วิธีการพยากรณ์ร่วม C6 และวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) ให้ค่าพยากรณ์อยู่ในระดับที่เชื่อถือได้ และเมื่อพิจารณาโดยละเอียด พบว่าวิธีที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) น้อยที่สุด คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C4 ซึ่งได้จากการรวมกันของวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รวมกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2 รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C1 ซึ่งได้จากการรวมกันของวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รวมกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแบบที่ 1 ดังรายละเอียดในตาราง 33

ตาราง 33 ผลการคำนวณความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย

วิธีการพยากรณ์	MAPE	MSE
C4	46.6860	1,129,401
C1	46.6977	1,129,901
C6	47.5302	1,163,467
HWS	47.5587	1,308,118
C3	50.2765	1,163,460
REG	51.6848	1,407,875
B-J	85.9047	1,947,640
DES	168.7845	3,772,775
C2	187.1622	3,260,404
C5	187.1625	3,259,340
LES	187.3652	3,458,279
SMA	199.4222	3,335,090
TES	200.0680	4,320,139
SES	225.7809	3,332,527

ผลการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) การพยากรณ์ร่วม C1 วิธีการพยากรณ์ร่วม C3 วิธีการพยากรณ์ร่วม C4 และวิธีการพยากรณ์ร่วม C6 ให้ค่าพยากรณ์อยู่ในระดับที่เชื่อถือได้ และเมื่อพิจารณาโดยละเอียด พบว่าวิธีที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) น้อยที่สุด คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C4 ซึ่งได้จากการรวมกันของวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รวมกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2 แต่เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C4 ซึ่งได้จากการรวมกันของวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รวมกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2 รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C1 ซึ่งได้จากการรวมกันของวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์

(HWS) รวมกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแบบที่ 1 ดังรายละเอียดในตาราง 34

ตาราง 34 ผลการคำนวณความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ

วิธีการพยากรณ์	MAPE	MSE
HWS	35.7743	17,218
C4	35.9461	5,479
C1	35.9470	16,437
REG	39.0538	18,322
C6	42.5527	19,179
C3	42.9675	19,232
B-J	67.6745	25,440
DES	90.7443	56,475
C2	91.3472	51,451
C5	91.4239	51,337
TES	91.5125	70,301
LES	98.9552	52,680
SES	99.6809	51,815
SMA	101.0813	49,188

ผลการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์ (BOOK3) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีการพยากรณ์ทั้ง 14 วิธี ให้ค่าพยากรณ์อยู่ในระดับที่เชื่อถือได้ และเมื่อพิจารณาโดยละเอียด พบว่าวิธีที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) น้อยที่สุด คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C1 ซึ่งได้จากการรวมกันของวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รวมกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแบบที่ 1 รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C4 ซึ่งได้จากการรวมกันของวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รวมกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2 ดังรายละเอียดในตาราง 35

ตาราง 35 ผลการคำนวณความคลาดเคลื่อนของข้อมูลปริมาณการยืมวิทยานิพนธ์

วิธีการพยากรณ์	MAPE	MSE
C1	21.7950	2,713,278
C4	21.7951	2,715,194
C6	21.9642	2,908,077
RLG	22.6227	3,245,164
C3	23.4856	2,772,833
HWS	25.8337	2,869,985
B-J	35.1837	5,221,978
LES	40.0791	4,352,920
C5	40.5003	4,390,581
C2	40.6898	4,421,405
SMA	41.3866	4,722,452
SES	41.7901	4,574,167
DES	42.3963	4,778,249
TES	42.7209	5,524,746

จากผลการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลสามารถสรุปเปรียบเทียบอันดับของวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดทุกวิธี โดยเรียงลำดับจากค่าความคลาดเคลื่อนน้อยไปมาก ได้ดังตาราง 36

ตาราง 36 การเปรียบเทียบอันดับของวิธีการพยากรณ์ของปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย ภาษาอังกฤษ และวิทยานิพนธ์

อันดับที่	BOOK1		BOOK2		BOOK3	
	MAPE	MSE	MAPE	MSE	MAPE	MSE
1	C4	C4	HWS	C4	C1	C1
2	C1	C1	C4	C1	C4	C4
3	C6	C3	C1	HWS	C6	C3
4	HWS	C6	REG	REG	REG	HWS
5	C3	HWS	C6	C6	C3	C6
6	REG	REG	C3	C3	HWS	REG
7	B-J	B-J	B-J	B-J	B-J	LES
8	DES	C5	DES	SMA	LES	C5
9	C2	C2	C2	C5	C5	C2
10	C5	SES	C5	C2	C2	SES
11	LES	SMA	TES	SES	SMA	SMA
12	SMA	LES	LES	LES	SES	DES
13	TES	DES	SES	DES	DES	B-J
14	SES	TES	SMA	TES	TES	TES

