

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 แผนงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินการ
1. กำหนดแผนการดำเนินงานและเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน	มกราคม 2559
2. รวบรวมข้อมูลทุติยภูมิด้านการวิจัยสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงบนพื้นที่สูงของประเทศไทย	มกราคม 2559
3. ส่งรายงานการศึกษาเบื้องต้น	สิ้นเดือนมกราคม 2559
4. รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมวิทยานบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย	มกราคม - กุมภาพันธ์ 2559
5. วิเคราะห์ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยานบนพื้นที่สูง	มีนาคม - เมษายน 2559
6. ส่งรายงานความก้าวหน้า	พฤษภาคม 2559
7. การปรับปรุงแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศในอนาคตในระยะสั้นของปีงบประมาณ 2558	พฤษภาคม - มิถุนายน 2559
8. การสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศในอนาคตในระยะสั้น สำหรับปีงบประมาณ 2559	มิถุนายน - กรกฎาคม 2559
9. วิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูง เทียบกับแบบจำลอง (Calibration and Verification)	กรกฎาคม 2559
10. ส่งร่างรายงานฉบับสมบูรณ์	พฤศจิกายน 2559
11. จัดทำฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูง	สิงหาคม - พฤศจิกายน 2559
12. จัดการอบรมการใช้งานแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูง	พฤศจิกายน 2559
13. ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์	ธันวาคม 2559

คณะผู้วิจัยได้วางแผนการทำงานตลอดโครงการเป็นระยะเวลาการดำเนินงานรวม 360 วัน นับแต่นามในสัญญา และมีสถานที่ดำเนินการวิจัย คือ พื้นที่ปฏิบัติงานของโครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงและ/หรือสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง ดังแสดงในตารางแผนงาน โดยทำการรวบรวมผลจากงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูง ที่มีอยู่แล้วจากหน่วยงานต่างๆ และจากวารสารการวิจัยที่ตีพิมพ์ เพื่อให้ได้คลังข้อมูลปัจจุบันสำหรับการประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่สูงของประเทศไทยในเดือนมกราคม 2559 เพื่อใช้ประกอบการจัดทำรายงานการศึกษาเบื้องต้นฉบับนี้

คณะผู้วิจัยได้คัดเลือกแหล่งข้อมูลและวางแผนการส่งหนังสือขอความอนุเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนและรายปีจากศูนย์ตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาที่ 200 ศูนย์ทั้งในพื้นที่สูงและพื้นที่อื่นๆ ในภาคเหนือ ซึ่งประกอบด้วย สถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) สถานี

ตรวจวัดสภาพอากาศโครงการหลวง กรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และสถาบันพัฒนาสารสนเทศทรัพยากรน้ำ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาบนพื้นที่สูง ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิ (เฉลี่ยสูงสุด ต่ำสุด) ปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์ ที่มีการเก็บข้อมูลต่อเนื่องมากกว่า 5 ปี ซึ่งพบว่า ชนิดของข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มีความสอดคล้องกันมากที่สุดดังที่จะได้กล่าวต่อไปในหัวข้อที่ 4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของประเทศไทย

จากนั้น คณะผู้วิจัยจะทำการปรับปรุงแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศในอนาคตในระยะสั้นของปีงบประมาณ 2558 ที่สำเร็จแล้ว ซึ่งเป็นแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลบนพื้นที่สูง (ทุกๆ 4 เดือน) โดยใช้ข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปีได้ และสามารถใช้ตัวแปรทางด้านภูมิอากาศเดียวกันกับตัวแปรที่มีการบันทึกโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) เพื่อใช้ในการพยากรณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้า พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศในอนาคตในระยะสั้น สำหรับปีงบประมาณ 2559 เพิ่มเติม โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่มีการบันทึกโดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดทั้งรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์ (Calibration-Verification) และจัดส่งรายงานฉบับสมบูรณ์ภายในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2559

แผนงานขั้นสุดท้าย คือ การจัดทำฐานข้อมูลและระบบสารสนเทศสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงและจัดการอบรมการใช้งานแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงที่มีการเชื่อมต่อกับเว็บไซต์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) พร้อมทั้งจัดส่งรายงานฉบับสมบูรณ์ภายในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

4.2 แหล่งที่มาของข้อมูล

- กรมอุตุนิยมวิทยา จำนวน 30 สถานี (ตารางที่ 4-1)
- สถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) จำนวน 28 สถานี (ตารางที่ 4-2)

ตารางที่ 4-1 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

สถานีที่	ชื่อสถานี	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงจากระดับน้ำทะเล
ST1-1	อำเภอเมือง	แม่ฮ่องสอน	289847	2135235	940
ST1-2	อำเภอแม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน	387181	2008953	240
ST1-3	อำเภอเมือง	เชียงราย	599199	2207489	480
ST1-4	อำเภอเมือง	เชียงราย	581951	2197378	420
ST1-5	อำเภอเมือง	พะเยา	594652	2115824	440
ST1-6	อำเภอฝาง	เชียงใหม่	505058	2203890	1580
ST1-7	อำเภอเมือง	เชียงใหม่	497570	2077592	340
ST1-8	อำเภอเมือง	ลำปาง	554608	2021610	300

สถานีที่	ชื่อสถานี	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงจากระดับน้ำทะเล
ST1-9	อำเภอเถิน	ลำปาง	524899	1949820	180
ST1-10	อำเภอห้างฉัตร	ลำปาง	529941	2025244	280
ST1-11	อำเภอเมือง	ลำพูน	503517	2052882	320
ST1-12	อำเภอเมือง	แพร่	623397	2009017	180
ST1-13	อำเภอเมือง	น่าน	687380	2077391	330
ST1-14	อำเภอเมือง	น่าน	684356	2086985	360
ST1-15	อำเภอท่าวังผา	น่าน	691980	2114061	300
ST1-16	อำเภอทุ่งช้าง	น่าน	697960	2147492	380
ST1-17	อำเภอเมือง	อุตรดิตถ์	616704	1948115	80
ST1-18	อำเภอศรีสำโรง	สุโขทัย	585109	1891468	60
ST1-19	อำเภอศรีสำโรง	สุโขทัย	592172	1898198	60
ST1-20	อำเภอเมือง	ตาก	515267	1866101	200
ST1-21	อำเภอแม่สอด	ตาก	452103	1841905	240
ST1-22	อำเภอสามเงา	ตาก	505316	1905369	240
ST1-23	อำเภอเมือง	ตาก	492894	1851900	940
ST1-24	อำเภออุ้มผาง	ตาก	485617	1770691	1820
ST1-25	อำเภอเมือง	พิษณุโลก	634991	1856017	40
ST1-26	อำเภอเมือง	เพชรบูรณ์	729575	1818088	140
ST1-27	อำเภอหล่มสัก	เพชรบูรณ์	739775	1855870	580
ST1-28	อำเภอวิเชียรบุรี	เพชรบูรณ์	725999	1732112	100
ST1-29	อำเภอเมือง	กำแพงเพชร	556924	1822475	80
ST1-30	อำเภอเมือง	พิจิตร	637991	1817832	40

ตารางที่ 4-2 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

สถานีที่	ชื่อสถานี	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงจากระดับน้ำทะเล
ST2-1	ขุนสถาน	น่าน	657837.1	2023845.45	1039
ST2-2	คลองลาน	กำแพงเพชร	545283.96	1765255.81	181
ST2-3	ดอยปุย	เชียงใหม่	487341	2080312	1230
ST2-4	ถ้ำเวียงแก	จ.น่าน	684208.73	2133879.69	745
ST2-5	น้ำแขวง	น่าน	661205	2015426	351
ST2-6	น้ำเค็ม	น่าน	652857.42	2002151.35	317
ST2-7	น้ำแบ่ง	น่าน	678497	2123133	410
ST2-8	ปากกล้วย	จ.เชียงใหม่	454835.98	2028378.74	1359
ST2-9	ปางยาง	จ.น่าน	709954.71	2116853.73	852
ST2-10	ปางหินฝน	จ.เชียงใหม่	418605.5	2046470.39	1407
ST2-11	ป่าแป๋	เชียงใหม่	468053.98	2117292.65	762

สถานีที่	ชื่อสถานี	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงจากระดับน้ำทะเล
ST2-12	ปางแดงใน	เชียงใหม่	503703.94	2139338.62	495
ST2-13	ปางมะโอ	เชียงใหม่	489862.96	2131538.64	1049
ST2-14	ห้วยเป้า	เชียงใหม่	497204.62	2163322.6	1381
ST2-15	โป่งคำ	น่าน	703617.74	2091363.75	281
ST2-16	ผาแตก	เชียงใหม่	475410.97	2109271.66	668
ST2-17	แม่จริม	น่าน	713480.64	2084700.24	369
ST2-18	แม่มะล่อ	เชียงใหม่	440850	2058835.72	1020
ST2-19	แม่สลอง	เชียงราย	564202.27	2228067.39	1136
ST2-20	แม่สลอง	ตาก	416847.98	1935975.8	855
ST2-21	แม่สามแลบ	แม่ฮ่องสอน	369998	1970687	282
ST2-22	วังไผ่	น่าน	672504.74	2142750.68	492
ST2-23	วาวี	เชียงราย	559500.87	2191044.57	1381
ST2-24	สบโขง	เชียงใหม่	420805.99	1955677.79	1122
ST2-25	สบเมย	แม่ฮ่องสอน	375971.89	1971684.31	698
ST2-26	สะเนียน	น่าน	676572.77	2091254.73	278
ST2-27	ห้วยเขย่ง	กาญจนบุรี	448846.9	1625064.72	188
ST2-28	โหล่งขอด	เชียงใหม่	522445.32	2115527.29	521

4.3 ข้อมูลสถิติภูมิอุตุนิยมวิทยาการวิจัยสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงบนพื้นที่สูงของประเทศไทย

คณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลสถิติภูมิอุตุนิยมวิทยาการวิจัยสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงบนพื้นที่สูงของประเทศไทย และแบ่งกลุ่มการวิจัยสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงบนพื้นที่สูงออกเป็น 2 กลุ่ม คือ การวิจัยโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่มีการจดบันทึกไว้โดยหน่วยงานต่างๆ อาทิ กรมอุตุนิยมวิทยา และสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) เป็นต้น และการวิจัยโดยใช้ข้อมูลเทียบเคียง เช่น ข้อมูลจากวงปีไม้ หินงอก-หินย้อย และละอองเรณู เป็นต้น

IPCC (2007) รายงานระดับอุณหภูมิในเขตภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2504 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 0.1-0.3 องศาเซลเซียส/ทศวรรษ โดยปริมาณน้ำฝนรวมจะมีแนวโน้มลดลง แต่ระดับน้ำทะเลจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นประมาณ 1-3 มิลลิเมตร/ปี และมีโอกาสที่จะเกิดภาวะความรุนแรงของสภาพอากาศเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ Yoshino (1980) ศึกษาความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงและพื้นที่ราบลุ่มในประเทศไทย พบว่า การขาดแคลนน้ำเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในฤดูหนาวบนพื้นที่สูง น้ำค้างแข็งสามารถเกิดได้ค่อนข้างบ่อยบนพื้นที่สูง และอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นบ่อยครั้งในเดือนเมษายนสามารถพบได้ทั้งพื้นที่ราบลุ่มและพื้นที่สูง นอกจากนี้ จำนวนวันที่มีหมอกและวันที่มีฝนตกในช่วงรอยต่อของฤดูกาลมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างที่ราบสูงและที่ราบลุ่ม

แสงจันทร์ ลิมจิรกาล และคณะ (2552) ได้นำดัชนีชี้วัดสถานะความรุนแรงของฝน และวิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดต่างๆ ทำการวิเคราะห์แนวโน้มและการเปลี่ยนแปลง พบว่า ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ปริมาณฝนรวมรายปีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในช่วงเดือน

พฤศจิกายน-เมษายน จำนวนวันที่ฝนตกได้เพิ่มขึ้นในภาคเหนือตอนล่างและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (0.8 วันต่อปี) ในขณะที่ความรุนแรงของฝนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกภาค ทำให้ความรุนแรงของฝนรวมทั้งประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตรา 0.6 มิลลิเมตรต่อวันต่อในช่วงเวลา 10 ปี และปริมาณฝนที่มากกว่าปกติ (สัดส่วนของปริมาณฝนที่มากกว่าหรือเท่ากับเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95% สามารถพบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลาง รวมทั้งกรุงเทพมหานคร ทั้งนี้ พื้นที่ที่มีคะแนนสูงสุดทางบวก (ความรุนแรงของฝนมากขึ้นหรือมีปริมาณฝนมากกว่าปกติ) เกิดขึ้นที่สถานีตรวจวัดอากาศในจังหวัดพะเยา แม่ฮ่องสอน และนครศรีธรรมราช ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก 0.016 องศาเซลเซียสต่อทศวรรษ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั่วโลกอาจส่งผลให้เกิดการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพของพืช โดย Tangjitman *et al.* (2015) ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อรูปแบบการกระจายพันธุ์ของพืชสมุนไพรที่ผู้หญิงชาวกะเหรี่ยงทางภาคเหนือของประเทศไทยใช้เพื่อดูแลสุขภาพ จำนวน 9 ชนิด พบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่ค่อนข้างสูงและปริมาณสูง มีแนวโน้มที่จะทำให้อัตราการกระจายพันธุ์ของพืชสมุนไพรเหล่านี้ในปี ค.ศ. 2050 และ ค.ศ. 2080 ลดลงจำนวน 8 ชนิด เนื่องจากมีพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเติบโตลดลง ส่วนสมุนไพรอีก 1 ชนิด จะมีพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเติบโตเพิ่มมากขึ้น ส่วน Trisurat *et al.* (2009) คาดการณ์การกระจายและการปรับตัวของพรรณไม้ในป่าทางภาคเหนือของประเทศไทย จากข้อมูลระดับอุณหภูมิต่ำสุดในเดือนที่มีความหนาวเย็นมากที่สุดและปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาที่แห้งแล้งและหนาวเย็นที่สุด พบว่า ชนิดพันธุ์พืชในสภาพภูมิอากาศปัจจุบันกับสภาพภูมิอากาศที่คาดการณ์ในอนาคตไม่แตกต่างกันมากนัก พื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช จำนวน 10 ชนิด อาจะหมดไปประมาณ 2-13% ขณะที่พืชอีก 12 ชนิด จะมีพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการเติบโตเพิ่มมากขึ้น ค่าความร้ายแรงของชนิดพันธุ์พืชในป่าไม่ผลัดใบจะเลื่อนขึ้นไปทางทิศเหนือที่มีอุณหภูมิต่ำตามที่คาดการณ์ไว้ในปี ค.ศ. 2050 ในขณะที่ไม้ผลัดใบจะมีขอบเขตการกระจายพันธุ์เพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ การศึกษาการรับรู้และการปรับตัวของเกษตรกรบนพื้นที่สูงต่อความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ (ฤทธิ์เดช สุตา และคณะ, 2557) พบว่า เกษตรกรบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือจำนวน 109 ราย มีการรับรู้ต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศกว่าร้อยละ 65 จากข่าวสาร การสังเกต และการได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อม อาทิ จำนวนสัตว์ป่าและแมลงที่ลดลง ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น การเกิดฝนทิ้งช่วง การขาดแคลนแหล่งน้ำ และการเกิดน้ำท่วม ซึ่งเกษตรกรได้มีการปรับตัวและแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าโดยการเลื่อนช่วงเวลาในการเพาะปลูกออกไป การเปลี่ยนชนิดพืชที่ปลูก การทิ้งให้พื้นที่กร้าง การหาอาชีพเสริม และการขุดบ่อเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เกิดการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอย่างมีแบบแผนและเป็นระบบ จึงควรมีงานวิจัยที่ช่วยสนับสนุน เพื่อช่วยตัดสินใจในการปรับตัวและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบการเกษตรบนพื้นที่สูงภายใต้ความแปรปรวนของสภาพอากาศที่มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น

สำหรับการศึกษาสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงบนพื้นที่สูงของประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลเทียบเคียง Pumijumnong (1995) Pumijumnong *et al.* (1995a และ 1995b) ได้ทำการเก็บข้อมูลลงปีไม้สักบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยครอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด คือ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำพูน จังหวัดแพร่ จังหวัดตาก และจังหวัดลำปาง พบว่า ปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิในช่วง พ.ศ. 2413-2454 หรือ ค.ศ. 1870-1911

มีแนวโน้มที่จะต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในปัจจุบัน ในขณะที่ข้อมูลภูมิอากาศในช่วงปัจจุบัน (พ.ศ. 2454-2533 หรือ ค.ศ. 1911-1990) มีความแปรปรวนมากกว่าในอดีต นอกจากนี้ นาฏสุตา ภูมิจำนงค์ (2548) ยังพบว่า เส้นดัชนีไม้สักที่เป็นตัวแทนสภาพภูมิอากาศในอดีตของภาคเหนือของประเทศไทย โดยในช่วง พ.ศ. 2133-2223 ปริมาณน้ำฝนมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยพร้อมกับมีระดับอุณหภูมิที่ลดต่ำลง ในช่วง พ.ศ. 2233-2343 ปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยแต่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย และในช่วง พ.ศ. 2343-2433 ปริมาณน้ำฝนกลับมาสูงกว่าค่าเฉลี่ย และมีอุณหภูมิลดต่ำลง ส่วนช่วงสุดท้ายในปี พ.ศ. 2433-ปัจจุบัน พบว่า มีปริมาณน้ำฝนลดน้อยลง แต่ยังคงสูงกว่าในช่วง พ.ศ. 2233-2343 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า กว่าสามร้อยปีที่ผ่านมาสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง โดยมีระดับอุณหภูมิแตกต่างกันประมาณ 0.05-0.1 องศาเซลเซียส (ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน) และปริมาณฝนในอดีตมีมากกว่าปัจจุบัน ประมาณ 0.69 มิลลิเมตร (ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงกรกฎาคม) ในขณะนั้น กฤษฎาพันธุ์ ผลากิจ และคณะ (2004) ได้ทำการขยายเส้นดัชนีวงปีไม้สัก โดยใช้วงปีไม้สักที่มีชีวิตและต่อไม้สักจากจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งมีความยาวรวมถึง 403 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2170-2547 จากนั้นทำการจำลองปริมาณน้ำฝนในเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม และอุณหภูมิในเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน ครอบคลุมช่วงเวลาระหว่างปี พ.ศ. 2170-2547 พบช่วงเวลาที่แห้งแล้งในทศวรรษที่ 17 เช่นเดียวกับการศึกษาของนาฏสุตา ภูมิจำนงค์ (2548)

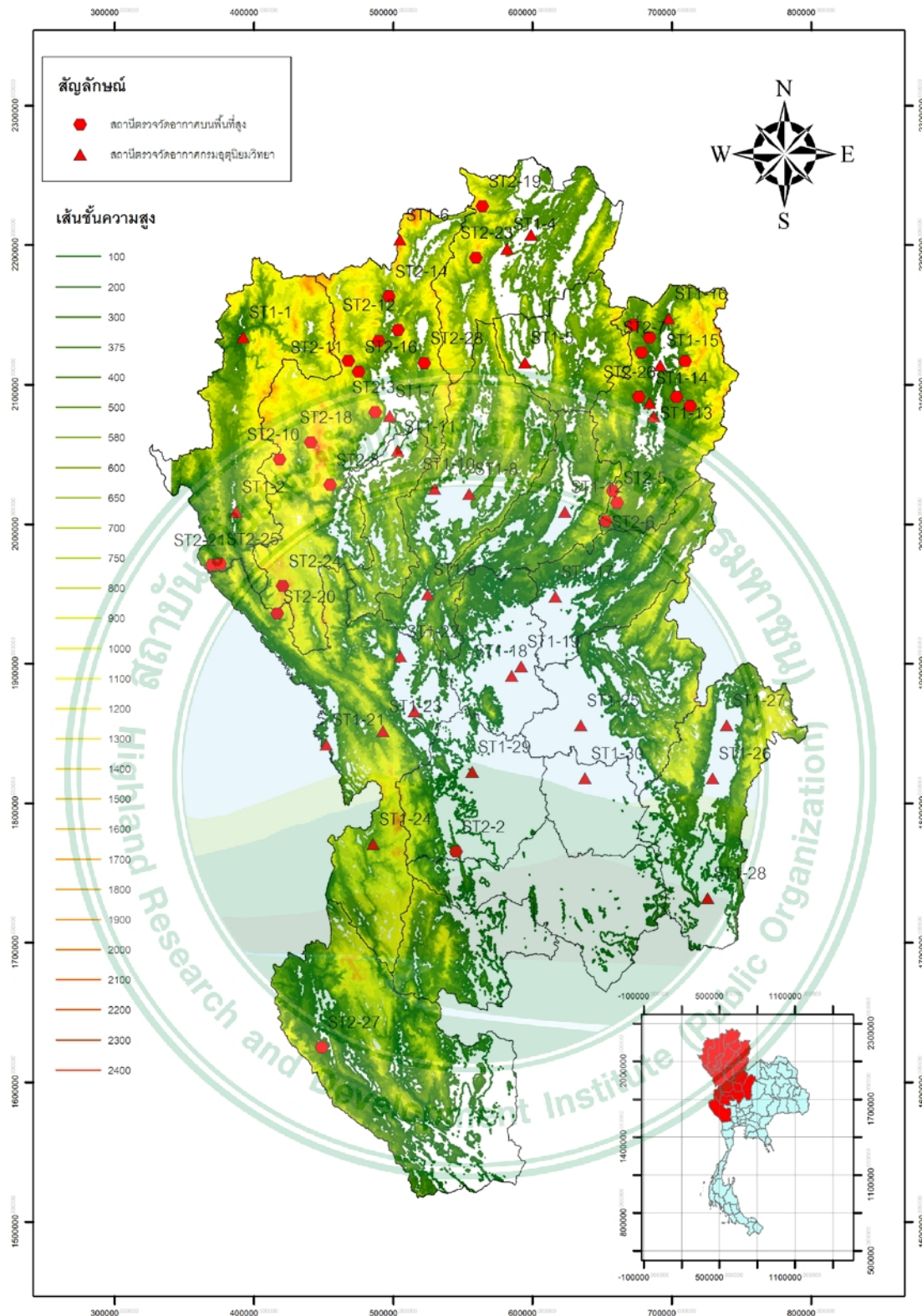
สำหรับการศึกษาวงปีไม้สนสองใบ (*Pinus merkusii*) และสนสามใบ (*P. kesiya*) ในเขตพื้นที่สูงภาคตะวันตกและภาคเหนือของประเทศไทย โดย Pumijumnong and Eckstein (2011) ทำให้ได้ข้อมูลการเติบโตของไม้สนและสภาพภูมิอากาศในอดีตย้อนหลังไป 314 ปี โดยพบสภาพอากาศแบบเย็น-ชื้น (อุณหภูมิต่ำกว่า 28 องศาเซลเซียส) ในปี ค.ศ. 1842-1860, ค.ศ. 1910-1930, ค.ศ. 1938-1945, ค.ศ. 1962-1978 และ ค.ศ. 1990-2000 และสภาพอากาศแบบร้อน-แห้ง ในปี ค.ศ. 1880-1910, ค.ศ. 1950-1965 และ ค.ศ. 1980-1990 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาวงปีไม้สนจากพื้นที่อุทยานแห่งชาติภูกระดึงโดย D'Arrigo *et al.* (1997) ซึ่งระบุว่าปี ค.ศ. 1979 เป็นปีที่แห้งแล้ง ผลการศึกษาความกว้างวงปีไม้สนครั้งนี้ ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Buckley *et al.* (2007) และ Pumijumnong (2013) ที่ระบุว่าตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อลักษณะอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทย คือ ความแปรผันของ ENSO และ IOD

นอกจากการศึกษากว้างวงปีของไม้สนแล้ว Xu *et al.* (2015) ได้ศึกษาไอโซโทปออกซิเจนของวงปีไม้สนสองใบ เพื่อใช้ในการจำลองปริมาณน้ำฝนในพื้นที่สูงทางภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทยย้อนหลังไปตั้งแต่ปี ค.ศ. 1828-2000 การศึกษาครั้งนี้ระบุว่า ไอโซโทปออกซิเจนในวงปีมีความเชื่อมโยงกับ eastern-Pacific (EP) ENSO ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1871 แต่ในช่วง 20 ปีสุดท้ายซึ่งไอโซโทปออกซิเจนของวงปีน่าจะเชื่อมโยงกับ Walker circulation มากกว่า EP ENSO ซึ่งถูกควบคุมโดย IOD (Nakamura *et al.*, 2009) นอกจากนี้ Muangsong *et al.* (2014) ได้ศึกษาออกซิเจนไอโซโทปในหินงอกหินย้อยจากถ้ำในแม่ฮ่องสอน เพื่อบ่งบอกถึงปริมาณน้ำฝนในพื้นที่สูงของแม่ฮ่องสอนในช่วงเวลา 387 ปี พบว่า พื้นที่ที่ทำการศึกษาได้เกิดฝนตกหนักและมีความรุนแรงในช่วงที่ IOD และ ENSO เกิดขึ้น ส่วน Cai *et al.* (2010) ศึกษาหินงอกหินย้อยอายุ 105 ปี ในพื้นที่แม่ฮ่องสอน พบว่า ปริมาณน้ำฝนอาจจะมีเกี่ยวข้องและได้รับผลกระทบจาก Western Pacific Warm Pool (WPWP)

รัฐพงษ์ พวงทับทิม (1998) ทำการศึกษาละอองเรณูและสปอร์ของพืชในอดีต บริเวณแอ่งพรุภูเขา “อ่างกา” ที่ยอดดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 2,565 เมตร พบว่า เมื่อประมาณ 4,300 ปีก่อน พื้นที่นี้เป็นป่าดิบเขา และสามารถแบ่งภูมิอากาศบริเวณนี้ได้เป็น 6 ช่วง ตามการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศซึ่งอบอุ่นและเย็นลง โดยใช้พรรณไม้เขตอบอุ่นเป็นดัชนีบ่งชี้ ซึ่งหลักฐานนี้สนับสนุนว่าภูมิอากาศในยุคโฮโลซีนไม่คงที่ นอกจากนี้ การศึกษาในพื้นที่เดียวกันโดย อังคาร แจ่มชื่น (2541) ได้ศึกษาชนิดและสังคมพืชในอดีตยุคโฮโลซีนตอนปลาย โดยการวิเคราะห์ทางเรณูวิทยาจากตัวอย่างตะกอนดิน และตรวจหาอายุจากตัวอย่างอินทรีย์วัตถุด้วยวิธี Radiocarbon พบว่า เมื่อประมาณ $1,250 \pm 60$ ปี มาแล้ว จนถึงปัจจุบัน บริเวณพื้นที่ศึกษามีระบบนิเวศแบบ “ป่าดิบเขาในระดับสูงกึ่งป่าในเขตอบอุ่น” โดยพบละอองเรณูและสปอร์ของพืชในเขตป่าดิบเขาในระดับสูง และพบพันธุ์พืชในเขตอบอุ่นบางชนิด แต่ในช่วงเวลา 160 ± 65 ปีที่ผ่านมา ระบบนิเวศดังกล่าวนี้เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งในปัจจุบัน โดยพืชในเขตอบอุ่นบางชนิดที่เคยเจริญเติบโตได้ดีกลับลดจำนวนลงหรือไม่พบอีกเลย ในขณะที่พบเรณูและสปอร์ของพืชพวกกก (Cyperaceae) เฟิร์นสร้อยนารี (*Lycopodium* sp.) เพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงว่าสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาในอดีตมีความหนาวเย็นกว่าในปัจจุบัน

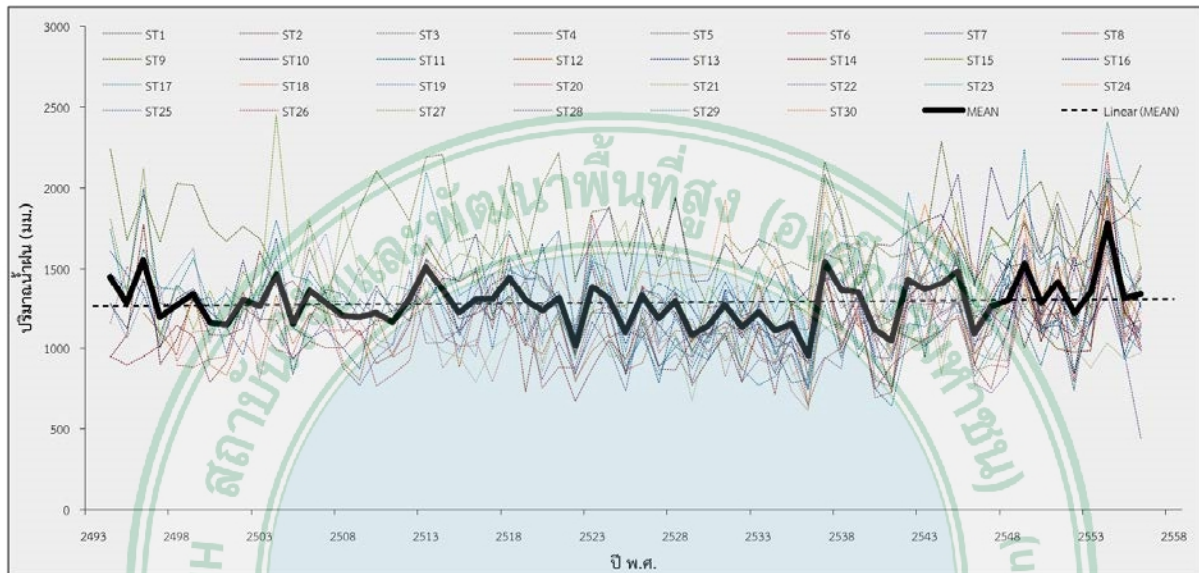
4.4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของประเทศไทย

จากโครงการศึกษาและจัดทำฐานข้อมูลกาลอากาศสำหรับงานวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงของประเทศไทยที่ได้รับทุนสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ได้ทำการขอวิเคราะห์ข้อมูลภูมิอากาศทางภาคเหนือของประเทศไทยจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่มีการบันทึกไว้จากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ และกรมชลประทาน โดยข้อมูลภูมิอากาศที่ได้ทำการขอวิเคราะห์ ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนสูงสุด ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด ปริมาณน้ำท่า ปริมาณการระเหยของน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ ความครึ้ม (ปริมาณเมฆ) ความเร็วลม และความเข้มของแสง พบว่า ข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนทางภาคเหนือที่ได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยารวมทั้งสิ้น 30 สถานี มีความสมบูรณ์และเป็นปัจจุบันมากที่สุด ส่วนข้อมูลจากกรมทรัพยากรน้ำถึงแม้จะประกอบด้วยข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนสูงสุด ปริมาณน้ำฝนต่ำสุด ปริมาณการระเหยของน้ำ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ความเข้มของแสง และปริมาณน้ำท่า (รายวัน) จาก 34 สถานี แต่พบว่าข้อมูลไม่มีความเป็นปัจจุบันและข้อมูลล่าสุดที่มีการบันทึก คือ ปี พ.ศ. 2554 ในขณะที่ข้อมูลจากกรมชลประทานมีเพียงข้อมูลน้ำท่า ปริมาณน้ำฝน และระดับความสูงของน้ำ เท่านั้น และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลภูมิอากาศที่มีการจดบันทึกโดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุด และระยะทางลม พบว่า ชนิดของชุดข้อมูลที่จดบันทึกโดยกรมอุตุนิยมวิทยาและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด โดยปัจจัยที่มีความเหมือนกัน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะนำข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทั้งที่มีการบันทึกโดยกรมอุตุนิยมวิทยาและสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มาใช้ร่วมกันเพื่อสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงต่อไป (ภาพที่ 4-1)

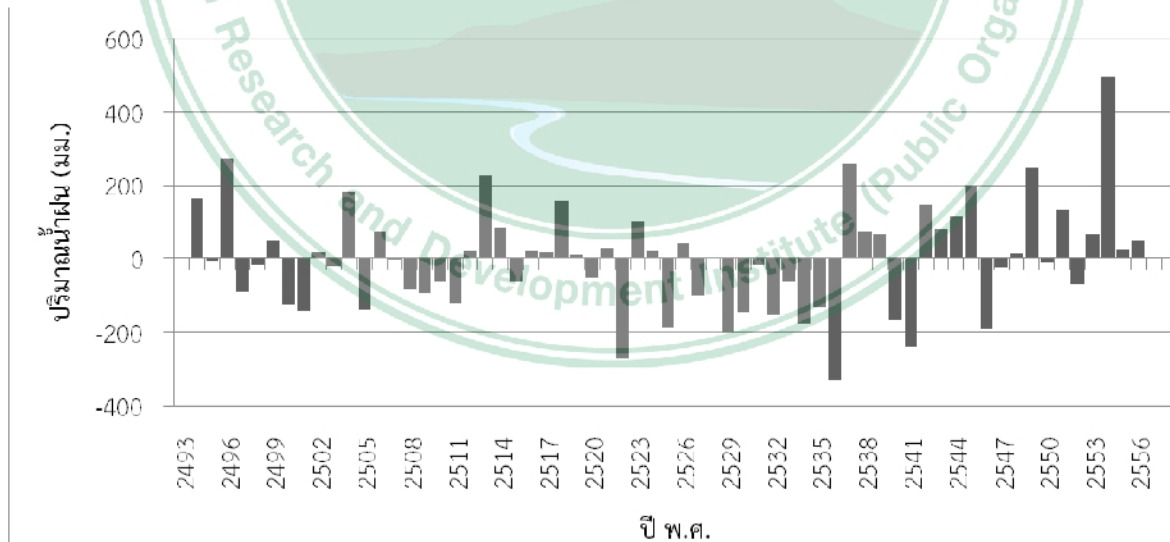


ภาพที่ 4-1 แผนที่แสดงการกระจายตัวของสถานีข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา และสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีที่ได้จากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของประเทศไทยสามารถนำมาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศได้เพียง 28 สถานี จาก 30 สถานี (ตารางที่ 4-1) เนื่องจาก ข้อมูลอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศอำเภอฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และ

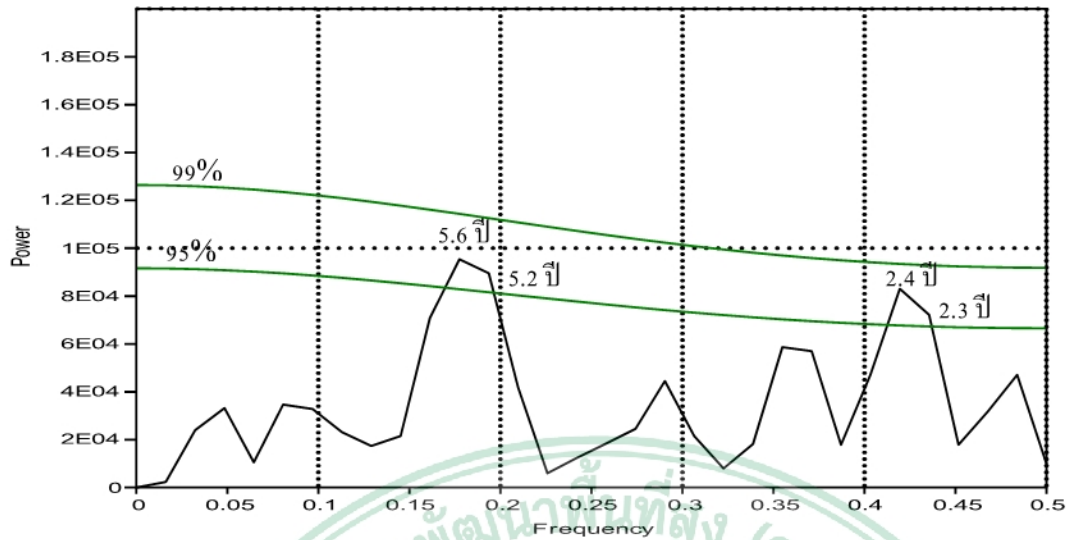
อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง มีข้อมูลที่บันทึกไว้เพียง 1 ปี เท่านั้น จากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีจากทุกสถานีฯ มีค่า 1283.92 มิลลิเมตร ปริมาณน้ำฝนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494-2536 มีแนวโน้มลดต่ำลงจาก 1447.12 มิลลิเมตร เป็น 953.51 มิลลิเมตร และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเป็น 1333.66 มิลลิเมตร ในปัจจุบัน (ภาพที่ 4-2) ภาพที่ 4-3 แสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ย และภาพที่ 4-4 แสดงวัฏจักรการเกิดซ้ำของฝนจากการวิเคราะห์สเปกตรัล (Spectral analysis) ทุกๆ 2.3-2.4 ปี และ 5.2-5.6 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4-2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของประเทศไทย

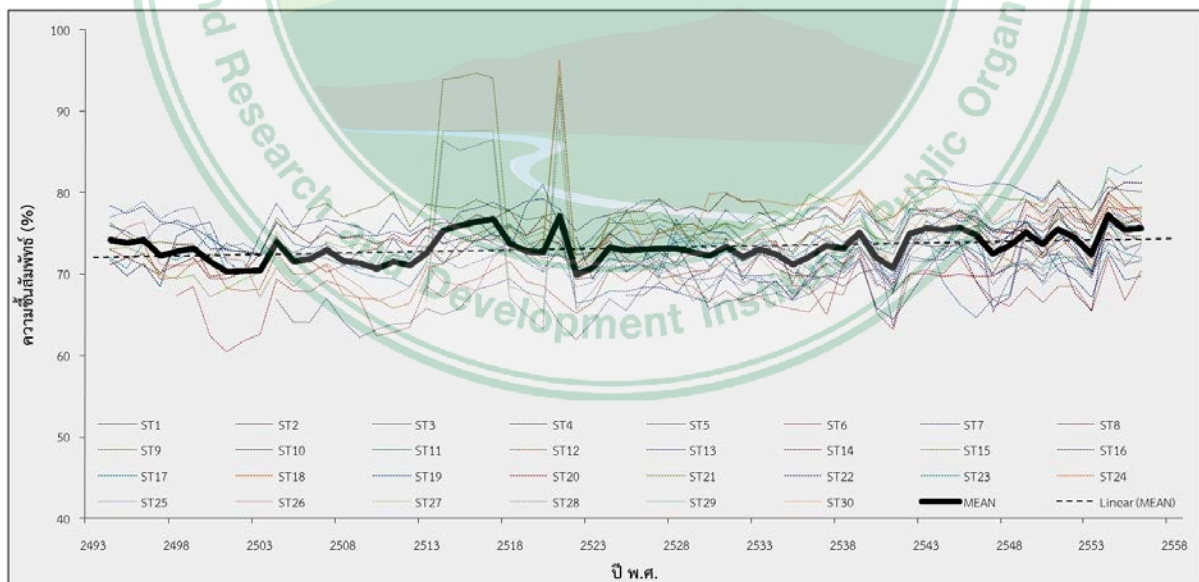


ภาพที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยา

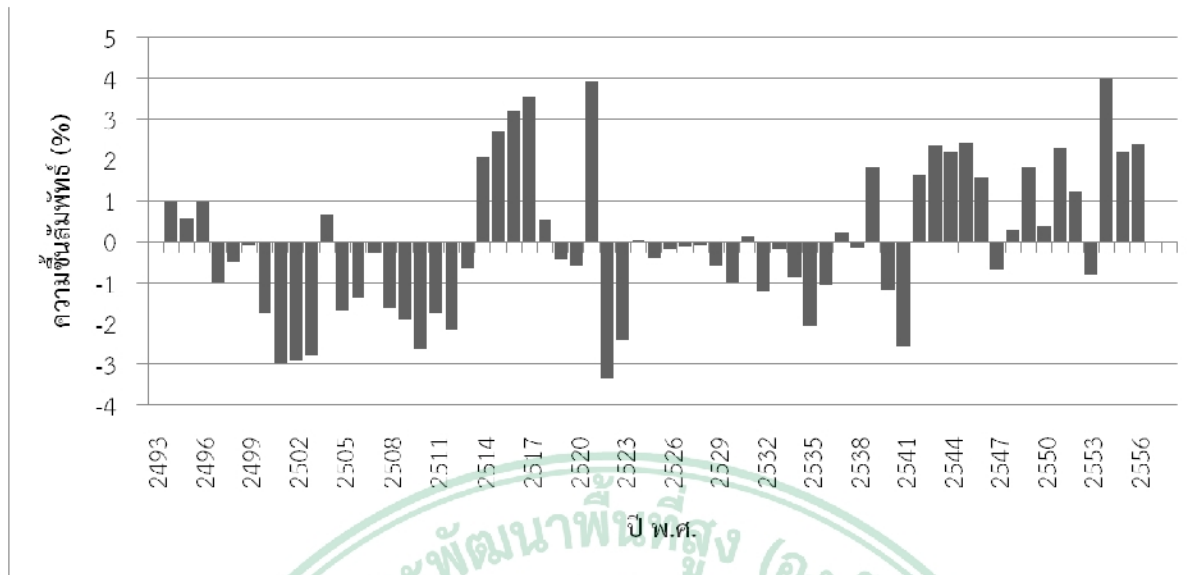


ภาพที่ 4-4 วัฏจักรการเกิดซ้ำของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของ กรมอุตุนิยมวิทยาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

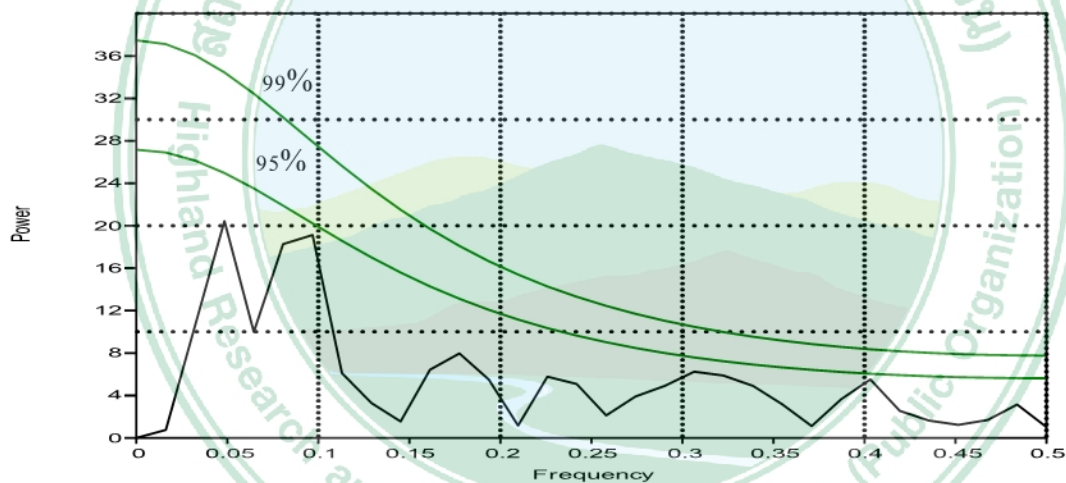
สำหรับความชื้นสัมพัทธ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์เป็น 73.25% (ภาพที่ 4-5) และเพิ่มขึ้นจาก 74.22% ในปี พ.ศ. 2494 มาเป็น 75.63% ในปี พ.ศ. 2556 สำหรับภาพที่ 4-6 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือ ของกรมอุตุนิยมวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ย และภาพที่ 4-7 แสดงวัฏจักรการเกิดซ้ำของความชื้นสัมพัทธ์จากการวิเคราะห์ สเปกตรัม (Spectral analysis) ที่พบว่าไม่มีรูปแบบการเกิดซ้ำที่แน่นอน



ภาพที่ 4-5 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของ ประเทศไทย



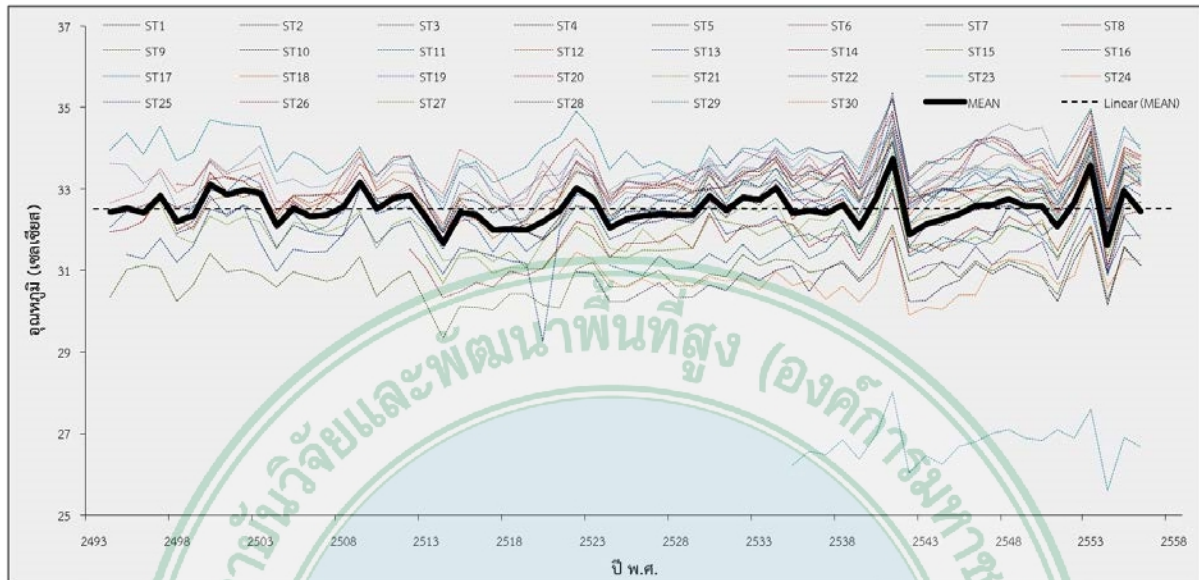
ภาพที่ 4-6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยา



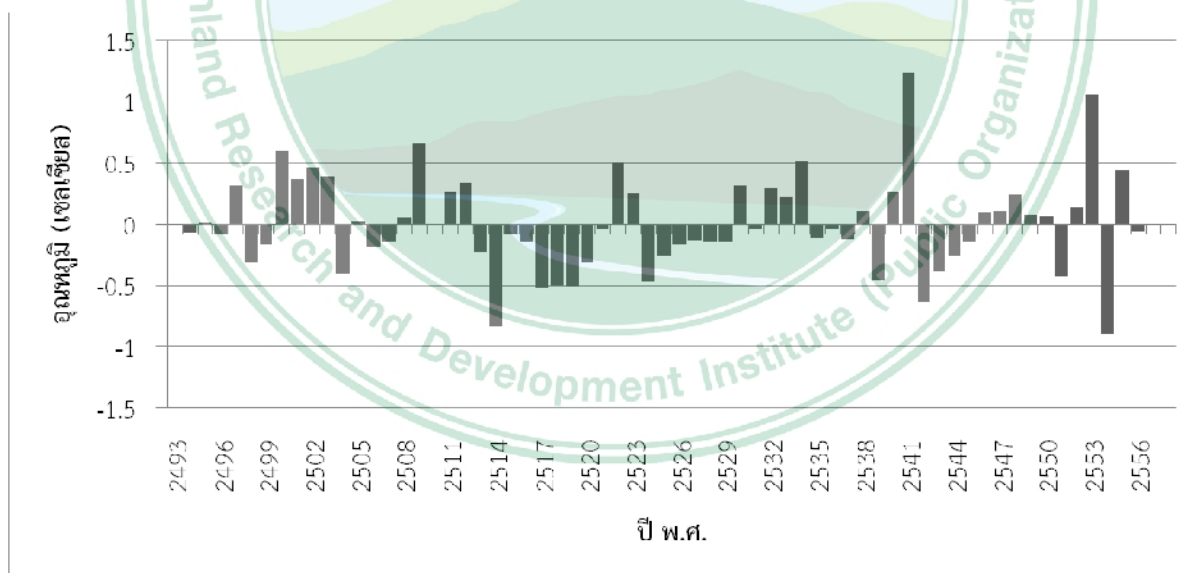
ภาพที่ 4-7 วิเคราะห์การเกิดซ้ำของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