เมื่อพิจารณาในภาพรวมของข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลจะเห็นได้ว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือวิธีการพยากรณ์ร่วมที่ได้จากการนำวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รวมกับวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) และวิธีการพยากรณ์ร่วมส่วนใหญ่ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีกว่าวิธีการพยากรณ์เดี่ยว

ตอนที่ 5.2.2 การคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลนี้ เป็นข้อมูลรายปี จำนวน 14 ปี ดังนั้นวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีบ๊อกซ์-เจนกิ้นส์ (B-J) ไม่สามารถใช้พยากรณ์ข้อมูลนี้ได้ จึงมีวิธีการพยากรณ์เดี่ยวเพียง 6 วิธี และวิธีการพยากรณ์ร่วม 6 วิธี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผลการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีการพยากรณ์ทั้ง 12 วิธี ให้ค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องสูง และเมื่อพิจารณาโดยละเอียด พบว่าวิธีที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) น้อยที่สุด คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C3 ซึ่งได้จากการนำวิธีการพยากรณ์ทุกวิธีมารวมกัน (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG) โดยให้น้ำหนักของแต่ละวิธีในแบบที่ 1 รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C6 ซึ่งได้จากการนำวิธีการพยากรณ์ทุกวิธีมารวมกัน (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG) เช่นเดียวกัน แต่ต่างกันโดยให้น้ำหนักของแต่ละวิธีในแบบที่ 2 แต่เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C1 ซึ่งได้จากการนำวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) มารวมกัน โดยให้น้ำหนักของแต่ละวิธีในแบบที่ 1 ดังรายละเอียดในตาราง 37

ตาราง 37 ผลการคำนวณความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1)

วิธีการพยากรณ์	MAPE	MSE
C3	1.9449	197,645
C6	1.9607	201,391
LES	2.0826	220,843
C2	2.0976	224,557
REG	2.0981	159,136
C1	2.1006	160,481
C4	2.1031	162,011
C5	2.1212	231,321
TES	4.4177	700,619
SES	4.4210	637,184
SMA	8.5120	2,107,187
DES	9.1051	2,535,368

ผลการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีการพยากรณ์ทั้ง 12 วิธี ให้ค่าพยากรณ์ที่มีความถูกต้องสูง และเมื่อพิจารณาโดยละเอียด พบว่าวิธีที่ให้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) น้อยที่สุด คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C6 ซึ่งได้จากการนำวิธีการพยากรณ์ทุกวิธีมารวมกัน (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG) โดยให้น้ำหนักของแต่ละวิธีในแบบที่ 2 รองลงมา คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C3 ซึ่งได้จากการนำวิธีการพยากรณ์ทุกวิธีมารวมกัน (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG) โดยให้น้ำหนักของแต่ละวิธีในแบบที่ 1 และเมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่ให้ผลการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือวิธีการพยากรณ์ร่วม C6 ซึ่งได้จากการนำวิธีการพยากรณ์ทุกวิธีมารวมกัน (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG) โดยให้น้ำหนักของแต่ละวิธีในแบบที่ 2 รองลงมา คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) ดังรายละเอียดในตาราง 38

ตาราง 38 ผลการคำนวณความคลาดเคลื่อนของข้อมูลข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2)

วิธีการพยากรณ์	MAPE	MSE
C6	1.0188	27,101
C3	1.1340	28,501
REG	1.1514	28,195
C1	1.1528	28,442
C4	1.1544	28,783
LES	1.9688	53,972
C5	2.0424	56,616
TES	2.0630	79,898
C2	2.1353	66,944
SES	3.9001	200,427
SMA	7.2850	681,175
DES	8.7805	1,059,122

จากผลการคำนวณค่าวัดความถูกต้องของข้อมูลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล สามารถสรุปเปรียบเทียบอันดับของวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดทุกวิธี โดยเรียงลำดับจากค่าความคลาดเคลื่อนน้อยไปมาก ได้ดังตาราง 39

ตาราง 39 การเปรียบเทียบอันดับของวิธีการพยากรณ์ของข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์

อันดับที่	TEACH1		TEACH2	
	MAPE	MSE	MAPE	MSE
1	C3	REG	C6	C6
2	C6	C1	C3	REG
3	LES	C4	REG	C1
4	C2	C3	C1	C3
5	REG	C6	C4	C4
6	C1	LES	LES	LES
7	C4	C2	TES	C5
8	C5	C5	C5	C2
9	TES	SES	C2	TES
10	SES	TES	SES	SES
11	SMA	SMA	SMA	SMA
12	DES	DES	DES	DES