ในขณะที่ระดับอุณหภูมิสูงสุด (ภาพที่ 4-8) และอุณหภูมิเฉลี่ย (ภาพที่ 4-11) มีแนวโน้มคงที่ที่ 32.51 และ 26.53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง ± 1 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-9 และ 4-12) ในขณะที่วัฏจักรการเกิดซ้ำของอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจากการวิเคราะห์สเปกตรัล (Spectral analysis) จะเกิดขึ้นทุกๆ 2.1, 2.3-2.4, 2.8-3.3 และ 3.6 ปี (ภาพที่ 4-10) และ 3.6 ปี (ภาพที่ 4-13) ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดรายปี (ภาพที่ 4-14) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 20.61 องศาเซลเซียส ในปี พ.ศ. 2494 เป็น 21.33 ในปี พ.ศ. 2556 ในขณะที่ระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีมีค่า 20.79 องศาเซลเซียส ซึ่งจะส่งผลให้ระดับความหนาวเย็นทางภาคเหนือของประเทศไทยลดลง และอาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตรที่มีขีดจำกัดการเติบโตในช่วงเวลาที่ระดับอุณหภูมิต่ำลงเท่านั้น ภาพที่ 4-15 แสดงระดับอุณหภูมิ

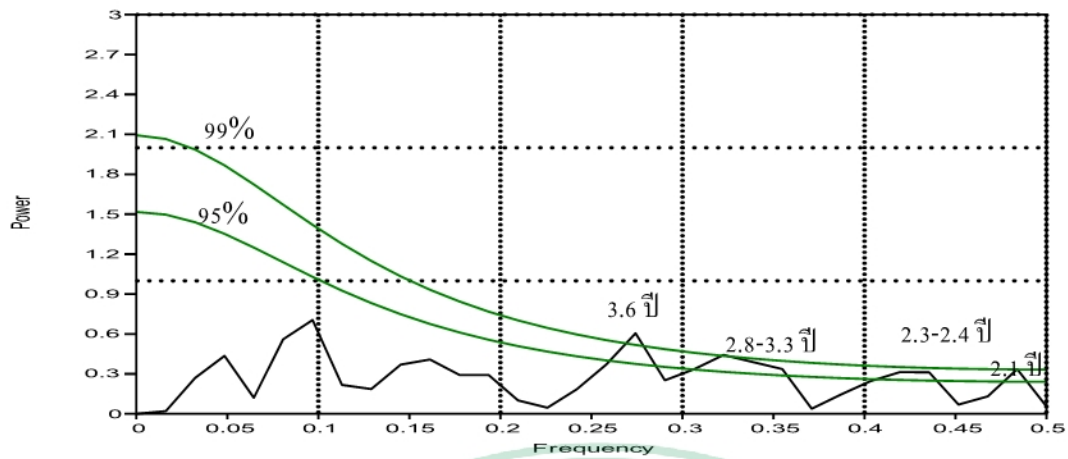
ต่ำสุดเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าเฉลี่ย และภาพที่ 4-16 แสดงวัฏจักรการเกิดซ้ำของอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีจากการวิเคราะห์ สเปกตรัล (Spectral analysis) ทุกๆ 3.6 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



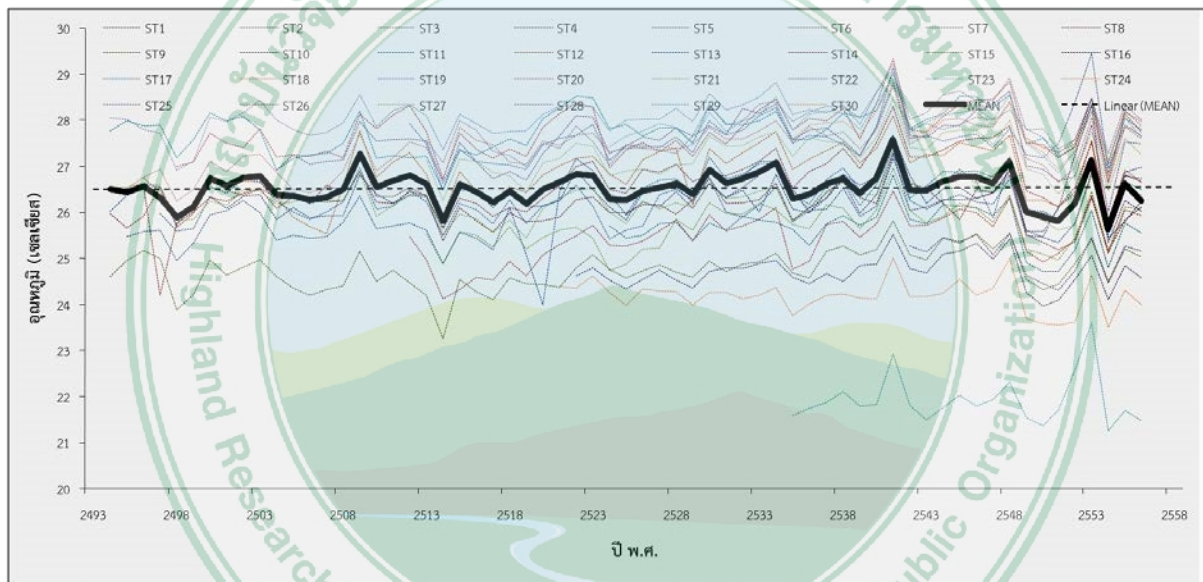
ภาพที่ 4-8 อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของประเทศไทย



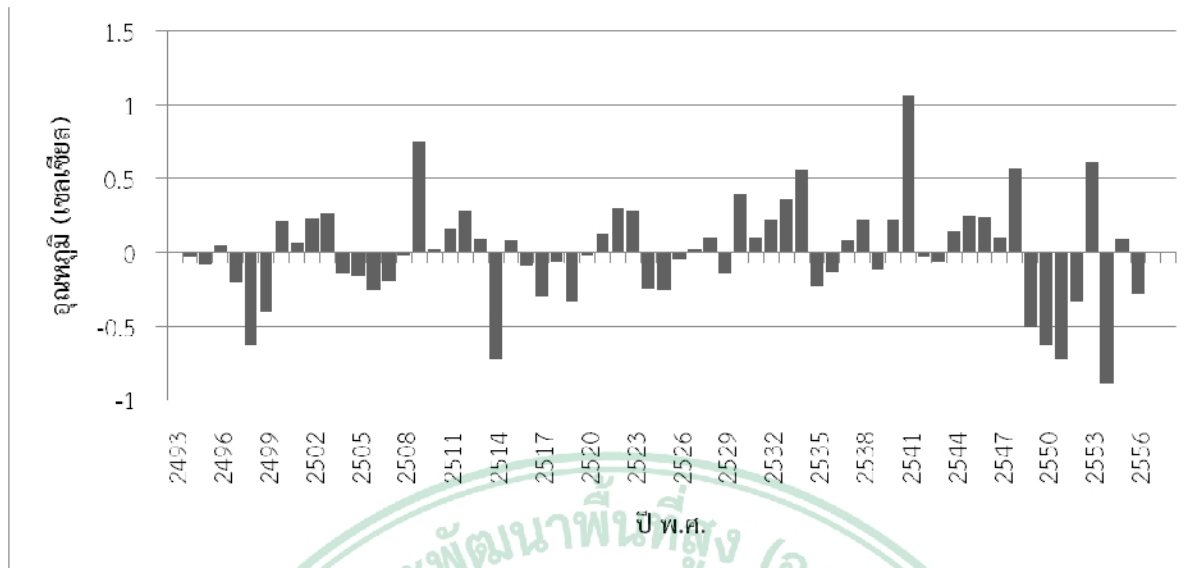
ภาพที่ 4-9 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยา



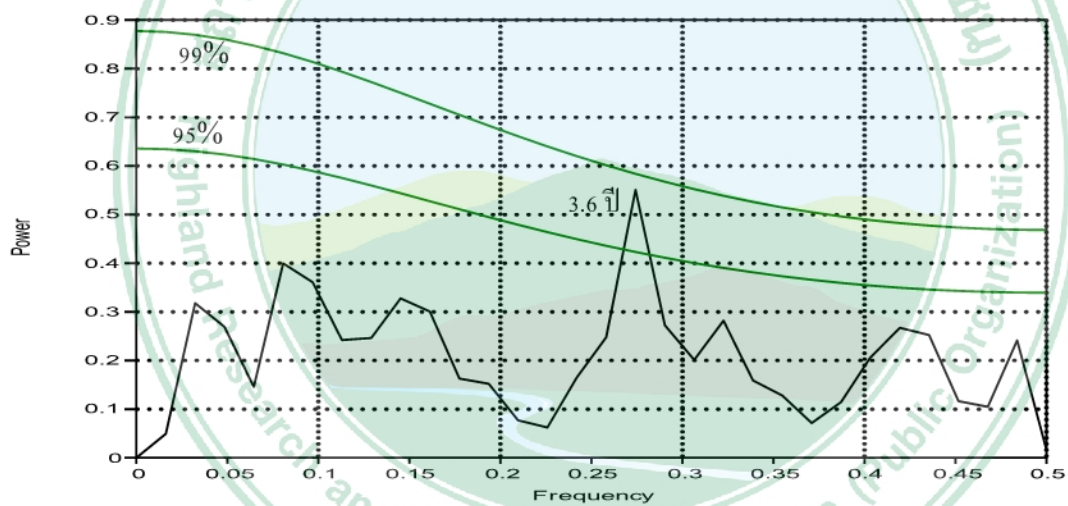
ภาพที่ 4-10 วิเคราะห์การเกิดซ้ำของอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%



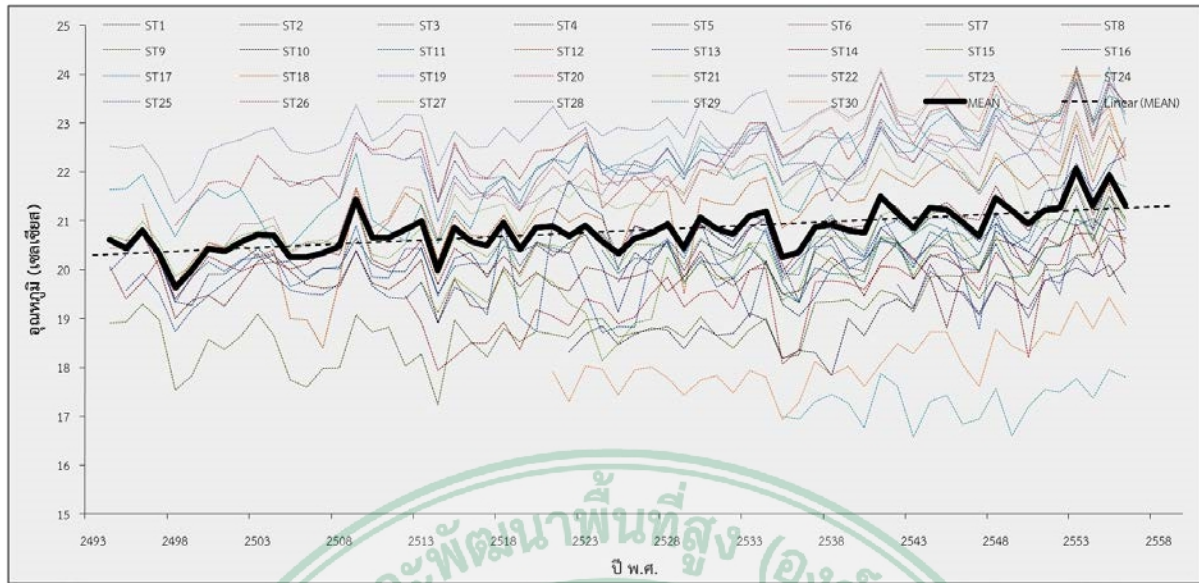
ภาพที่ 4-11 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของประเทศไทย



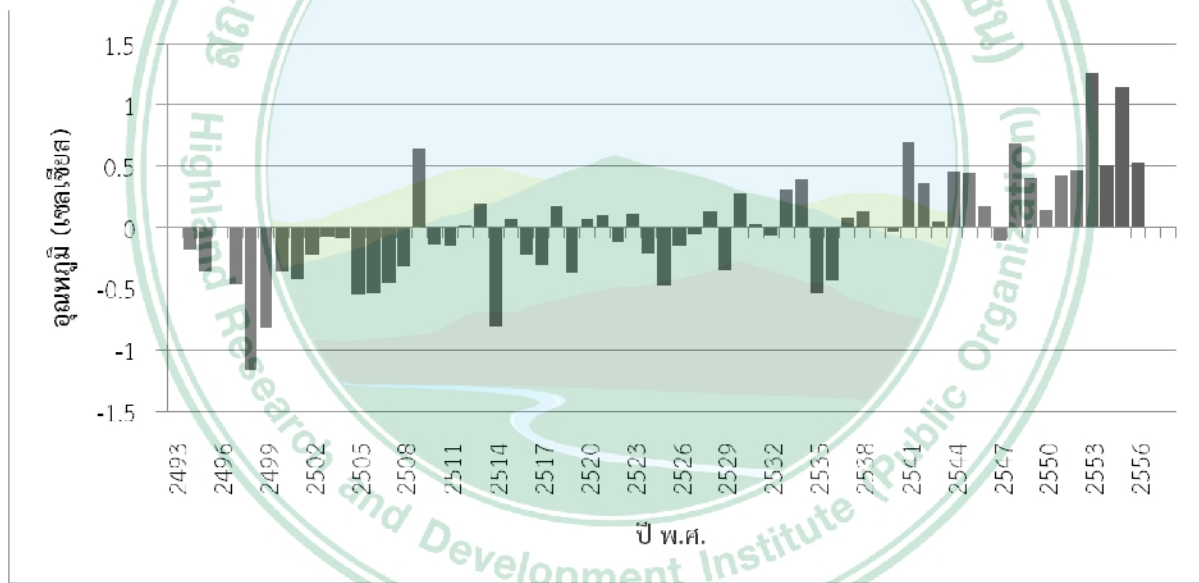
ภาพที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยา



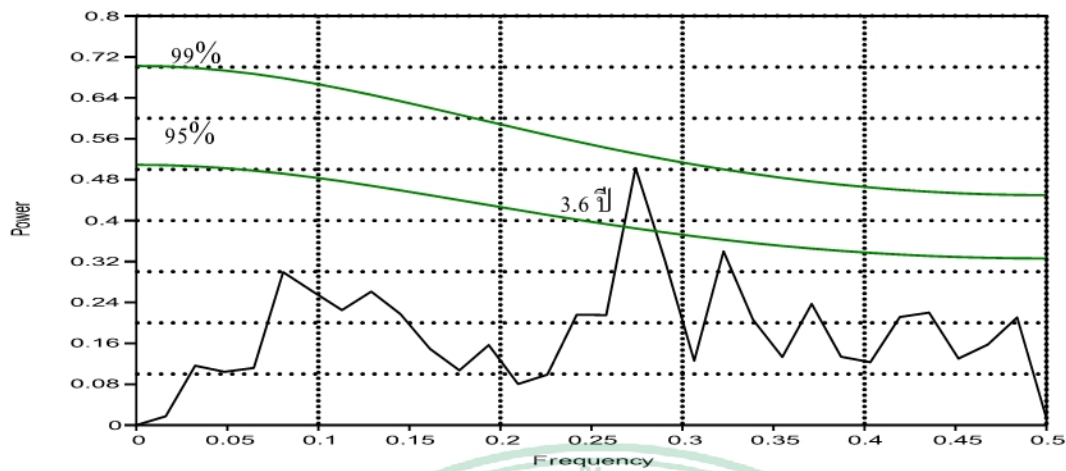
ภาพที่ 4-13 วัฏจักรการเกิดซ้ำของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%



ภาพที่ 4-14 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของประเทศไทย



ภาพที่ 4-15 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยา



ภาพที่ 4-16 วัฏจักรการเกิดซ้ำของอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ 99%

จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, วิธี Pearson) ของค่าเฉลี่ยข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี จากทั้ง 28 สถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า อุณหภูมิสูงสุดมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญกับอุณหภูมิเฉลี่ย ($r=0.757$) และอุณหภูมิต่ำสุด ($r=0.358$) แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องกันของระดับอุณหภูมิสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุดที่ผันแปรไปในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์ทางลบอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณน้ำฝน ($r=-0.497$) และความชื้นสัมพัทธ์ ($r=-0.577$) แสดงให้เห็นถึงการแปรผกผันกันระหว่างระดับอุณหภูมิกับปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์ กล่าวคือ เมื่อเกิดฝนตกหรือมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง ระดับอุณหภูมิจะลดต่ำลง ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นเป็นปกติ เช่นเดียวกับอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ (แปรผันตรง) กับอุณหภูมิสูงสุด ($r=0.757$) และอุณหภูมิต่ำสุด ($r=0.455$) แต่มีความสัมพันธ์ทางลบ (แปรผกผัน) อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณน้ำฝน ($r=-0.363$) และความชื้นสัมพัทธ์ ($r=-0.430$) ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ (แปรผันตรง) กับอุณหภูมิสูงสุด ($r=0.358$) อุณหภูมิเฉลี่ย ($r=0.455$) และความชื้นสัมพัทธ์ ($r=0.251$) แต่กลับไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณน้ำฝน ซึ่งปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิต่ำสุดเป็นปัจจัยเพียง 1 คู่เท่านั้นที่ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงลบอย่างมีนัยสำคัญ (แปรผกผัน) กับอุณหภูมิสูงสุด ($r=-0.557$) และอุณหภูมิเฉลี่ย ($r=-0.430$) และมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ (แปรผันตรง) กับอุณหภูมิต่ำสุด ($r=0.251$) และปริมาณน้ำฝน ($r=0.537$) ค่าค่าสหสัมพันธ์รายปีของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศได้แสดงในตารางที่ 4-3 สำหรับข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนของแต่ละสถานีที่บันทึกโดยกรมอุตุนิยมวิทยาได้แสดงในภาคผนวก ก-จ

ตารางที่ 4-3 ค่าความสัมพันธ์รายปีของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา

		Correlations				
		อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน	ความชื้นสัมพัทธ์
อุณหภูมิสูงสุด	Pearson Correlation	1	.757**	.358**	-.497**	-.577**
	Sig. (2-tailed)		.000	.004	.000	.000
	N	63	63	63	63	63
อุณหภูมิเฉลี่ย	Pearson Correlation	.757**	1	.455**	-.363**	-.430**
	Sig. (2-tailed)	.000		.000	.003	.000
	N	63	63	63	63	63
อุณหภูมิต่ำสุด	Pearson Correlation	.358**	.455**	1	.238	.251*
	Sig. (2-tailed)	.004	.000		.061	.047
	N	63	63	63	63	63
ปริมาณน้ำฝน	Pearson Correlation	-.497**	-.363**	.238	1	.537**
	Sig. (2-tailed)	.000	.003	.061		.000
	N	63	63	63	63	63
ความชื้นสัมพัทธ์	Pearson Correlation	-.577**	-.430**	.251*	.537**	1
	Sig. (2-tailed)	.000	.000	.047	.000	
	N	63	63	63	63	63

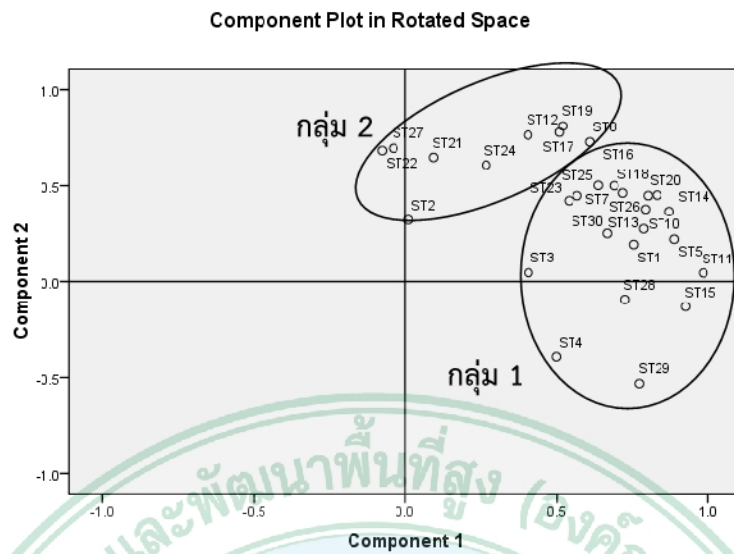
** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

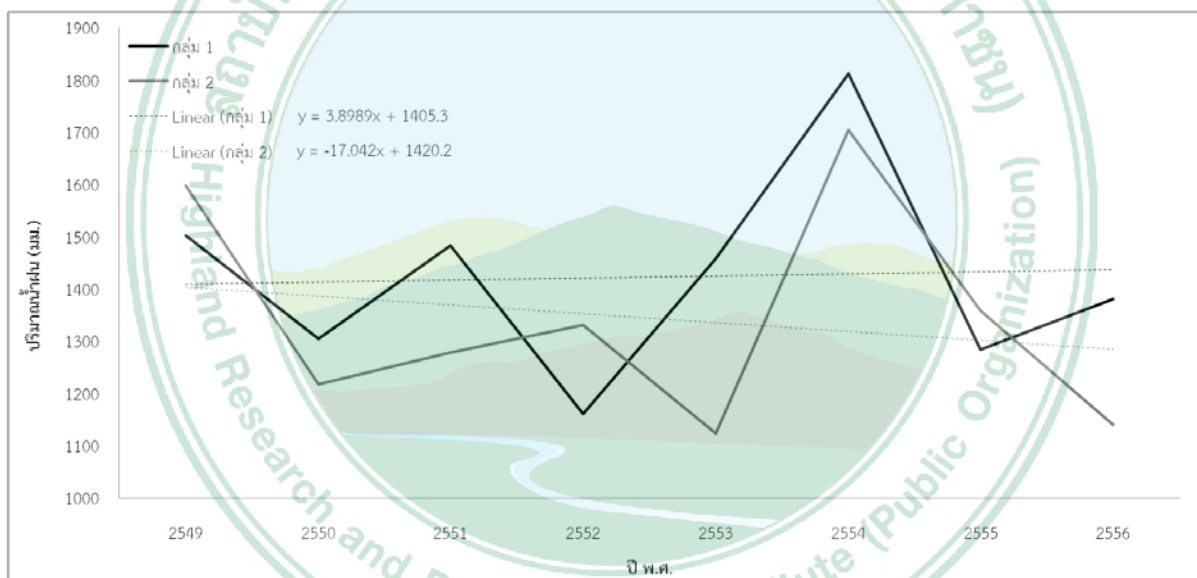
จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายปีย้อนหลัง 8 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2556 ซึ่งได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยารวม 28 สถานี (ตารางที่ 4-1) และมีข้อมูลปริมาณน้ำฝนอุณหภูมิ (สูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุด) และความสัมพันธ์รายปีครบถ้วนตลอดทั้ง 8 ปี สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนรายปีใกล้เคียงกันหรือมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ได้ 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-17) โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 19 สถานี (ตารางที่ 4-4) มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำฝน โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2553 - พ.ศ. 2556 เป็น 1362.32 และ 1483.39 มม. ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่ 2 จำนวน 9 สถานี (ตารางที่ 4-4) มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณน้ำฝนรายปี โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2553 - พ.ศ. 2556 เป็น 1355.82 และ 1331.26 มม. ตามลำดับ (ภาพที่ 4-18)

ตารางที่ 4-4 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีสอดคล้องกัน

กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST1	อำเภอเมือง	แม่ฮ่องสอน	ST2	อำเภอแม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน
ST3	อำเภอเมือง	เชียงใหม่	ST8	อำเภอเมือง	ลำปาง
ST4	อำเภอเมือง	เชียงใหม่	ST12	อำเภอเมือง	แพร่
ST5	อำเภอเมือง	พะเยา	ST17	อำเภอเมือง	อุตรดิตถ์
ST7	อำเภอเมือง	เชียงใหม่	ST19	อำเภอศรีสาโรง	สุโขทัย
ST10	อำเภอห้างฉัตร	ลำปาง	ST21	อำเภอแม่สอด	ตาก
ST11	อำเภอเมือง	ลำพูน	ST22	อำเภอสามเภา	ตาก
ST13	อำเภอเมือง	น่าน	ST24	อำเภออุ้มผาง	ตาก
ST14	อำเภอเมือง	น่าน	ST27	อำเภอหล่มสัก	เพชรบูรณ์
ST15	อำเภอท่าวังผา	น่าน			
ST16	อำเภอทุ่งช้าง	น่าน			
ST18	อำเภอศรีสาโรง	สุโขทัย			
ST20	อำเภอเมือง	ตาก			
ST23	อำเภอเมือง	ตาก			
ST25	อำเภอเมือง	พิษณุโลก			
ST26	อำเภอเมือง	เพชรบูรณ์			
ST28	อำเภอวิเชียรบุรี	เพชรบูรณ์			
ST29	อำเภอเมือง	กำแพงเพชร			
ST30	อำเภอเมือง	พิจิตร			



ภาพที่ 4-17 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนที่คล้ายคลึงกัน

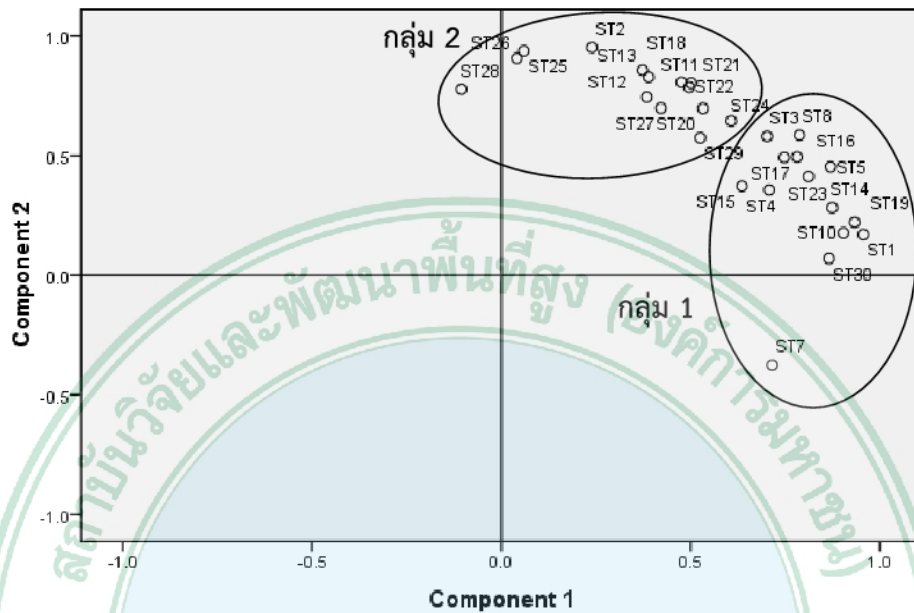


ภาพที่ 4-18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนรายปีของกลุ่มสถานีตรวจวัดอากาศทั้ง 2 กลุ่ม

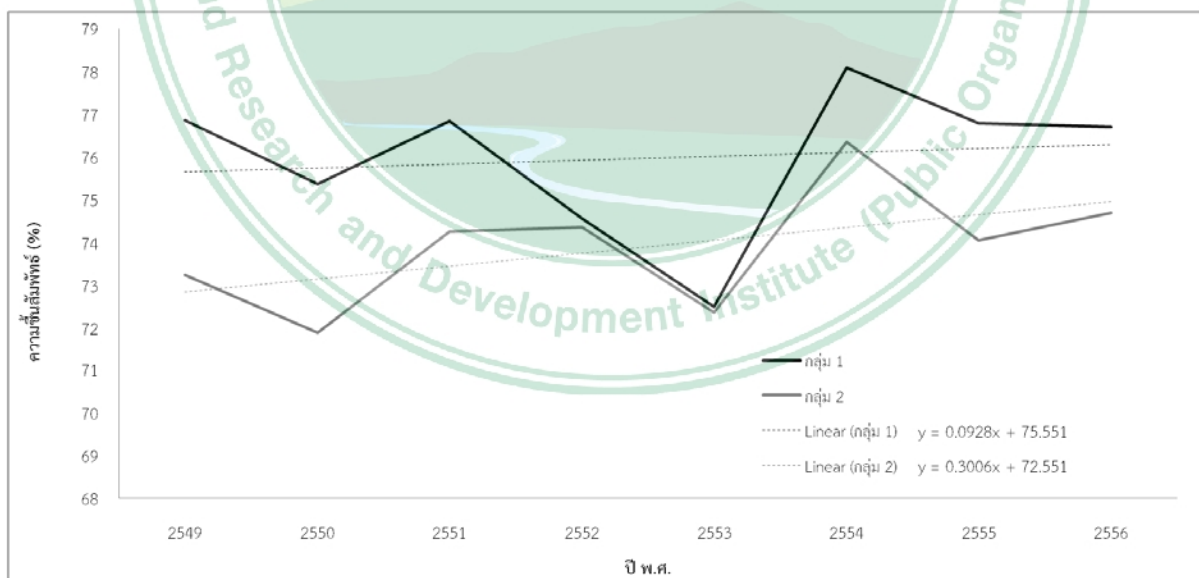
จากข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์รายปีย้อนหลัง 8 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2556 ซึ่งได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยารวม 28 สถานี (ตารางที่ 4-1) สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์รายปีใกล้เคียงกันหรือมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ได้ 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-19) โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 14 สถานี (ตารางที่ 4-5) มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความชื้นสัมพัทธ์เพียงเล็กน้อย จากค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ในปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2552 75.91% เป็น 76.03% ในขณะที่กลุ่มที่ 2 จำนวน 14 สถานี (ตารางที่ 4-5) เช่นเดียวกัน มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้น

ของความชื้นสัมพัทธ์รายปีอย่างชัดเจนกว่ากลุ่มแรก จาก 73.44% ในปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2552 เป็น 74.31% ในปี พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2556 (ภาพที่ 4-20)

Component Plot in Rotated Space



ภาพที่ 4-19 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์ที่คล้ายคลึงกัน



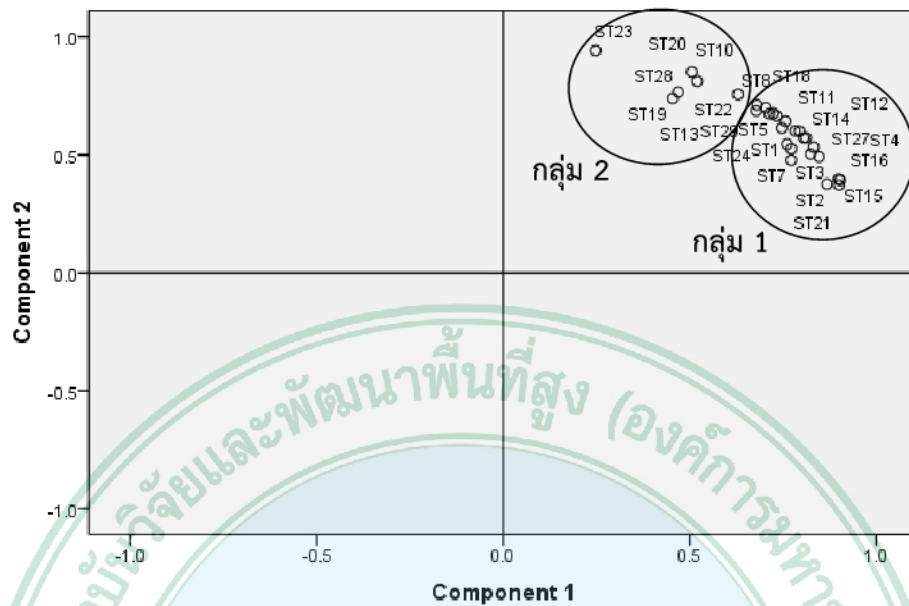
ภาพที่ 4-20 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์รายปีของกลุ่มสถานีตรวจวัดอากาศทั้ง 2 กลุ่ม

ตารางที่ 4-5 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีรูปแบบการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีสอดคล้องกัน

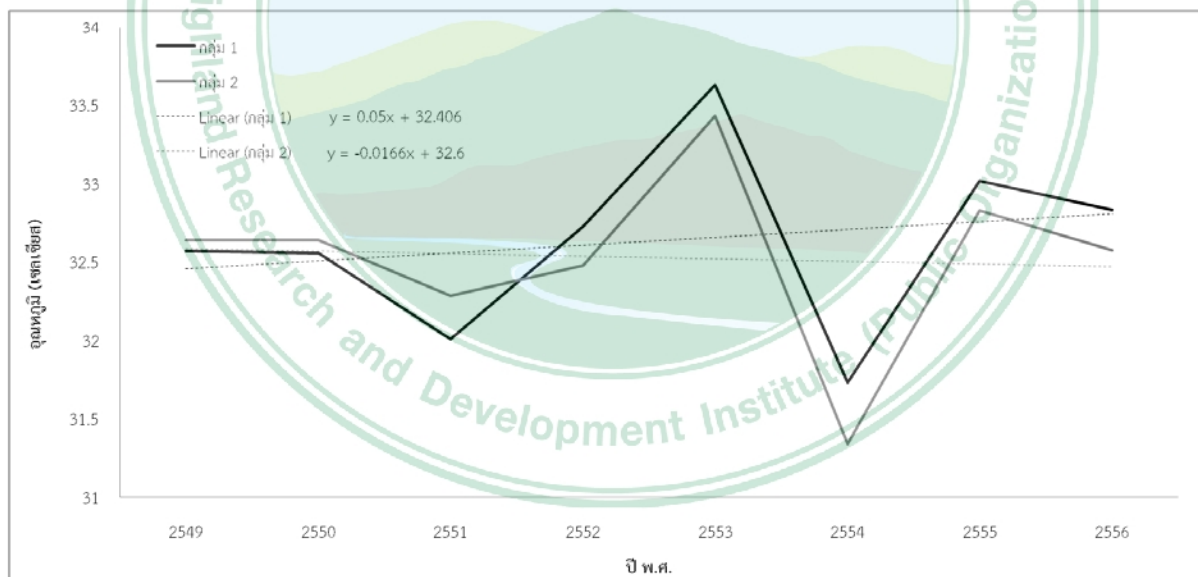
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST1	อำเภอเมือง	แม่ฮ่องสอน	ST2	อำเภอแม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน
ST3	อำเภอเมือง	เชียงราย	ST12	อำเภอเมือง	แพร่
ST4	อำเภอเมือง	เชียงราย	ST21	อำเภอแม่สวด	ตาก
ST5	อำเภอเมือง	พะเยา	ST22	อำเภอสางเา	ตาก
ST7	อำเภอเมือง	เชียงใหม่	ST24	อำเภออุ้มผาง	ตาก
ST8	อำเภอเมือง	ลำปาง	ST27	อำเภอหล่มสัก	เพชรบูรณ์
ST10	อำเภอห้างฉัตร	ลำปาง	ST11	อำเภอเมือง	ลำพูน
ST14	อำเภอเมือง	น่าน	ST13	อำเภอเมือง	น่าน
ST15	อำเภอท่าวังผา	น่าน	ST18	อำเภอศรีสำโรง	สุโขทัย
ST16	อำเภอทุ่งช้าง	น่าน	ST20	อำเภอเมือง	ตาก
ST17	อำเภอเมือง	อุตรดิตถ์	ST25	อำเภอเมือง	พิษณุโลก
ST19	อำเภอศรีสำโรง	สุโขทัย	ST26	อำเภอเมือง	เพชรบูรณ์
ST23	อำเภอเมือง	ตาก	ST28	อำเภอวิเชียรบุรี	เพชรบูรณ์
ST30	อำเภอเมือง	พิจิตร	ST29	อำเภอเมือง	กำแพงเพชร

จากข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีย้อนหลัง 8 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2556 ซึ่งได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยารวม 28 สถานี (ตารางที่ 4-1) สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีใกล้เคียงกันหรือมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ได้ 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-21) โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 20 สถานี (ตารางที่ 4-6) มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีอย่างชัดเจน โดยตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2556 มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีจาก 32.46 องศาเซลเซียส เป็น 32.80 องศาเซลเซียส ในขณะที่กลุ่มที่ 2 จำนวน 8 สถานี (ตารางที่ 4-6) มีแนวโน้มการลดลงของระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อหาค่าเฉลี่ยของระดับอุณหภูมิตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2556 พบว่า มีระดับอุณหภูมิสูงสุดรายปีเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 32.51 องศาเซลเซียส เป็น 32.54 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4-22)

Component Plot in Rotated Space



ภาพที่ 4-21 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีที่คล้ายคลึงกัน

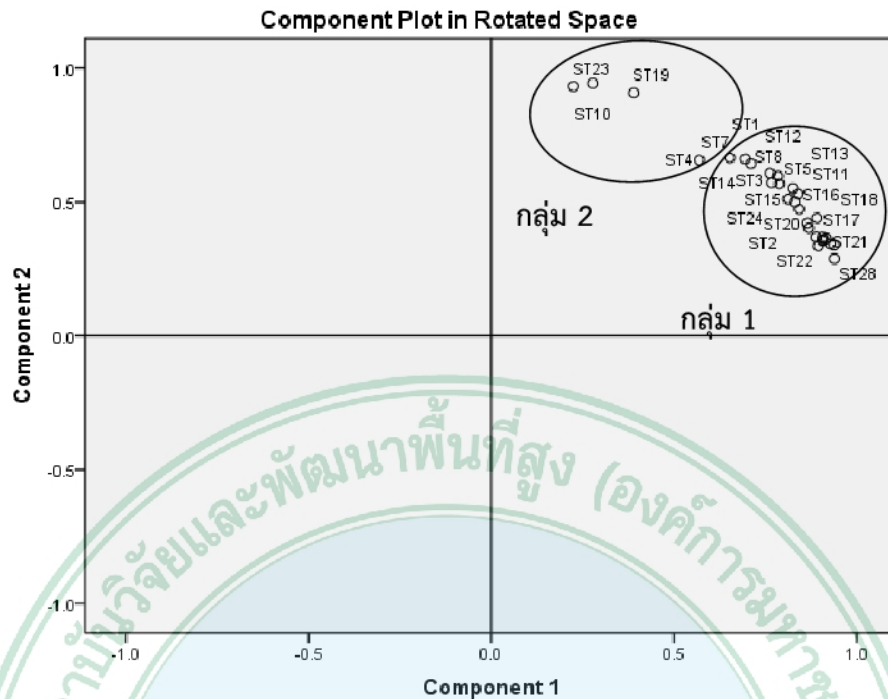


ภาพที่ 4-22 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีของกลุ่มสถานีตรวจวัดอากาศทั้ง 2 กลุ่ม

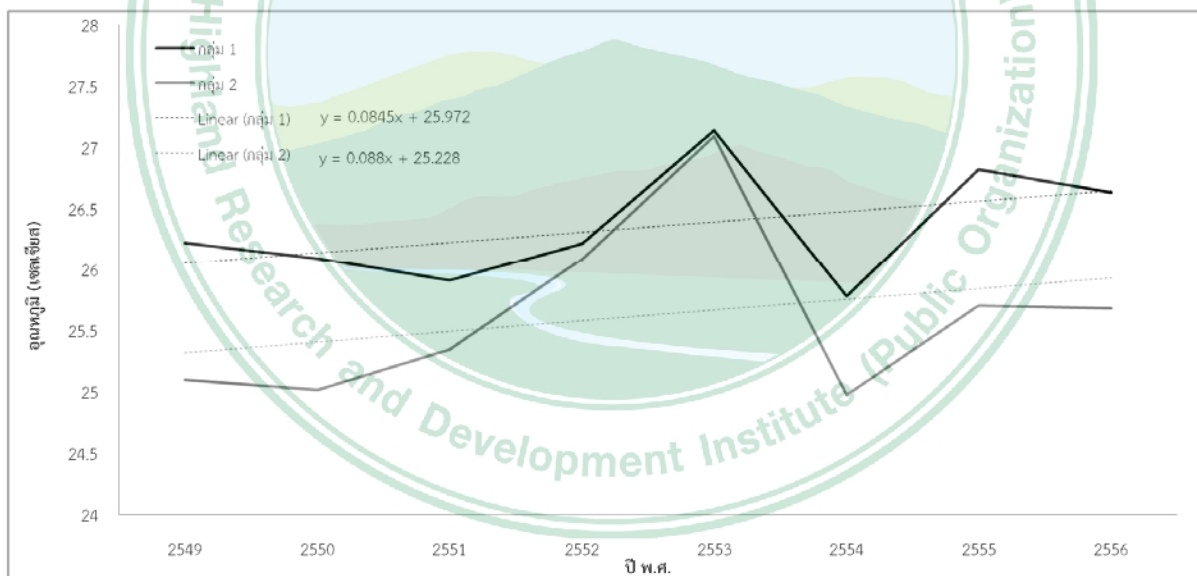
ตารางที่ 4-6 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีรูปแบบการกระจายตัวของ
อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีสอดคล้องกัน

กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST1	อำเภอเมือง	แม่ฮ่องสอน	ST8	อำเภอเมือง	ลำปาง
ST2	อำเภอแม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน	ST10	อำเภอห้างฉัตร	ลำปาง
ST3	อำเภอเมือง	เชียงราย	ST19	อำเภอศรีสาโรง	สุโขทัย
ST4	อำเภอเมือง	เชียงราย	ST20	อำเภอเมือง	ตาก
ST5	อำเภอเมือง	พะเยา	ST22	อำเภอสางเภา	ตาก
ST7	อำเภอเมือง	เชียงใหม่	ST23	อำเภอเมือง	ตาก
ST11	อำเภอเมือง	ลำพูน	ST28	อำเภอวิเชียรบุรี	เพชรบูรณ์
ST12	อำเภอเมือง	แพร่	ST29	อำเภอเมือง	กำแพงเพชร
ST13	อำเภอเมือง	น่าน			
ST14	อำเภอเมือง	น่าน			
ST15	อำเภอท่าวังผา	น่าน			
ST16	อำเภอทุ่งช้าง	น่าน			
ST17	อำเภอเมือง	อุดรดิตร			
ST18	อำเภอศรีสาโรง	สุโขทัย			
ST21	อำเภอแม่สอด	ตาก			
ST24	อำเภออุมผาง	ตาก			
ST25	อำเภอเมือง	พิษณุโลก			
ST26	อำเภอเมือง	เพชรบูรณ์			
ST27	อำเภอหล่มสัก	เพชรบูรณ์			
ST30	อำเภอเมือง	พิจิตร			

จากข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีย้อนหลัง 8 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2556 ซึ่งได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยารวม 28 สถานี (ตารางที่ 4-1) สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีใกล้เคียงกันหรือมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ได้ 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-23) โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 23 สถานี (ตารางที่ 4-7) และกลุ่มที่ 2 จำนวน 5 สถานี (ตารางที่ 4-7) มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีใกล้เคียงกัน ซึ่งกลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยและอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ 2 เล็กน้อย โดยกลุ่มที่ 1 มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2556 เป็น 26.11 และ 26.60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่ 2 มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2552 และ พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2556 เป็น 25.39 และ 25.86 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 4-24)



ภาพที่ 4-23 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี



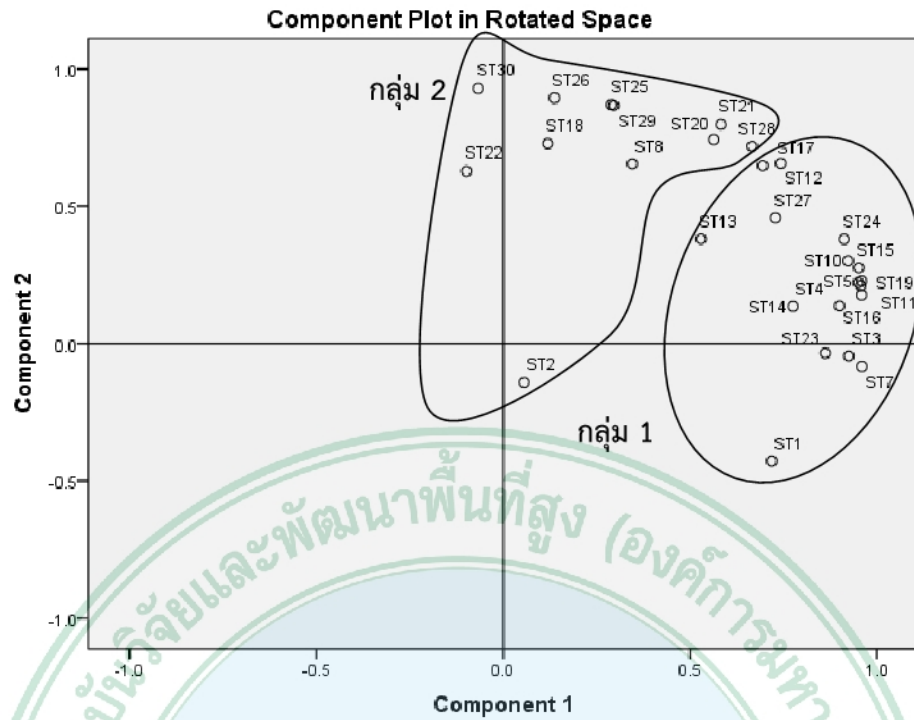
ภาพที่ 4-24 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของกลุ่มสถานีตรวจวัดอากาศทั้ง 2 กลุ่ม

จากข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีย้อนหลัง 8 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2556 ซึ่งได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยารวม 28 สถานี (ตารางที่ 4-1) สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีใกล้เคียงกันหรือมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ได้ 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-25) โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 17 สถานี และกลุ่มที่ 2

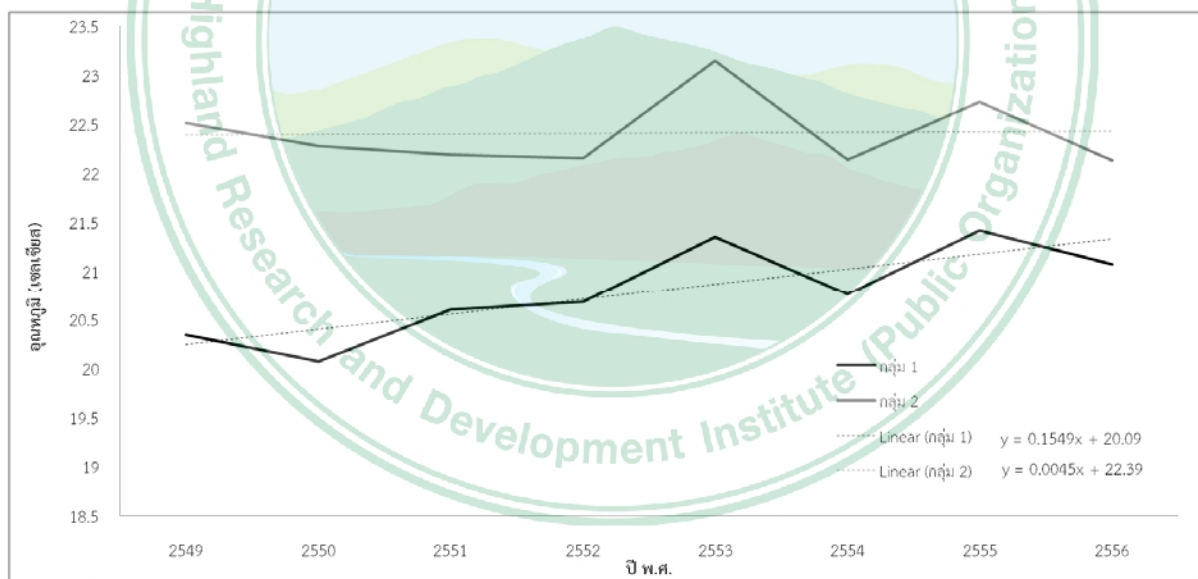
จำนวน 11 สถานี (ตารางที่ 4-8) มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีเช่นเดียวกัน ซึ่งกลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 แต่มีอัตราการเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ 2 อย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 4-26) กล่าวคือ กลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี ในปี พ.ศ. 2549-2552 เป็น 20.42 องศาเซลเซียส และเพิ่มเป็น 21.15 องศาเซลเซียส ในปี พ.ศ. 2553-2556 ส่วนกลุ่มที่ 2 มีระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี ในปี พ.ศ. 2549-2552 เป็น 22.29 องศาเซลเซียส และเพิ่มเป็น 22.54 องศาเซลเซียส ในปี พ.ศ. 2553-2556