เมื่อพิจารณาในภาพรวมของข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาลจะเห็นได้ว่าวิธีการพยากรณ์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด คือวิธีการพยากรณ์ร่วมที่ได้จากการนำวิธีการพยากรณ์ทุกวิธี (SMA, SES, DES, LES, TES และ REG) มารวมกัน และวิธีการพยากรณ์ร่วมส่วนใหญ่ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีกว่าวิธีการพยากรณ์เดี่ยว

ตอนที่ 6 ผลการพยากรณ์ล่วงหน้า

สาระในตอนนี้เป็นการนำเสนอผลการพยากรณ์ 10 ช่วงเวลาล่วงหน้า ของวิธีที่เหมาะสมที่สุดของข้อมูลแต่ละประเภท โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็น 2 ตอน คือ ตอนแรก เป็นการนำเสนอของข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล และตอนที่สอง เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 6.1 ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแนวโน้มและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาไทย (BOOK1) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C4 ซึ่งได้จากการรวมกันของวิธีที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล ได้แก่ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) รวมกับ วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแบบที่ 2 ได้ค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้า ในเดือนพฤศจิกายน 2542 ถึงเดือนสิงหาคม 2543 คือ 4,786, 4,554, 4,868, 5,091, 2,869, 2,811, 2,290, 4,695, 5,321 และ5,751 เล่ม ตามลำดับ

ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือภาษาอังกฤษ (BOOK2) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ วิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) ได้ค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้า ในเดือนพฤศจิกายน 2542 ถึงเดือนสิงหาคม 2543 คือ 789, 718, 723, 710, 448, 433, 379, 750, 771 และ 821 เล่ม ตามลำดับ

เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C4 ซึ่งเป็นการรวมวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแต่ละวิธีในแบบที่ 2 ได้ค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้า ในเดือนพฤศจิกายน 2542 ถึงเดือนสิงหาคม 2543 คือ 722, 674, 680, 669, 408, 395, 339, 726, 751 และ 796 เล่ม ตามลำดับ

ข้อมูลปริมาณการยืมหนังสือวิทยานิพนธ์ (BOOK3) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C1 ซึ่งเป็นการรวมวิธีการปรับให้เรียบแบบโฮลท์-วินเทอร์ (HWS) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแต่ละวิธีในแบบที่ 1 ได้ค่าพยากรณ์ 10 เดือนล่วงหน้า ในเดือนพฤศจิกายน 2542 ถึงเดือนสิงหาคม 2543 คือ 9,740, 8,057, 8,754, 8,833, 8,078, 6,605, 4,254, 7,372, 8,155 และ 9,091 เล่ม ตามลำดับ

ตอนที่ 6.2 ข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากฤดูกาล

ข้อมูลจำนวนครูวิทยาศาสตร์ (TEACH1) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม C3 ซึ่งเป็นการรวมวิธีการพยากรณ์ทั้ง 6 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของบราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแต่ละวิธีในแบบที่ 1 ได้ค่าพยากรณ์ 10 ปี ในปีการศึกษา 2542 ถึง 2551 คือ 18,189, 18,714, 19,251, 19,801, 20,362, 20,937, 21,523, 22,122, 22,733 และ 23,356 ปี ตามลำดับ

เมื่อใช้ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) ได้ค่าพยากรณ์ 10 ปีล่วงหน้า ในปีการศึกษา 2542 ถึง 2551 คือ 19,128, 20,209, 21,369, 22,607, 23,924, 25,318, 26,790, 28,341, 29,969 และ 31,676 ปี ตามลำดับ

ข้อมูลจำนวนครูคณิตศาสตร์ (TEACH2) เมื่อใช้ค่าเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (MSE) เป็นเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการพยากรณ์ คือ วิธีการพยากรณ์ร่วม (C6) ซึ่งเป็นการรวมวิธีการพยากรณ์ทั้ง 6 วิธี ได้แก่ วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (SMA) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลครั้งเดียว (SES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของบราวน์ (DES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 2 ครั้งตามแบบของโฮลท์ (LES) วิธีการปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล 3 ครั้งตามแบบของ บราวน์ (TES) และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (REG) โดยให้น้ำหนักแต่ละวิธีในแบบที่ 2 ได้ค่าพยากรณ์ 10 ปีล่วงหน้า ในปีการศึกษา 2542 ถึง 2551 คือ 12,637, 13,239, 13,887, 14,581, 15,320, 16,104, 16,934, 17,809, 18,730 และ 19,696 ปี ตามลำดับ