ตารางที่ 4-7 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีสอดคล้องกัน

กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST2	อำเภอแม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน	ST1	อำเภอเมือง	แม่ฮ่องสอน
ST3	อำเภอเมือง	เชียงราย	ST7	อำเภอเมือง	เชียงใหม่
ST4	อำเภอเมือง	เชียงราย	ST10	อำเภอห้างฉัตร	ลำปาง
ST5	อำเภอเมือง	พะเยา	ST19	อำเภอศรีสาโรง	สุโขทัย
ST8	อำเภอเมือง	ลำปาง	ST23	อำเภอเมือง	ตาก
ST11	อำเภอเมือง	ลำพูน			
ST12	อำเภอเมือง	แพร่			
ST13	อำเภอเมือง	น่าน			
ST14	อำเภอเมือง	น่าน			
ST15	อำเภอท่าวังผา	น่าน			
ST16	อำเภอทุ่งช้าง	น่าน			
ST17	อำเภอเมือง	อุดรดิตถ์			
ST18	อำเภอศรีสาโรง	สุโขทัย			
ST20	อำเภอเมือง	ตาก			
ST21	อำเภอแม่สวด	ตาก			
ST22	อำเภอสามเงา	ตาก			
ST24	อำเภออุ้มผาง	ตาก			
ST25	อำเภอเมือง	พิษณุโลก			
ST26	อำเภอเมือง	เพชรบูรณ์			
ST27	อำเภอหล่มสัก	เพชรบูรณ์			
ST28	อำเภอวิเชียรบุรี	เพชรบูรณ์			
ST29	อำเภอเมือง	กำแพงเพชร			
ST30	อำเภอเมือง	พิจิตร			



ภาพที่ 4-25 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปี

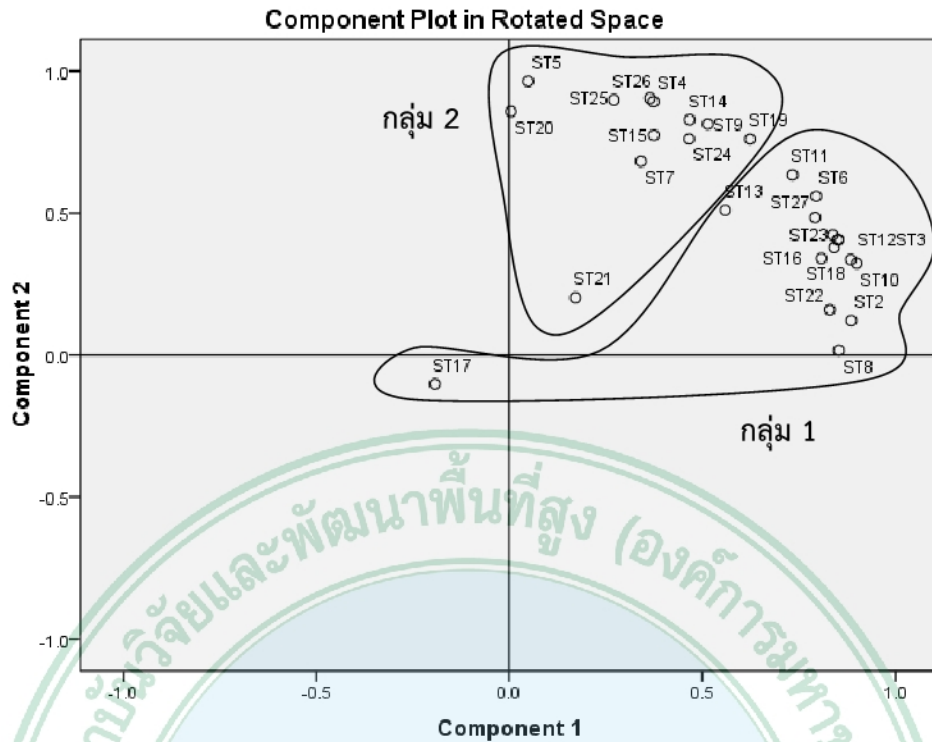


ภาพที่ 4-26 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีของกลุ่มสถานีตรวจวัดอากาศทั้ง 2 กลุ่ม

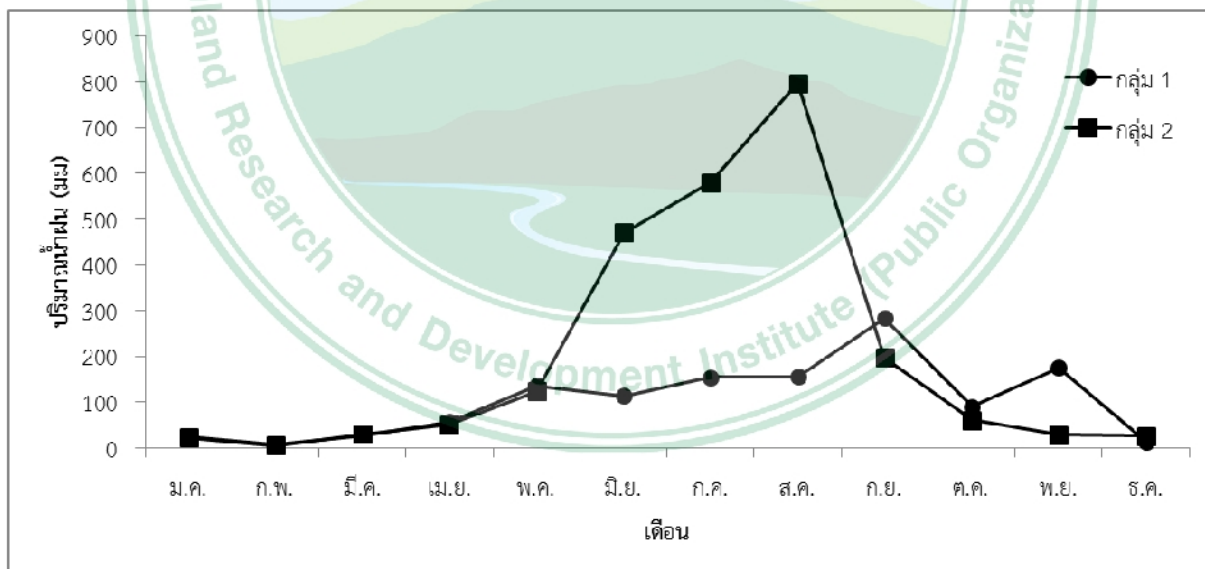
ตารางที่ 4-8 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือของกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีรูปแบบการกระจายตัวของ
อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีสอดคล้องกัน

กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST1	อำเภอเมือง	แม่ฮ่องสอน	ST2	อำเภอแม่สะเรียง	แม่ฮ่องสอน
ST3	อำเภอเมือง	เชียงราย	ST8	อำเภอเมือง	ลำปาง
ST4	อำเภอเมือง	เชียงราย	ST18	อำเภอศรีสาโรง	สุโขทัย
ST5	อำเภอเมือง	พะเยา	ST20	อำเภอเมือง	ตาก
ST7	อำเภอเมือง	เชียงใหม่	ST21	อำเภอแม่สอด	ตาก
ST10	อำเภอห้างฉัตร	ลำปาง	ST22	อำเภอสามเงา	ตาก
ST11	อำเภอเมือง	ลำพูน	ST25	อำเภอเมือง	พิษณุโลก
ST12	อำเภอเมือง	แพร่	ST26	อำเภอเมือง	เพชรบูรณ์
ST13	อำเภอเมือง	น่าน	ST28	อำเภอวิเชียรบุรี	เพชรบูรณ์
ST14	อำเภอเมือง	น่าน	ST29	อำเภอเมือง	กำแพงเพชร
ST15	อำเภอท่าวังผา	น่าน	ST30	อำเภอเมือง	พิจิตร
ST16	อำเภอทุ่งช้าง	น่าน			
ST17	อำเภอเมือง	อุดรดิตถ์			
ST19	อำเภอศรีสาโรง	สุโขทัย			
ST23	อำเภอเมือง	ตาก			
ST24	อำเภออุ้มผาง	ตาก			
ST27	อำเภอหล่มสัก	เพชรบูรณ์			

เมื่อพิจารณาข้อมูลภูมิอากาศ ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุด ที่บันทึกโดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) จำนวน 28 สถานี (ตารางที่ 4-2) พบว่า ข้อมูลมีความสมบูรณ์น้อย ขาดความต่อเนื่องของข้อมูลรายเดือน จึงทำให้ไม่สามารถแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรายปีได้เช่นเดียวกับที่แสดงในภาพที่ 4-2 ถึง ภาพที่ 4-16 ประกอบกับขาดข้อมูลอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศบนสถาน จังหวัดน่าน จึงเหลือข้อมูลอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่สามารถใช้วิเคราะห์ในครั้งนี้อย่างน้อย 27 สถานี อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน สามารถนำมาใช้จำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่สอดคล้องกัน โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) สำหรับข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนรายเดือนบนพื้นที่สูงสามารถจำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนได้ 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-27) โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 15 สถานี และกลุ่มที่ 2 จำนวน 12 สถานี (ตารางที่ 4-9) ซึ่งกลุ่มที่ 1 มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งปีเพียง 1,240.71 มม. ในขณะที่กลุ่มที่ 2 มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งปีถึง 2,393.08 มม. นอกจากนี้กลุ่มที่ 1 มีปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) เพียง 934.62 มม. ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 ที่มีปริมาณน้ำฝนถึง 2,229.41 มม. อย่างชัดเจน (ภาพที่ 4-28)



ภาพที่ 4-27 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

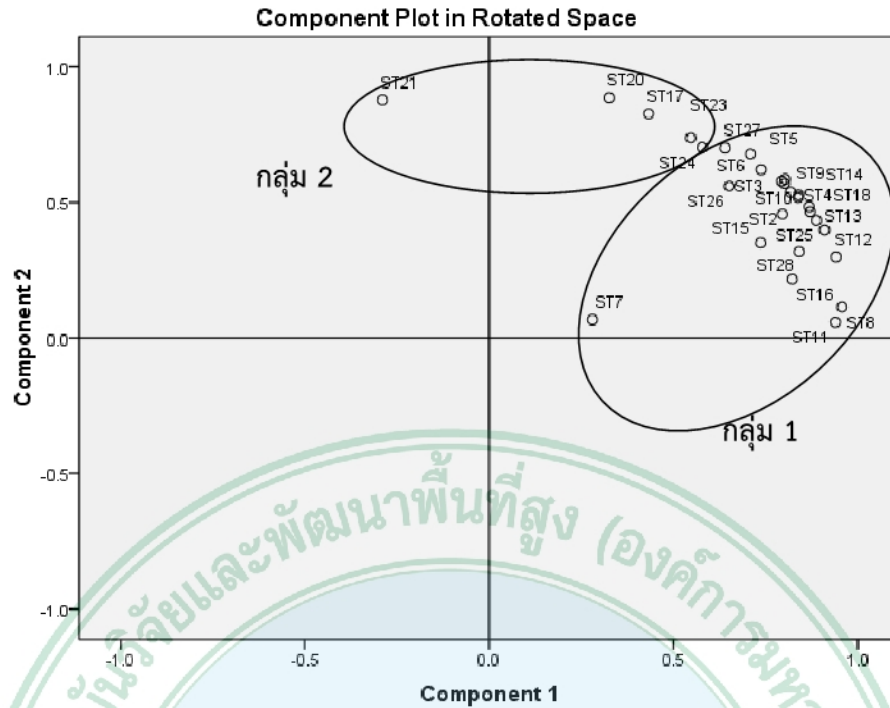


ภาพที่ 4-28 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

ตารางที่ 4-9 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่มีรูปแบบการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนสอดคล้องกัน

กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST2-2	คลองลาน	กำแพงเพชร	ST2-4	ถ้ำเวียงแก	จ.น่าน
ST2-3	ดอยปุย	เชียงใหม่	ST2-5	น้ำแขวง	น่าน
ST2-6	น้ำเค็ม	น่าน	ST2-7	น้ำแปง	น่าน
ST2-8	ปากกล้วย	จ.เชียงใหม่	ST2-9	ปางยาง	จ.น่าน
ST2-10	ปางหินฝน	จ.เชียงใหม่	ST2-14	ห้วยเป้า	เชียงใหม่
ST2-11	ป่าแป๋	เชียงใหม่	ST2-15	โป่งคำ	น่าน
ST2-12	ปางแดงใน	เชียงใหม่	ST2-19	แม่สลอง	เชียงราย
ST2-13	ปางมะโอ	เชียงใหม่	ST2-20	แม่สลอง	ตาก
ST2-16	ผาแตก	เชียงใหม่	ST2-21	แม่สามแลบ	แม่ฮ่องสอน
ST2-17	แม่จริม	น่าน	ST2-24	สบโขง	เชียงใหม่
ST2-18	แม่มะลอ	เชียงใหม่	ST2-25	สบเมย	แม่ฮ่องสอน
ST2-22	วังไผ่	น่าน	ST2-26	สะเนียน	น่าน
ST2-23	วาวี	เชียงราย			
ST2-27	ห้วยเขย่ง	กาญจนบุรี			
ST2-28	โหล่งขอด	เชียงใหม่			

ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนบนพื้นที่สูงสามารถจำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ได้เป็น 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-29) โดยกลุ่มที่ 1 มี 21 สถานี และกลุ่มที่ 2 มี 6 สถานี (ตารางที่ 4-10) ซึ่งกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 80.63% และ 79.35% ตามลำดับ โดยความชื้นสัมพัทธ์ของกลุ่มที่ 1 ในช่วงฤดูร้อน (ก.พ.-เม.ย.) และฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) มีค่า 67.26% และ 86.78% ซึ่งต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ในกลุ่มที่ 2 ในช่วงเวลาเดียวกัน ที่มีค่า 71.03% และ 87.21% ตามลำดับ แต่ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงฤดูหนาว (พ.ย.-ม.ค.) ของกลุ่มที่ 1 (81.69%) จะเพิ่มมากกว่ากลุ่มที่ 2 (71.95%) อย่างชัดเจน (ภาพที่ 4-30)



ภาพที่ 4-29 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)



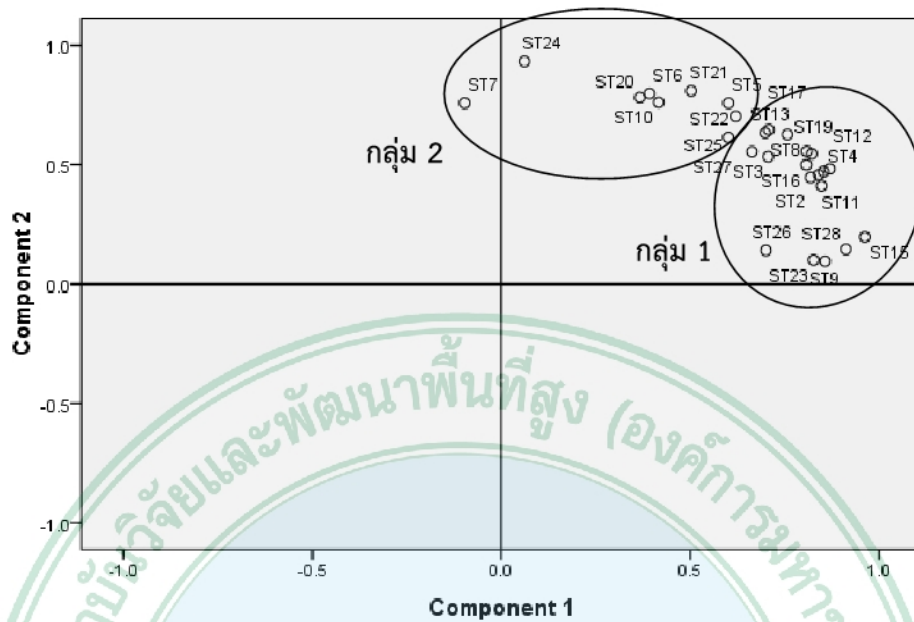
ภาพที่ 4-30 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

ตารางที่ 4-10 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่มีรูปแบบการกระจายตัวของความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนสอดคล้องกัน

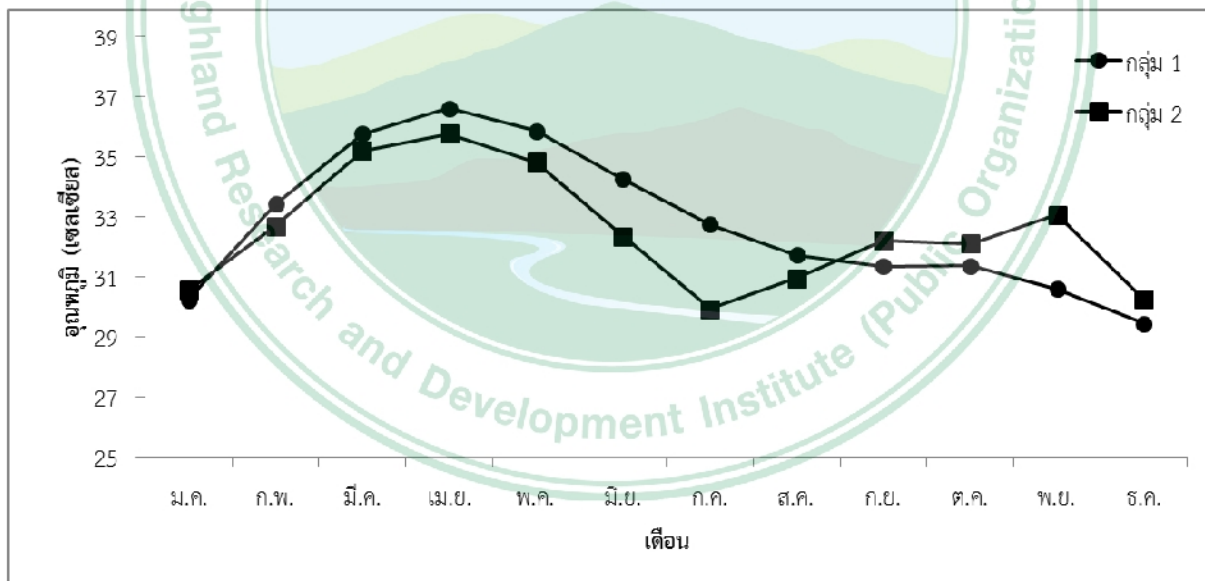
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST2-2	คลองลาน	กำแพงเพชร	ST2-17	แม่จริม	น่าน
ST2-3	ดอยปุย	เชียงใหม่	ST2-20	แม่สลอง	ตาก
ST2-4	ถ้ำเวียงแก	จ.น่าน	ST2-21	แม่สามแลบ	แม่ฮ่องสอน
ST2-5	น้ำแขวง	น่าน	ST2-23	วาวี	เชียงราย
ST2-6	น้ำเค็ม	น่าน	ST2-24	สบโขง	เชียงใหม่
ST2-7	น้ำเป่ง	น่าน	ST2-27	ห้วยเขย่ง	กาญจนบุรี
ST2-8	ปากกล้วย	จ.เชียงใหม่			
ST2-9	ปางยาง	จ.น่าน			
ST2-10	ปางหินฝน	จ.เชียงใหม่			
ST2-11	ป่าแป๋	เชียงใหม่			
ST2-12	ปางแดงใน	เชียงใหม่			
ST2-13	ปางมะโอ	เชียงใหม่			
ST2-14	ห้วยเป้า	เชียงใหม่			
ST2-15	โป่งคำ	น่าน			
ST2-16	ผาแตก	เชียงใหม่			
ST2-18	แม่มะล่อ	เชียงใหม่			
ST2-19	แม่สลอง	เชียงราย			
ST2-22	วังไผ่	น่าน			
ST2-25	สบเมย	แม่ฮ่องสอน			
ST2-26	สะเนียน	น่าน			
ST2-28	โหล่งขอด	เชียงใหม่			

ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนบนพื้นที่สูงสามารถจำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนได้เป็น 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-31) โดยกลุ่มที่ 1 มี 18 สถานี และกลุ่มที่ 2 มี 9 สถานี (ตารางที่ 4-11) กลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน 32.80 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่ากลุ่มที่ 2 ที่มีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.50 องศาเซลเซียส โดยกลุ่มที่ 1 และ 2 มีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนมากที่สุดไนฤดูร้อน (ก.พ.-เม.ย.) ที่ 35.28 องศาเซลเซียส และ 34.56 องศาเซลเซียส และค่อยๆ ลดต่ำลงในฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) โดยกลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนในฤดูฝน 32.90 องศาเซลเซียส ในขณะที่กลุ่มที่ 2 มีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนในฤดูฝน 32.07 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนได้ลดต่อเนื่องในฤดูหนาว (พ.ย.-ม.ค.) โดยมีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนของกลุ่มที่ 1 และ 2 เป็น 30.10 องศาเซลเซียส และ 31.30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 4-32)

Component Plot in Rotated Space



ภาพที่ 4-31 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

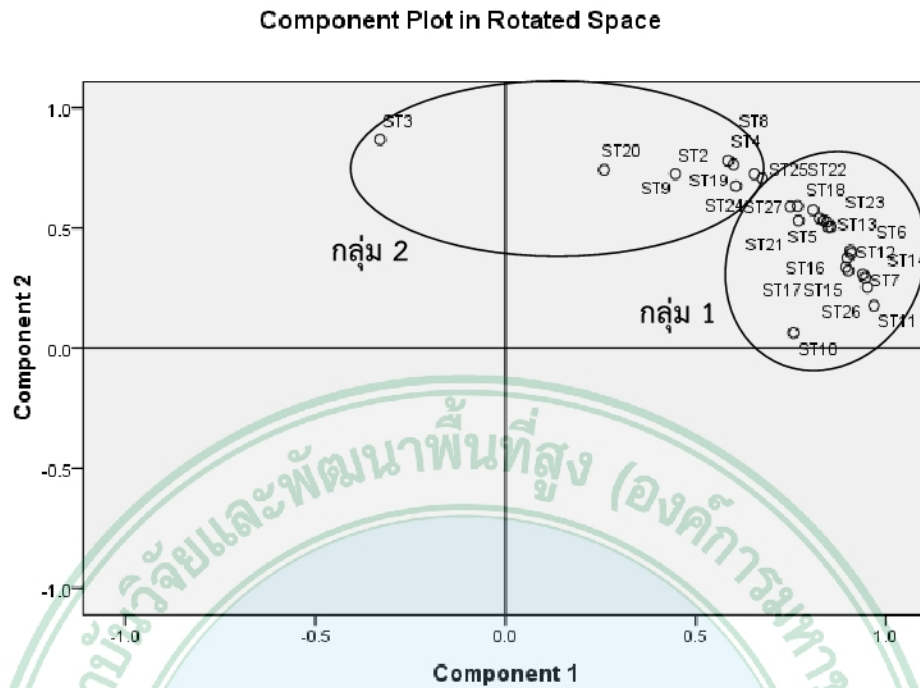


ภาพที่ 4-32 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

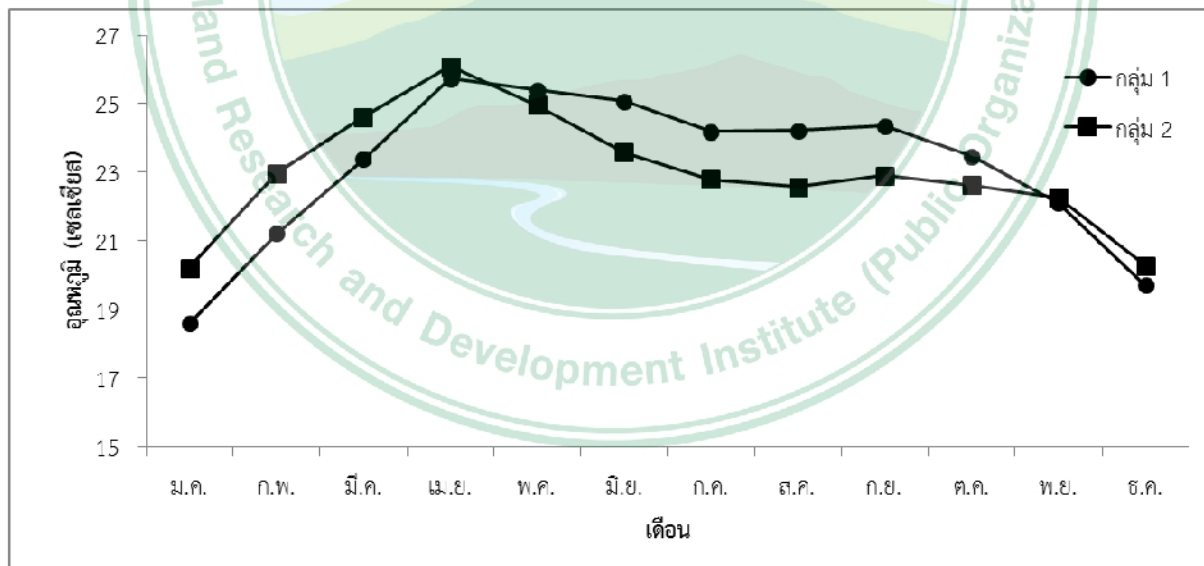
ตารางที่ 4-11 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่มีรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนสอดคล้องกัน

กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST2-2	คลองลาน	กำแพงเพชร	ST2-5	น้ำแขว่ง	น่าน
ST2-3	ดอยปุย	เชียงใหม่	ST2-6	น้ำเค็ม	น่าน
ST2-4	ถ้ำเวียงแก	จ.น่าน	ST2-7	น้ำแปง	น่าน
ST2-8	ปากกล้วย	จ.เชียงใหม่	ST2-10	ปางหินฝน	จ.เชียงใหม่
ST2-9	ปางยาง	จ.น่าน	ST2-20	แม่สอง	ตาก
ST2-11	ป่าแป๋	เชียงใหม่	ST2-21	แม่สามแลบ	แม่ฮ่องสอน
ST2-12	ปางแดงใน	เชียงใหม่	ST2-22	วังไผ่	น่าน
ST2-13	ปางมะโอ	เชียงใหม่	ST2-24	สบโขง	เชียงใหม่
ST2-14	ห้วยเป้า	เชียงใหม่	ST2-25	สบเมย	แม่ฮ่องสอน
ST2-15	โป่งคำ	น่าน			
ST2-16	ผาแตก	เชียงใหม่			
ST2-17	แม่จริม	น่าน			
ST2-18	แม่มะล่อ	เชียงใหม่			
ST2-19	แม่สลอง	เชียงราย			
ST2-23	วาวี	เชียงราย			
ST2-26	สะเนียน	น่าน			
ST2-27	ห้วยเขย่ง	กาญจนบุรี			
ST2-28	โหล่งขอด	เชียงใหม่			

ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่สูงสามารถจำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเฉลี่ยได้เป็น 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-33) โดยกลุ่มที่ 1 มี 19 สถานี และกลุ่มที่ 2 มี 8 สถานี (ตารางที่ 4-12) ซึ่งกลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ 2 โดยมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ย 23.12 องศาเซลเซียส และ 22.99 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม กลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่ากลุ่มที่ 2 ในช่วงฤดูร้อน (ก.พ.-เม.ย.) และฤดูหนาว (พ.ย.-ม.ค.) โดยกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูร้อน 23.44 องศาเซลเซียส และ 24.56 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในฤดูหนาว 20.13 องศาเซลเซียส และ 20.92 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แต่กลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) สูงกว่ากลุ่มที่ 2 โดยมีค่าเป็น 24.45 องศาเซลเซียส และ 23.24 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 4-34)



ภาพที่ 4-33 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของค่าเฉลี่ยอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)



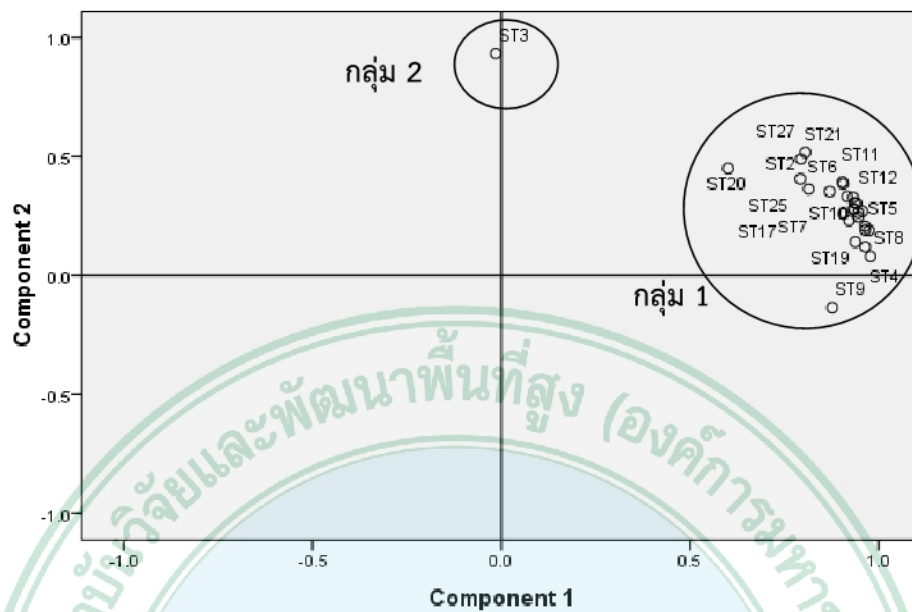
ภาพที่ 4-34 อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

ตารางที่ 4-12 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่มีรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสอดคล้องกัน

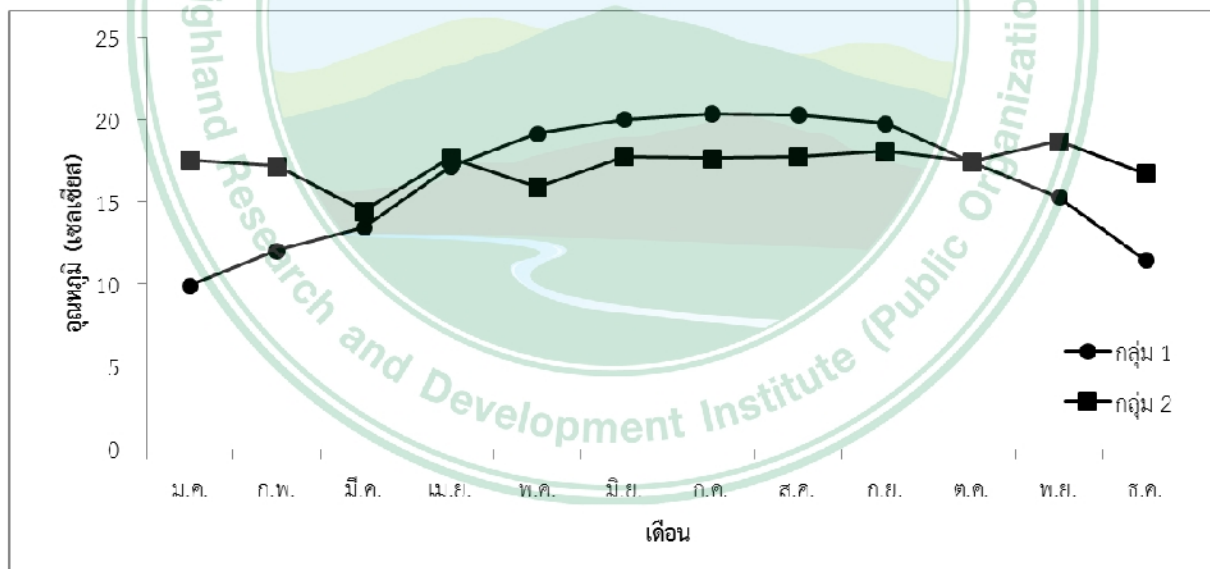
กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST2-5	น้ำแขวง	น่าน	ST2-2	คลองลาน	กำแพงเพชร
ST2-6	น้ำเค็ม	น่าน	ST2-3	ดอยปุย	เชียงใหม่
ST2-7	น้ำเป่ง	น่าน	ST2-4	ถ้ำเวียงแก	จ.น่าน
ST2-10	ปางหินฝน	จ.เชียงใหม่	ST2-8	ปากกล้วย	จ.เชียงใหม่
ST2-11	ป่าแป๋	เชียงใหม่	ST2-9	ปางยาง	จ.น่าน
ST2-12	ปางแดงใน	เชียงใหม่	ST2-19	แม่สลอง	เชียงราย
ST2-13	ปางมะโอ	เชียงใหม่	ST2-20	แม่สลอง	ตาก
ST2-14	ห้วยเป้า	เชียงใหม่	ST2-25	สบเมย	แม่ฮ่องสอน
ST2-15	โป่งคำ	น่าน			
ST2-16	ผาแตก	เชียงใหม่			
ST2-17	แม่จริม	น่าน			
ST2-18	แม่มะลอ	เชียงใหม่			
ST2-21	แม่สามแลบ	แม่ฮ่องสอน			
ST2-22	วังไผ่	น่าน			
ST2-23	วาวี	เชียงราย			
ST2-24	สบโขง	เชียงใหม่			
ST2-26	สะเนียน	น่าน			
ST2-27	ห้วยเขย่ง	กาญจนบุรี			
ST2-28	โหล่งขอด	เชียงใหม่			

ระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่สูงสามารถจำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยได้เป็น 2 กลุ่ม (ภาพที่ 4-35) โดยกลุ่มที่ 1 มี 26 สถานี และกลุ่มที่ 2 มีเพียง 1 สถานี (ตารางที่ 4-13) ซึ่งกลุ่มที่ 1 มีระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนเพียง 16.37 องศาเซลเซียส ในขณะที่กลุ่มที่ 2 มีระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน 17.24 องศาเซลเซียส กลุ่มที่ 1 จะมีระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นจากระดับอุณหภูมิต่ำสุดรายเดือนในฤดูหนาว (พ.ย.-ม.ค.) สู่ฤดูร้อน (ก.พ.-เม.ย.) และค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกในฤดูฝน (พ.ค.-ต.ค.) โดยมีค่า 12.24 องศาเซลเซียส 14.22 องศาเซลเซียส และ 19.50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่มที่ 2 มีระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนค่อนข้างคงที่ โดยมีค่าในฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน เป็น 17.67 องศาเซลเซียส 16.44 องศาเซลเซียส และ 17.43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ภาพที่ 4-36)

Component Plot in Rotated Space



ภาพที่ 4-35 การวิเคราะห์ปัจจัยและการแบ่งกลุ่มแนวโน้มการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)



ภาพที่ 4-36 อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน โดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

ตารางที่ 4-13 รายชื่อสถานีตรวจวัดอากาศของสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่มีรูปแบบการกระจายตัวของอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนสอดคล้องกัน

กลุ่มที่ 1			กลุ่มที่ 2		
สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง	สถานีที่	ชื่อสถานี	ที่ตั้ง
ST2-2	คลองลาน	กำแพงเพชร	ST2-3	ดอยปุย	เชียงใหม่
ST2-4	ถ้ำเวียงแก	จ.น่าน			
ST2-5	น้ำแขวง	น่าน			
ST2-6	น้ำเค็ม	น่าน			
ST2-7	น้ำแบ่ง	น่าน			
ST2-8	ปากกล้วย	จ.เชียงใหม่			
ST2-9	ปางยาง	จ.น่าน			
ST2-10	ปางหินฝน	จ.เชียงใหม่			
ST2-11	ป่าแป๋	เชียงใหม่			
ST2-12	ปางแดงใน	เชียงใหม่			
ST2-13	ปางมะโอ	เชียงใหม่			
ST2-14	ห้วยเป้า	เชียงใหม่			
ST2-15	โป่งคำ	น่าน			
ST2-16	ผาแตก	เชียงใหม่			
ST2-17	แม่จริม	น่าน			
ST2-18	แม่มะลอ	เชียงใหม่			
ST2-19	แม่สลอง	เชียงราย			
ST2-20	แม่สอง	ตาก			
ST2-21	แม่สามแลบ	แม่ฮ่องสอน			
ST2-22	วังไผ่	น่าน			
ST2-23	วาวี	เชียงราย			
ST2-24	สบโขง	เชียงใหม่			
ST2-25	สบเมย	แม่ฮ่องสอน			
ST2-26	สะเนียน	น่าน			
ST2-27	ห้วยเขย่ง	กาญจนบุรี			
ST2-28	โหล่งขอด	เชียงใหม่			

จากการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, วิธี Pearson) ของค่าเฉลี่ยข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี จากทั้ง 27 สถานีตรวจวัดอากาศโดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) พบว่า อุณหภูมิสูงสุดมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ (แปรผันตาม) กับอุณหภูมิเฉลี่ย ($r=0.754$) แต่ไม่มีความสัมพันธ์

กับปัจจัยภูมิอากาศอื่น ในขณะที่ระดับอุณหภูมิเฉลี่ยที่มีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ (แปรผันตาม) ทั้งกับอุณหภูมิสูงสุด ($r=0.754$) และอุณหภูมิต่ำสุด ($r=0.798$) อุณหภูมิต่ำสุดยังมีความสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ (แปรผันตาม) กับปริมาณน้ำฝน ($r=0.817$) และความชื้นสัมพัทธ์ ($r=0.691$) นอกจากนี้ ปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.795$) ค่าค่าสหสัมพันธ์รายเดือนของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศได้แสดงในตารางที่ 4-14 สำหรับข้อมูลภูมิอากาศที่สูงรายเดือนของแต่ละสถานที่ที่บันทึกโดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ได้แสดงในภาคผนวกที่ ฉ-ญ

ตารางที่ 4-14 ค่าค่าสหสัมพันธ์รายเดือนของตัวแปรด้านสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

Correlations

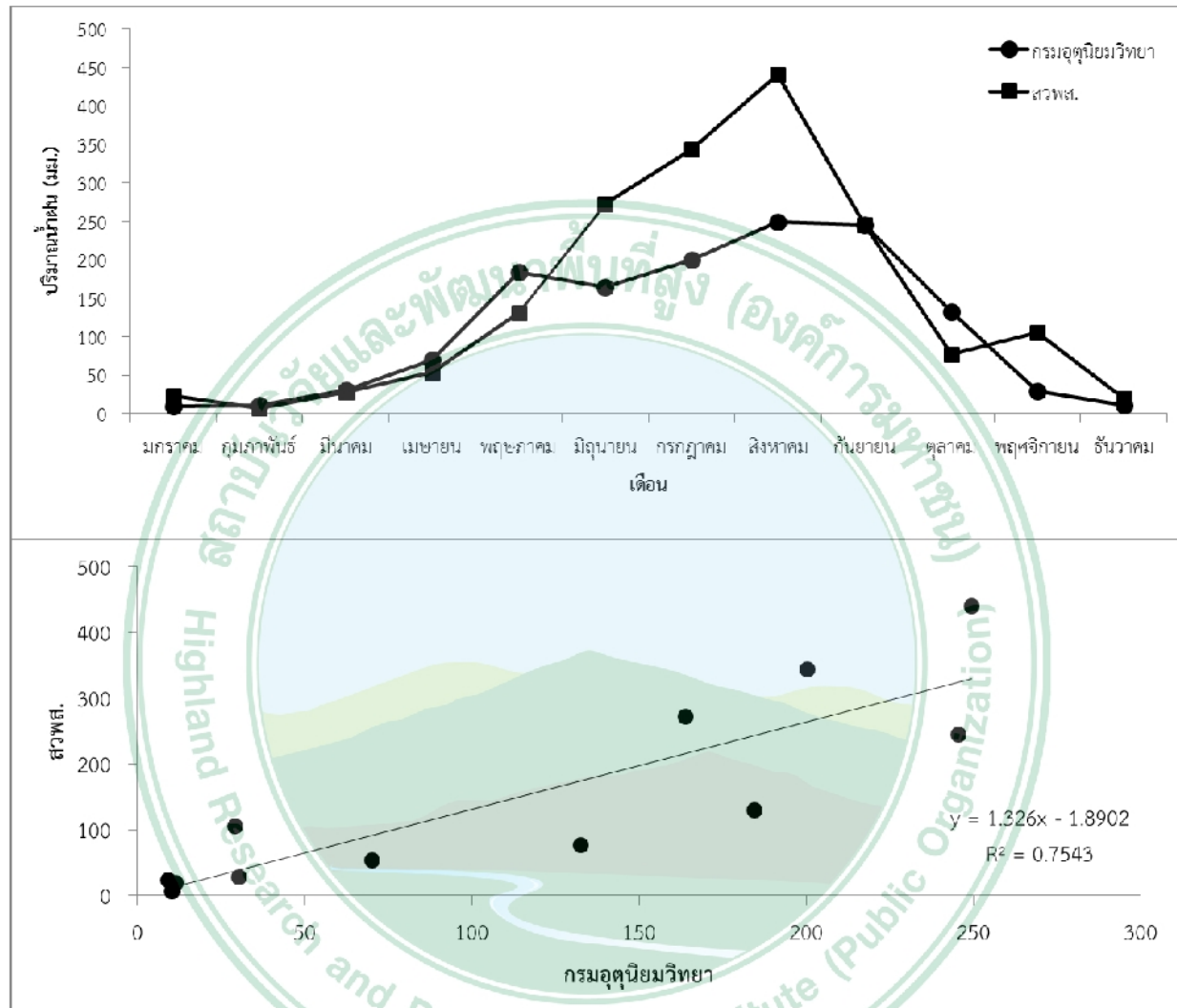
		อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิต่ำสุด	ปริมาณน้ำฝน	ความชื้นสัมพัทธ์
อุณหภูมิสูงสุด	Pearson Correlation	1	.754**	.231	-.146	-.518
	Sig. (2-tailed)		.005	.471	.652	.085
	N	12	12	12	12	12
อุณหภูมิเฉลี่ย	Pearson Correlation	.754**	1	.798**	.417	.126
	Sig. (2-tailed)	.005		.002	.178	.696
	N	12	12	12	12	12
อุณหภูมิต่ำสุด	Pearson Correlation	.231	.798**	1	.817**	.691*
	Sig. (2-tailed)	.471	.002		.001	.013
	N	12	12	12	12	12
ปริมาณน้ำฝน	Pearson Correlation	-.146	.417	.817**	1	.795**
	Sig. (2-tailed)	.652	.178	.001		.002
	N	12	12	12	12	12
ความชื้นสัมพัทธ์	Pearson Correlation	-.518	.126	.691*	.795**	1
	Sig. (2-tailed)	.085	.696	.013	.002	
	N	12	12	12	12	12

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

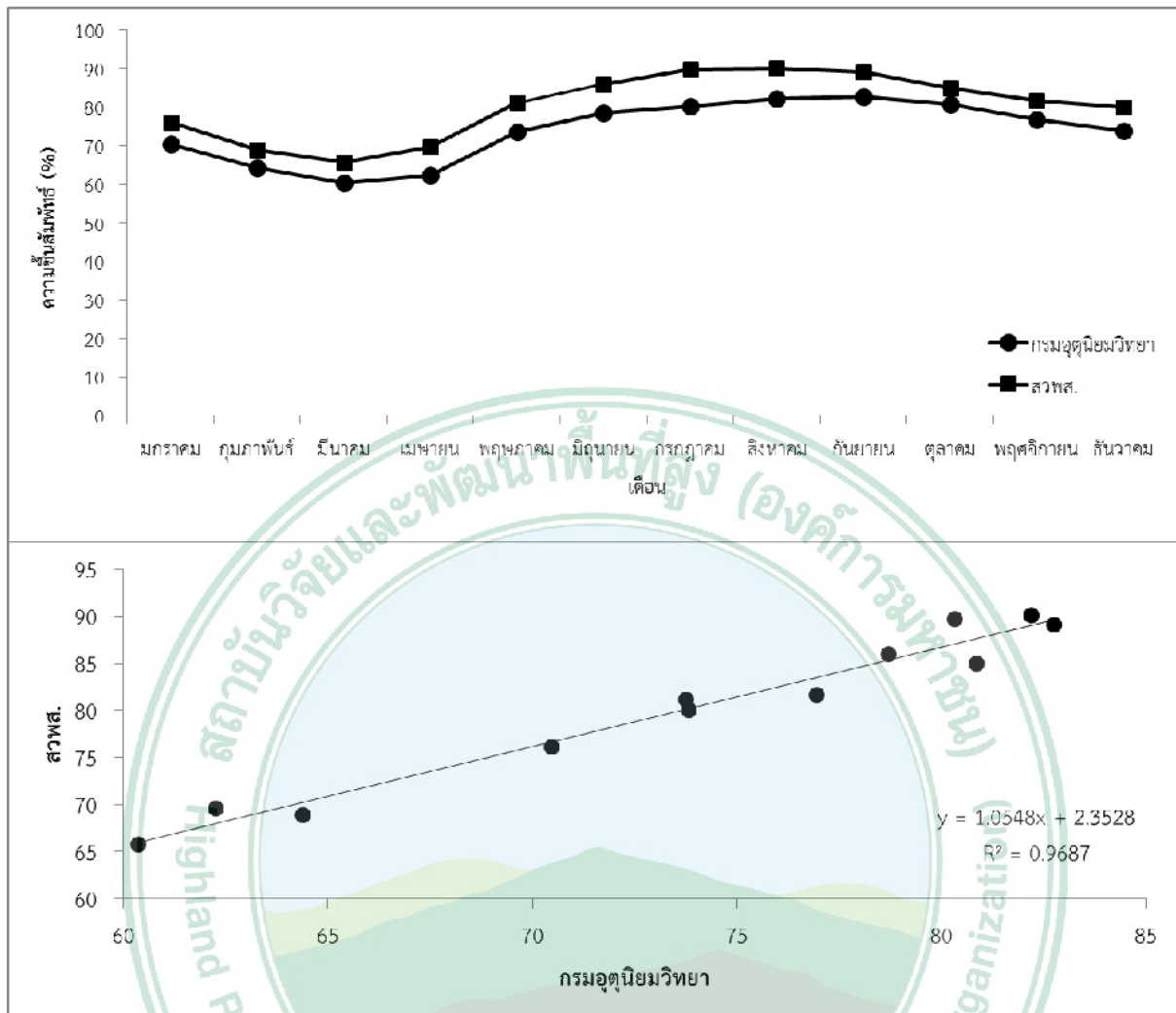
เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์กันของข้อมูลภูมิอากาศรายเดือนจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) โดยการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, วิธี Pearson) พบว่า ปริมาณน้ำฝนจากทั้ง 2 แหล่งแปรผันตามกัน ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกันอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.869$) (ภาพที่ 4-37) โดยปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ราบทางภาคเหนือมีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีบนพื้นที่สูง โดยมีค่าเป็น

1336.11 และ 1748.95 มม. ตามลำดับ สำหรับปริมาณน้ำฝนในฤดูฝน/ฤดูหนาวของพื้นที่ราบทางภาคเหนือมีค่าน้อยกว่าบนพื้นที่สูงเช่นกัน โดยมีค่าเป็น 1175.73/49.74 และ 1510.08/148.94 มม. ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำฝนในฤดูแล้งของพื้นที่ราบทางภาคเหนือมีค่ามากกว่าบนพื้นที่สูง โดยมีค่าเป็น 110.64 และ 89.93 มม. ตามลำดับ



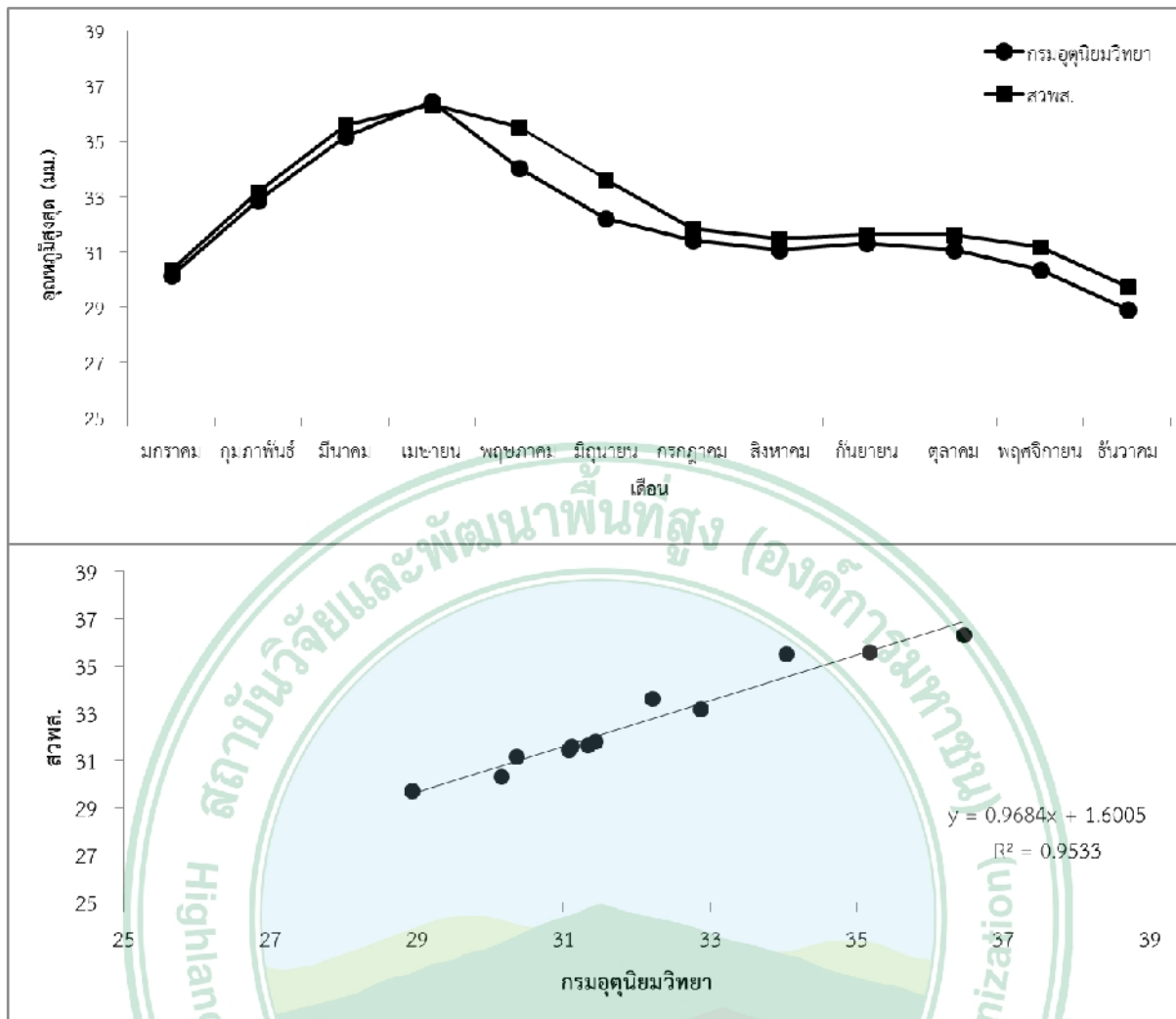
ภาพที่ 4-37 ความสัมพันธ์กันของปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

ข้อมูลความสัมพันธ์ (ภาพที่ 4-38) จากทั้งสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มีการแปรผันไปในทิศทางเดียวกัน หรือกล่าวได้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกันอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.984$) แต่พื้นที่สูงมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ใน ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนสูงกว่าของพื้นที่ราบ โดยความชื้นสัมพัทธ์ดังกล่าวบนพื้นที่สูงมีค่า 80.30 86.88 79.34 และ 68.10% ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์ดังกล่าวของพื้นที่ราบมีค่า 73.89 79.76 73.73 และ 62.32% ตามลำดับ



ภาพที่ 4-38 ความสัมพันธ์กันของความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

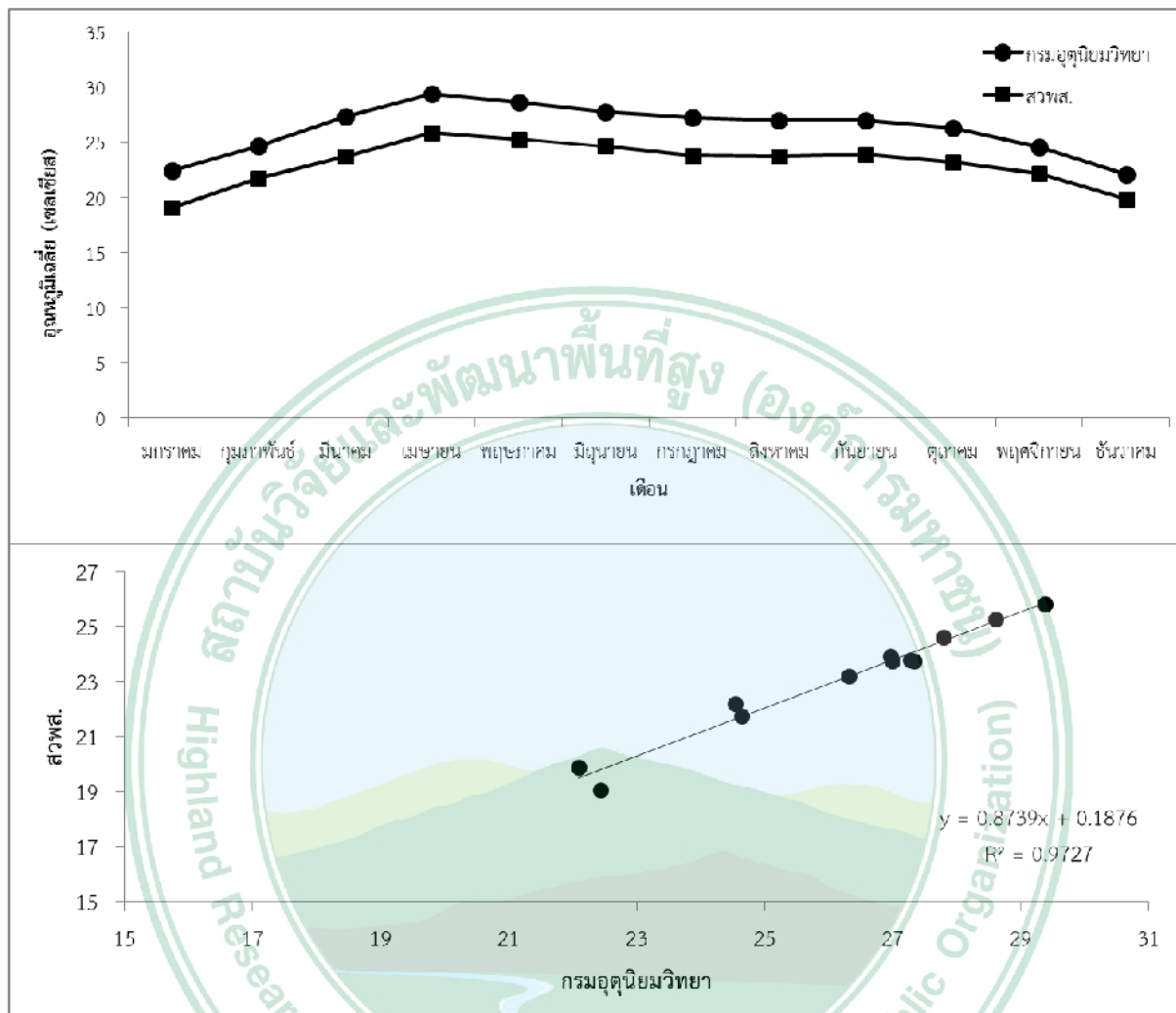
ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด (ภาพที่ 4-39) จากทั้งสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มีการแปรผันไปในทิศทางเดียวกัน หรือกล่าวได้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงบวกกันอย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.976$) แต่บนพื้นที่สูงมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่าพื้นที่ราบ (32.68 องศาเซลเซียส และ 32.09 องศาเซลเซียส ตามลำดับ) นอกจากนี้พื้นที่สูงยังมีค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยใน ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนสูงกว่าของพื้นที่ราบ โดยค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยดังกล่าวบนพื้นที่สูงมีค่า 32.62 30.42 และ 35.04 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยดังกล่าวของพื้นที่ราบมีค่า 31.86 29.81 และ 34.83 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



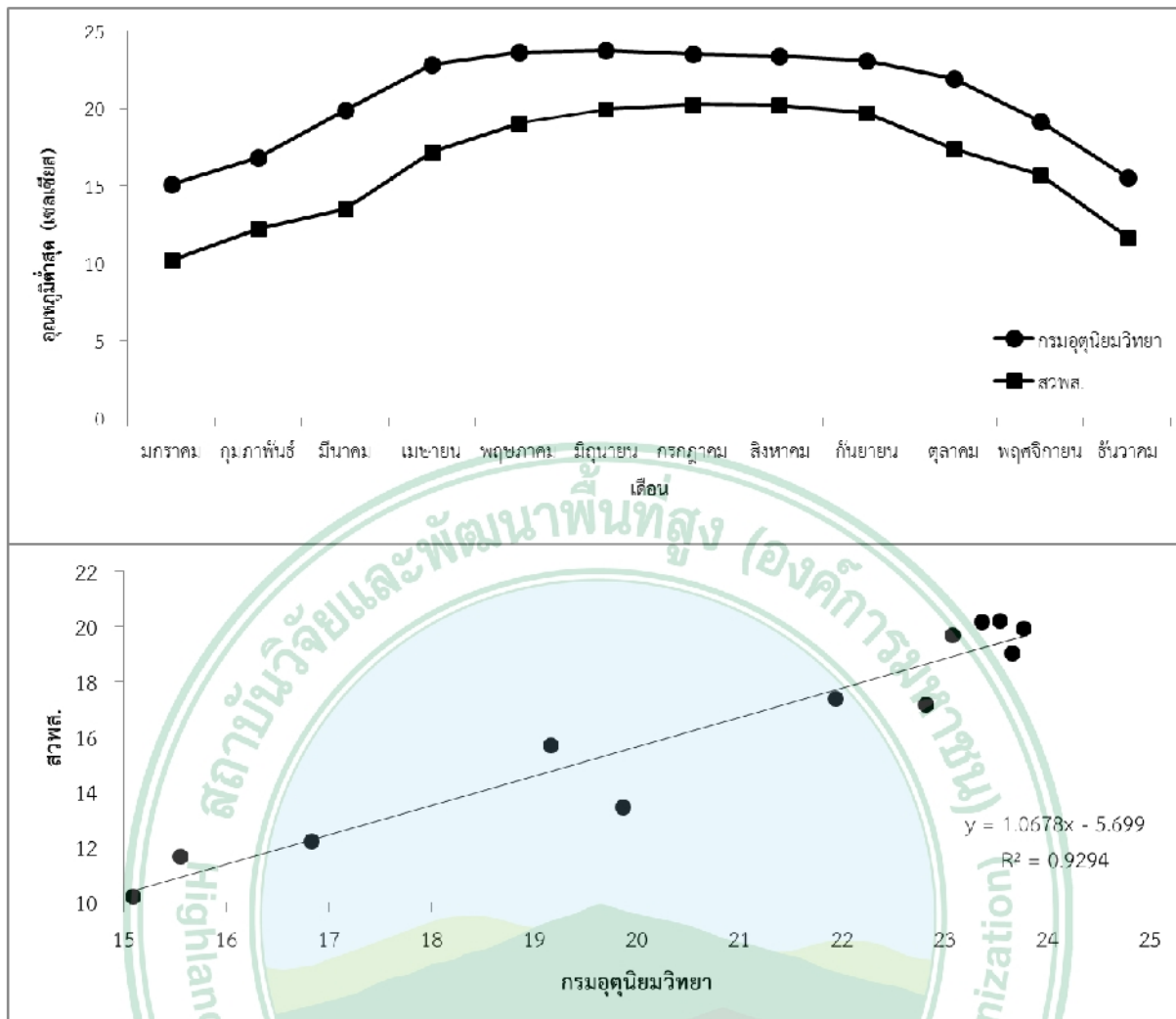
ภาพที่ 4-39 ความสัมพันธ์กันของระดับอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

ในขณะที่ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (ภาพที่ 4-40) และอุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน (ภาพที่ 4-41) จากทั้งสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ถึงแม้จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกันอย่างมีนัยสำคัญ ($r=0.986$ และ 0.964 ตามลำดับ) แต่พบว่าพื้นที่ราบกลับมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยและอุณหภูมิต่ำสุดรายเดือนสูงกว่าของพื้นที่สูง โดยระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของพื้นที่ราบและพื้นที่สูงมีค่า 26.20 และ 23.08 องศาเซลเซียส ตามลำดับ นอกจากนี้ พื้นที่ราบยังมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยใน ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนสูงกว่าของพื้นที่สูง โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ยดังกล่าวบนพื้นที่ราบมีค่า 27.33 23.03 และ 27.12 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิเฉลี่ยดังกล่าวของพื้นที่สูงมีค่า 24.09 20.38 และ 23.77 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนของพื้นที่ราบและพื้นที่สูงมีค่า 20.72 และ 16.42 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยพื้นที่ราบมีค่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยใน ฤดูฝน ฤดูหนาว และฤดูร้อนสูงกว่าของพื้นที่สูง โดยค่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยดังกล่าวบน

พื้นที่ราบมีค่า 23.22 16.60 และ 19.83 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนค่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยดังกล่าวของพื้นที่สูงมีค่า 19.43 12.53 และ 14.30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4-40 ความสัมพันธ์กันของระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)



ภาพที่ 4-41 ความสัมพันธ์กันของระดับอุณหภูมิต่ำสุดรายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยาภาคเหนือและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

4.5 แบบจำลองการพยากรณ์สภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูง

แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดบนพื้นที่สูงในระยะสั้นที่ครอบคลุมการพยากรณ์อากาศใน 3 ช่วงเวลา คือ รายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี ถูกจัดทำขึ้น โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศต่างๆ ในท้องที่ภาคเหนือที่มีความน่าเชื่อถือ และมีการจดบันทึกไว้ตามหลักวิชาการโดยกรมอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด 30 สถานี ดังแสดงในหัวข้อที่ 4 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทางภาคเหนือของประเทศไทย (ภาพที่ 4-42) ข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศทั้งบนพื้นที่ราบสูง (Highland) และพื้นที่ราบต่ำ (Lowland) ซึ่งเป็นข้อมูลรายวัน รายเดือน และรายปี ทั้งหมด 64 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2494 – 2558 โดยข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่ได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลความเร็วลม ข้อมูลความชื้น ข้อมูลปริมาณเมฆ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย ข้อมูลการระเหยของน้ำ ข้อมูลการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และจำนวนวันที่ฝนตก นอกจากนั้นยังมีข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) จำนวน 28 สถานี ซึ่งทั้งหมดเป็นสถานที่ตั้งอยู่บนพื้นที่สูง แต่ข้อมูลทางอากาศที่จัดเก็บค่ามีทั้งหมด 4

ตัวแปร ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลความชื้น ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด และข้อมูลความเร็วลม ซึ่งเป็นข้อมูลรายเดือนทั้งหมด 6 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 – 2558

สถานี	STA_ID	STA_CODE	STA_TYPE	STA_NAME	PRV_CODE	PRV_NAME	AMP_CODE	AVE_NAME	TAM_CODE	TAM_NAME	VTH_CODE	VTH_NAME	LAT	LONG	R_FV
1	13002012	000201	1	MAE HONG SON	50	MAE HONG SON	5001	MUANG	500101	JUNG KAM			19 10 00	97 50 00	260
2	13002022	000202	1	MAE SARJANG	58	MAE HUNG SON	5801	MAE SARJANG	580101	BAN KAT			18 10 00	97 56 00	211
3	13012012	001201	1	CHIANG RAI	57	CHIANG RAI	5701	MUANG	570101	BAN XI			19 57 41	99 52 53	390
4	13030012	003001	1	CHIANG RAI AGRIMET	57	CHIANG RAI	5701	MUANG	570102	ROP WIANG			19 52 15	99 46 00	416
5	13102012	010201	1	PHAYAO	56	PHAYAO	5601	MUANG	560107	BAN TOM			19 08 00	99 54 00	378
6	13272012	027201	1	DOI ANANG-NANG	50	CHIANGMAI	5001	FANG	500101	MON PIN			19 55 53	99 07 54	
7	13275012	027501	1	CHIANGMAI	50	CHIANGMAI	5001	MUANG	500103	SUTHEP			18 17 21	98 38 37	305
8	13282012	028201	1	AMPANG	52	LAMPANG	5201	MUANG	520101	PHRABAT			18 17 10	99 31 00	243
9	13282022	028202	1	THOEN	52	LAMPANG	5206	THOEN	520601	LON RAI			17 38 06	99 14 00	241
10	13283012	028301	1	LAMPANG AGRIMET	52	LAMPANG	5212	HANG CHAT	521201	WANG TAN			18 19 00	99 17 00	314
11	13292012	029201	1	LAMTHUN	51	LAMTHUN	5101	MUANG	510102	BAN KLANG			18 51 00	99 02 00	296
12	13302012	030201	1	PHRA	54	MUANG	5401	MUANG	540101	NACHACK			18 10 00	100 10 00	167
13	13312012	031201	1	NAN	55	NAN	5501	MUANG	550103	DU TAI			18 46 47	100 46 40	200
14	13313012	031301	1	WANG	55	NAN	5501	MUANG	550101	PHAI SIN			18 52 00	100 45 00	764
15	13314012	031401	1	TIA WANG PHA	55	NAN	5501	TIA WANG PHA	550101	TIA WANG PHA			19 06 00	100 40 00	235
16	13314022	031402	1	THUNG CHANG	55	NAN	5501	THUNG CHANG	550101	IAE			19 24 43	100 53 07	333
17	13512012	051201	1	UTTARADIT	53	UTTARADIT	5301	MUANG	530101	THA IT			17 37 00	100 06 00	63
18	13732012	073201	1	SUKHOTHA	64	SUKHOTHA	6406	SUKHOTHA	640601	THAP PHUENG			17 06 22	99 48 00	48
19	13733012	073301	1	SI SAMRONG AGRIMET	64	SUKHOTHA	6406	SI SAMRONG	640601	KI LONG TAN			17 10 00	99 32 00	53
20	13762012	076201	1	TAK	63	TAK	6301	MUANG	630103	NAMRU			16 52 42	99 08 36	124
21	13762022	076202	1	MAE SOT	63	TAK	6306	MAE SOT	630601	THA SAI LUAT			16 39 33	98 33 03	196
22	13762032	076203	1	BHUMIBUL	61	TAK	6303	SAM NGAO	630301	SAM NGAO			17 11 00	99 03 00	113
23	13763012	076301	1	DOI MUE	65	TAK	6301	MUANG	630111	MAETHO			16 46 00	98 56 00	860
24	13764012	076401	1	UMPHANG	66	TAK	6308	UMPHANG	630801	UMPHANG			16 00 57	98 51 56	454
25	13782012	078201	1	PHITSANULOK	65	PHITSANULOK	6501	MUANG	650117	ARANYIK			16 47 00	100 16 00	45
26	13792012	079201	1	PHICHIT	67	PHICHIT	6701	MUANG	670101	NAI MUANG			16 26 00	101 15 00	114
27	13794012	079401	1	LOM SAK	68	PHICHIT	6701	LOM SAK	670101	LOM SAK			16 46 26	101 16 28	142
28	13791022	079102	1	WICHIAN BURI	60	PHICHIT	6701	WICHIAN BURI	670101	THA RONG			15 30 25	101 06 30	68
29	13802012	080201	1	UMPHANG PHU	62	UMPHANG PHU	6201	MUANG	620101	NAT MUANG			16 29 10	99 37 00	80
30	13863012	086301	1	PHICHIT AGRIMET	66	PHICHIT	6601	MUANG	660107	LONG CHANG			16 26 17	100 17 33	35

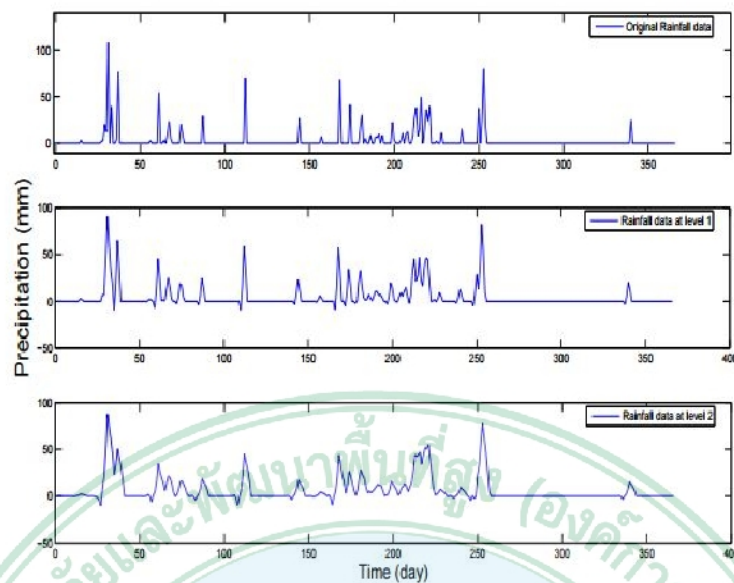
ภาพที่ 4-42 สถานีตรวจวัดสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ภาคเหนือที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาสำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาล

สำหรับการสร้างแบบจำลองพยากรณ์สภาพภูมิอากาศในครั้งนี้ ข้อมูลนำเข้าที่นำมาใช้พิจารณาประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด และข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด ซึ่งเป็นปัจจัยทางภูมิอากาศที่มีการบันทึกตรงกันทั้งจากกรมอุตุนิยมวิทยา และจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) จากนั้น ข้อมูลเข้าทั้งหมดจะถูกนำมาแปลงด้วยการแปลงแบบเวฟเลตเพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์เวฟเลตต่างๆ ที่ระดับ resolution ที่ต้องการ โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Daubechies2 และพิจารณาระดับ resolution ถึงขั้นที่สอง ตัวอย่างการแปลงเวฟเลตของข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยใช้ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Daubechies2 สามารถดูได้จากภาพที่ 4-43

เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการแปลงเวฟเลตที่ระดับต่างๆ ของข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุด และข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด ผู้วิจัยได้นำค่าที่ได้มาสร้างแบบจำลองโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับ (Back propagation Artificial neural network) โดยทำการสอนให้โครงข่ายได้เรียนรู้เพื่อหาค่าจำนวนบัพเข้าในแต่ละตัวแปรที่เหมาะสมพร้อมทั้งจำนวนบัพในชั้นซ่อน เพื่อให้ได้การทำนายที่มีความถูกต้องมากที่สุด

4.5.1 การพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูง

ประสิทธิภาพของแบบจำลองสามารถพิจารณาได้จากค่าทางสถิติจำนวน 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square error, RMSE)



ภาพที่ 4-43 การแปลงเวฟเลตของข้อมูลปริมาณน้ำฝนโดยใช้ฟังก์ชันเวฟเลตแบบ Daubechies2 ที่ resolution ระดับ 1 และ 2

- ค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Root mean square error, RMSE) เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์จากแบบจำลองกับค่าจริงที่เกิดขึ้น หากค่า RMSE มีค่าน้อย แสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง ดังนั้น RMSE ที่มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าแบบจำลองการพยากรณ์มีความแม่นยำสูงมากและไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์เลย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$x_{rmse} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

โดยที่ x_{rmse} คือค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองและ x_i คือ ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์จากจำนวนข้อมูลตัวที่ i ถึง N

- ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) เป็นค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองที่สามารถอธิบายได้มีอยู่ในตัวแบบเชิงเส้นนี้มากน้อยเพียงใดและเป็นการบอกว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมานั้นมีความเหมาะสมถูกต้อง เหมาะสมกับข้อมูลเพียงใด โดย R square มีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 และหากตัวแบบที่สร้างมามีค่า R square ยิ่งสูงเท่าใด ความแม่นยำของการนำตัวแบบไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ตัวแบบที่มีค่า R square ไม่สูงมากนัก แต่ยังอยู่ในช่วงของระดับความเชื่อมั่น 95% ก็สามารถยอมรับและนำตัวแบบนั้นมาใช้งานได้ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจสามารถคำนวณได้โดย

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_i^{re})^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

โดยที่ R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และ x_i, x_i^{re} คือ จำนวนข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์และค่าจริงตัวที่ i ถึง N ตามลำดับ และ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

4.5.2 การปรับปรุงแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศในอนาคตในระยะสั้นของปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

จากแบบจำลองในการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศในอนาคตในระยะสั้นของปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 (สรรพิตา และคณะ, 2558) เป็นการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมใน 1-5 ฤดูกาล (1 ฤดูกาล = 4 เดือน) ล่วงหน้าได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ โดยในฤดูกาลที่ 1 สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$R_{t+1} = f \left(\begin{matrix} R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, R_{t-3}, R_{t-4}, H_t, H_{t-1}, H_{t-2}, H_{t-3}, H_{t-4}, W_t, W_{t-1}, W_{t-2}, W_{t-3}, W_{t-4}, \\ T_t, T_{t-1}, T_{t-2}, T_{t-3}, T_{t-4}, C_t, C_{t-1}, C_{t-2}, C_{t-3}, C_{t-4} \end{matrix} \right)$$

โดยที่ R_t, H_t, W_t, T_t, C_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาล ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม อุณหภูมิต่ำสุด และปริมาณเมฆ ณ ฤดูกาลที่ t ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพที่ได้จากชุดการสอนมีค่า $R^2 = 0.9937$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ RMSE = 26.2730 มิลลิเมตร และชุดทดสอบมีค่า $R^2 = 0.9902$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ RMSE = 25.7439 มิลลิเมตร สำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาลล่วงหน้าในฤดูกาลที่ 2 ถึง 5 สามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

$$(R_{t+1}, R_{t+2}, R_{t+3}, R_{t+4}, R_{t+5}) = f \left(\begin{matrix} R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, R_{t-3}, R_{t-4}, H_t, H_{t-1}, H_{t-2}, H_{t-3}, H_{t-4}, W_t, W_{t-1}, \\ W_{t-2}, W_{t-3}, W_{t-4}, T_t, T_{t-1}, T_{t-2}, T_{t-3}, T_{t-4}, C_t, C_{t-1}, C_{t-2}, C_{t-3}, C_{t-4} \end{matrix} \right)$$

โดยที่ R_t, H_t, W_t, T_t, C_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาล ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม อุณหภูมิต่ำสุด และปริมาณเมฆ ณ ฤดูกาลที่ t ตามลำดับ ซึ่งความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบจะลดลงเมื่อจำนวนฤดูกาลที่พยากรณ์ล่วงหน้าเพิ่มมากขึ้น

จากแบบจำลองการพยากรณ์ลักษณะสภาพภูมิอากาศในอนาคตในระยะสั้นของปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ดังกล่าวข้างต้น พบว่า เป็นเพียงแบบจำลองที่ใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมรายฤดูกาล (ทุกๆ 4 เดือน) ซึ่งอาจไม่สอดคล้องต่อความต้องการใช้ประโยชน์ของนักวิจัยที่ต้องการทราบข้อมูลการพยากรณ์รายสัปดาห์ รายเดือน รวมถึงข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมรายปี ประกอบกับข้อมูลฐานที่ใช้ในแบบจำลองยังคงเป็นข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบเพียงอย่างเดียว ซึ่งไม่สามารถอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศบนพื้นที่สูงได้อย่างชัดเจนนัก คณะผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนบนพื้นที่สูงโดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่ราบบางปัจจัยร่วมกับข้อมูลสภาพอากาศบนพื้นที่สูง เนื่องจากข้อมูลสภาพอากาศบนพื้นที่สูงที่มีการบันทึกน้อยกว่า 10 ปี ประกอบกับมีความสมบูรณ์ของชุดข้อมูลน้อย คณะผู้วิจัยจึง

จำเป็นต้องใช้ข้อมูลสภาพอากาศบนพื้นที่ราบมาช่วยเสริมความสมบูรณ์ของข้อมูล และต้องตัดปัจจัยปริมาณเมฆกับความเร็วลมออกไป เพื่อให้ปัจจัยสภาพภูมิอากาศทั้งบนพื้นที่ราบและบนพื้นที่สูงที่ใช้ในแบบจำลองมีความสอดคล้องกัน แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนที่ปรับปรุงขึ้นในปัจุบันนี้จึงสามารถพยากรณ์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปีได้ จากข้อมูลอากาศบนพื้นที่สูงร่วมกับข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบแทนที่การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายฤดูกาลบนพื้นที่สูงจากข้อมูลสภาพอากาศบนพื้นที่ราบในปัจุบันประมาณ 2558

แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมบนพื้นที่สูงถูกปรับปรุงขึ้นโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับได้ (Back-propagation artificial neural network) ร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต (Wavelet transformation) ให้สามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมระยะ 1 ช่วงเวลาล่วงหน้า ทั้งรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี โดยข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศที่นำมาพิจารณามีทั้งหมด 58 สถานี ทั่วทั้งภาคเหนือในบริเวณที่ราบสูงและที่ราบต่ำ จากกรมอุตุนิยมวิทยาและจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูงสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502-2558 โดยมีข้อมูลออกเพียงแค่ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมรายช่วงเวลาที่กำหนดอย่างเดียว ซึ่งในการพิจารณาพยากรณ์ 1 ช่วงเวลาล่วงหน้า ข้อมูลออก คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงเวลาถัดไป

ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมรายช่วงเวลาที่กำหนด โดยใช้ระเบียบวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลอากาศจากทุกสถานีออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดสอนที่มีการใช้ข้อมูลสภาพอากาศจริงในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์อากาศและเปรียบเทียบค่าอากาศที่วัดได้จริงกับค่าที่สร้างขึ้นจากแบบจำลองการพยากรณ์อากาศ ซึ่งกระบวนการนี้จะเรียกว่า Calibration และชุดทดสอบที่เป็นการนำแบบจำลองการพยากรณ์อากาศที่สร้างเสร็จแล้วมาใช้พยากรณ์อากาศในชุดข้อมูลอากาศที่ไม่ได้นำมาประกอบการจัดทำแบบจำลองการพยากรณ์อากาศ กระบวนการนี้ เรียกว่า Verification โดยอัตราการแบ่งข้อมูลอยู่ที่ 75:25 จากข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502-2558 ทั้งหมด 58 สถานี ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้าง 16-200-1 ตามที่กล่าวข้างต้น จะเห็นว่าประสิทธิภาพที่ได้ทั้งจากชุดการสอน (Calibration) และชุดทดสอบ (Verification) มีค่าความถูกต้องที่สูงมาก โดยมีค่า $R^2 = 0.9960$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่า RMSE = 51.4309 มิลลิเมตร ในชุดสอน และ $R^2 = 0.9601$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่า RMSE = 148.4894 มิลลิเมตร ในชุดทดสอบ (ตารางที่ 4-15)

ตารางที่ 4-15 ค่าทางสถิติจากการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต โดยมีโครงสร้าง 16-200-1 ของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ภาคเหนือ

	ค่าความผิดพลาด กำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2)
ชุดสอน	51.4309	0.9960
ชุดทดสอบ	148.4894	0.9601

4.5.2.1 การปรับปรุงแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์

คณะวิจัยได้พิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมโดยใช้จำนวนสัปดาห์ย้อนหลัง ตั้งแต่ 1 จนถึง 3 เดือน เพื่อที่จะทำนายปริมาณน้ำฝนสะสมในสัปดาห์ถัดไป ซึ่งในส่วนนี้เราจะพิจารณาตั้งแต่ 1 ถึง 5 สัปดาห์ถัดไป และใช้ชั้นซ่อน 1 ชั้นโดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพจนถึง 200 บัพ ซึ่งโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุดคือโครงข่าย 12-60-x ; x = 1,...,5 นั่นคือ ใช้ข้อมูลเข้า 3 สัปดาห์ย้อนหลัง ในแต่ละข้อมูลและมี 60 บัพในชั้นซ่อนและข้อมูลออกเป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนในสัปดาห์ที่ 1 ถึง 5 เราสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดย

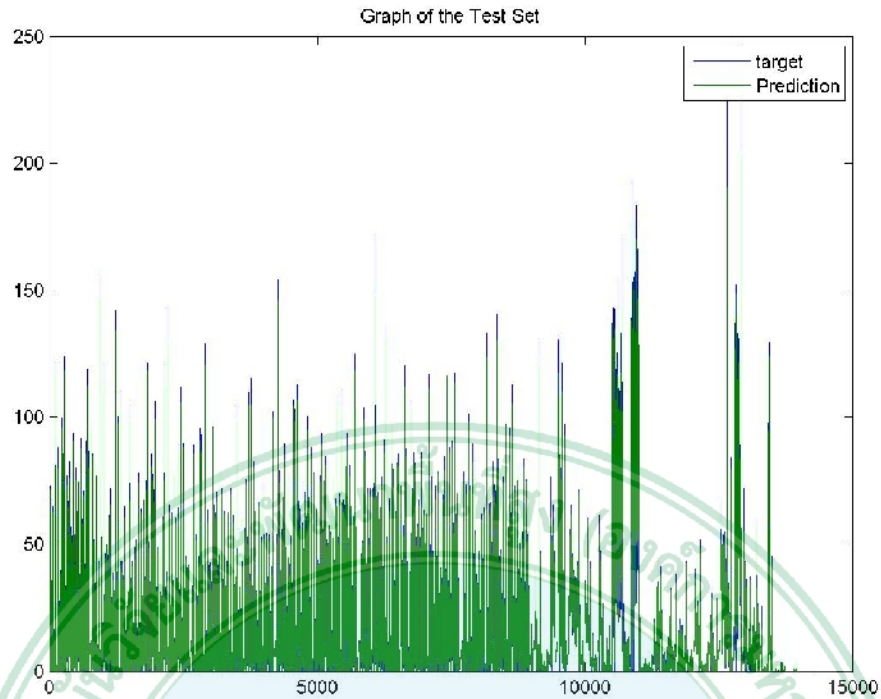
$$(R_{t+1}, R_{t+2}, R_{t+3}, R_{t+4}, R_{t+5}) = f(R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, H_t, H_{t-1}, H_{t-2}, Tx_t, Tx_{t-1}, Tx_{t-2}, Tn_t, Tn_{t-1}, Tn_{t-2})$$

โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมรายสัปดาห์ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ณ สัปดาห์ที่ t ตามลำดับ จากนั้น ทำการแบ่งข้อมูลจากทุกสถานีทั้งหมดออกเป็นสองชุด ได้แก่ ชุดสอนและชุดทดสอบ โดยมีอัตราการแบ่งเท่าเดิมที่ 75:25 จากข้อมูลตั้งแต่ปี 1959-2015 ทั้งหมด 58 สถานี พบว่า โครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงข่าย 12-60-x ; x = 1,...,5 มีประสิทธิภาพและให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุด โดยมีค่าทางสถิติแสดงในตารางที่ 4-16 แต่พบว่าความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบจะลดลงเมื่อมีการพยากรณ์ล่วงหน้าหลายสัปดาห์ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าลดน้อยลง

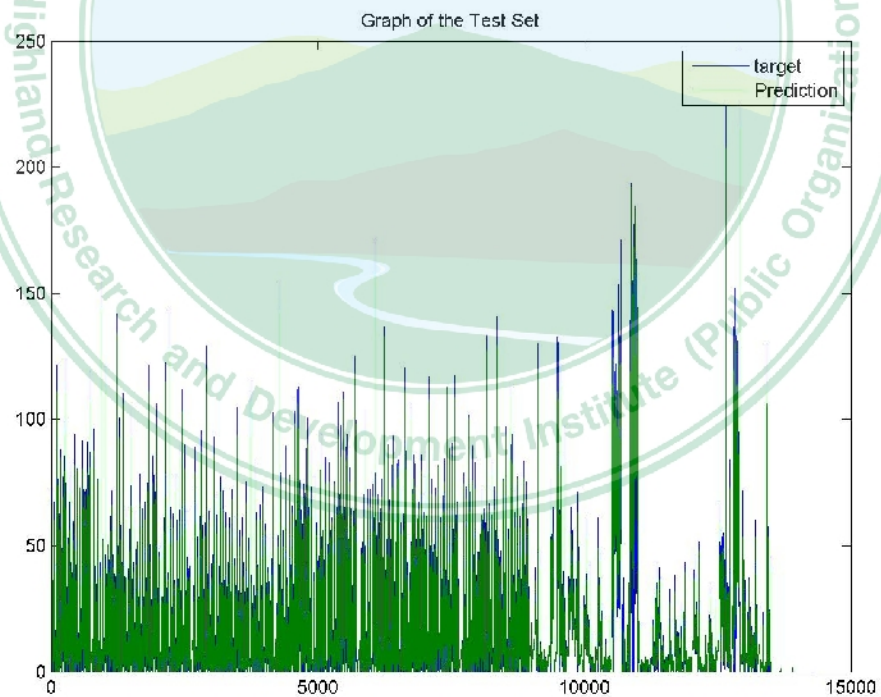
ตารางที่ 4-16 ค่าทางสถิติของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์ในพื้นที่ภาคเหนือ

จำนวนช่วงเวลาที่ยาพยากรณ์ล่วงหน้า (สัปดาห์)	ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
1	3.3981	0.9766
2	5.1554	0.9463
3	8.9851	0.8371
4	12.2534	0.6970
5	14.2512	0.5902

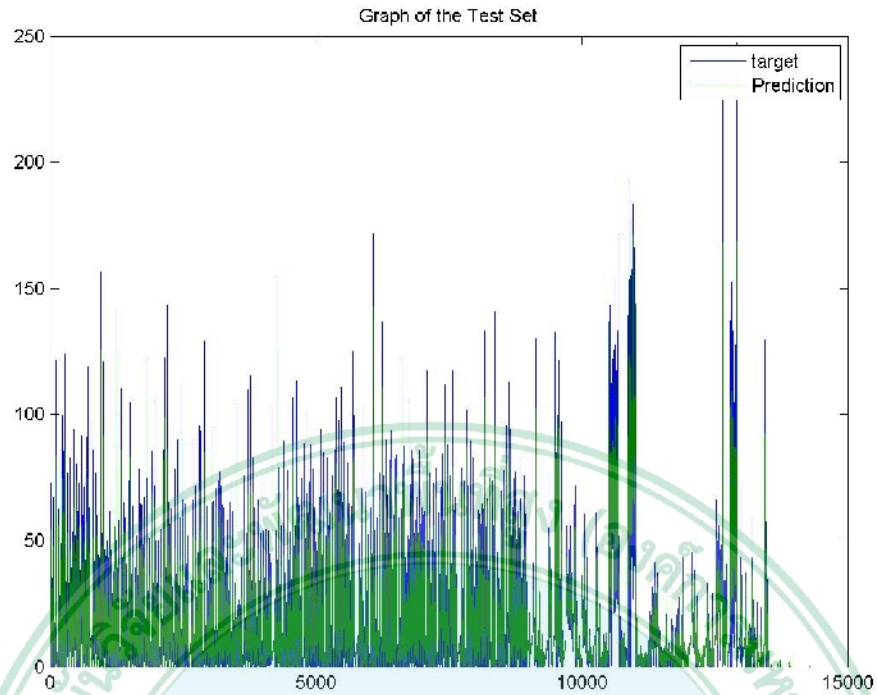
จากภาพที่ 4-44 ถึง 4-48 พบว่า ประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมรายสัปดาห์ล่วงหน้า 5 สัปดาห์ในพื้นที่ทดสอบภาคเหนือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลตมีความถูกต้องแม่นยำลดลงตามระยะเวลาในการทำนายที่เพิ่มมากขึ้น โดยความสามารถในการพยากรณ์ที่ลดลงจะสังเกตได้จากความแตกต่างของปริมาณน้ำฝนสะสม ที่เกิดจากการพยากรณ์และค่าจริงที่มีความแตกต่างกันเพิ่มมากขึ้น



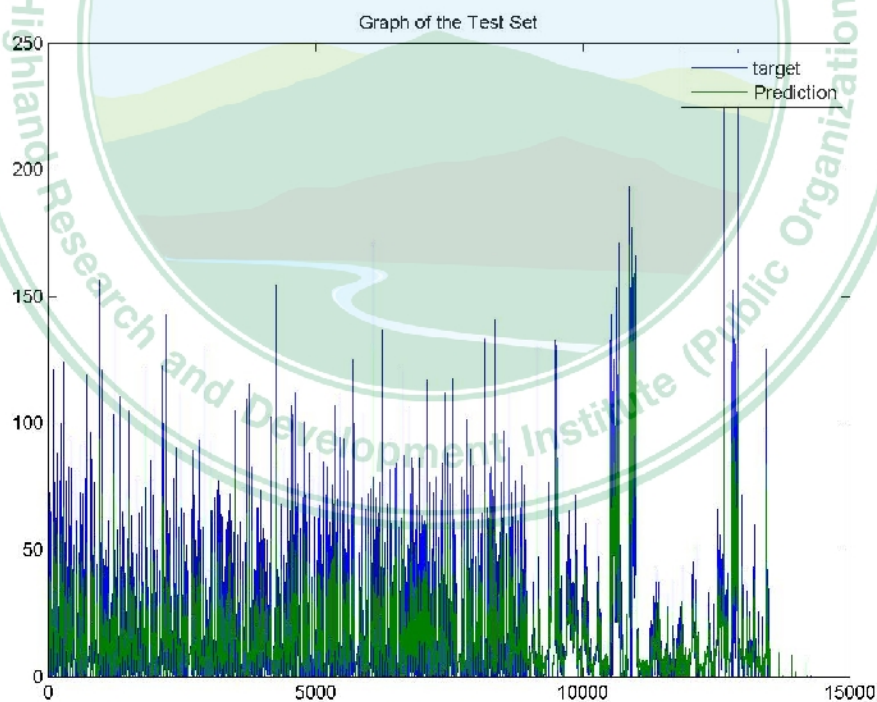
ภาพที่ 4-44 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 สัปดาห์ เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



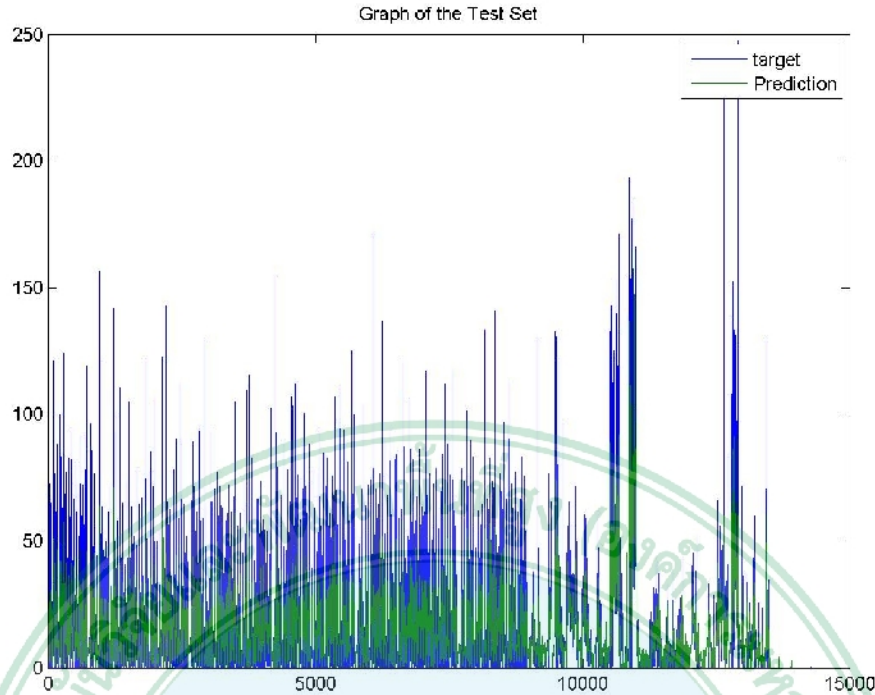
ภาพที่ 4-45 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 สัปดาห์ เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-46 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 สัปดาห์ เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-47 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 4 สัปดาห์ เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-48 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 สัปดาห์ เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

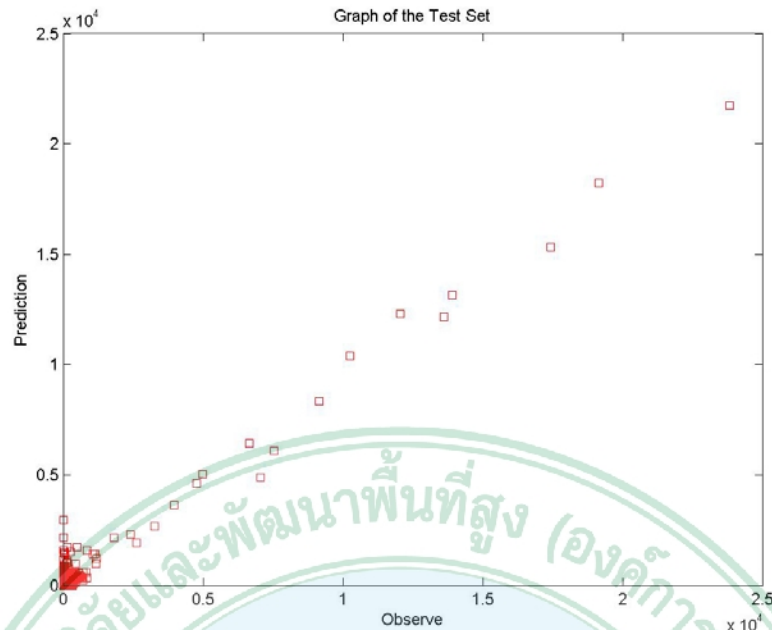
4.5.2.2 การปรับปรุงแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือน

ในการพิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนเดือนย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 5 เดือน เพื่อที่จะพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาถัดไป และใช้ชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพ จนถึง 200 บัพ ซึ่งโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุดคือ โครงสร้าง 16-200-1 นั่นคือ การใช้ข้อมูลเข้า 4 ช่วงเวลาย้อนหลังในแต่ละข้อมูล และมี 200 บัพในชั้นซ่อน ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดย

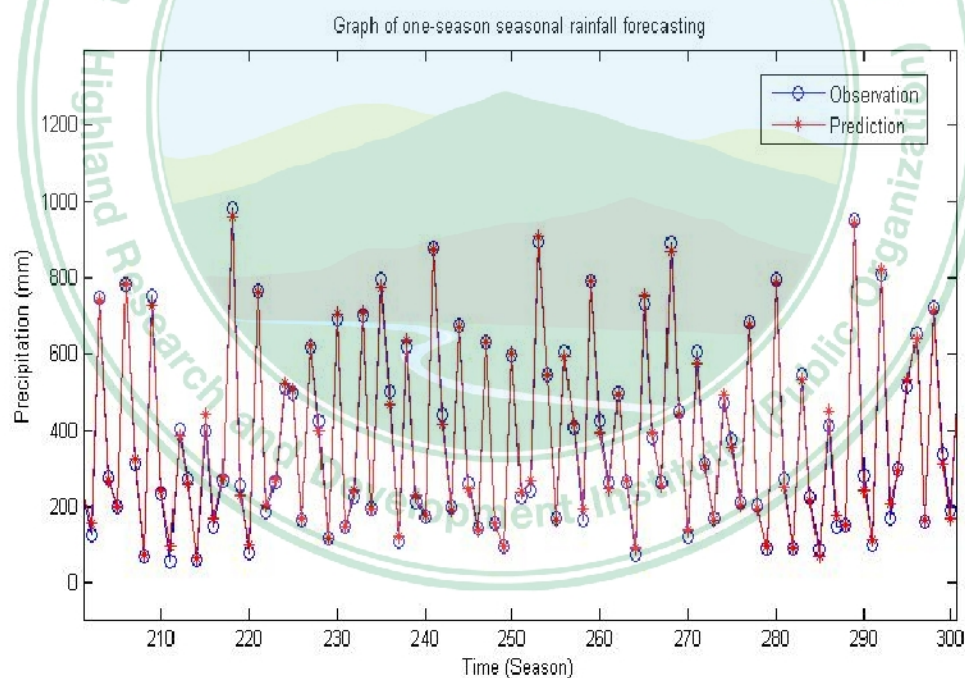
$$R_{t+1} = f(R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, R_{t-3}, H_t, H_{t-1}, H_{t-2}, H_{t-3}, Tx_t, Tx_{t-1}, Tx_{t-2}, Tx_{t-3}, Tn_t, Tn_{t-1}, Tn_{t-2}, Tn_{t-3})$$

โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสม ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด รายเดือน ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ

จากภาพที่ 4-49 และ 4-50 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลตสามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมล่วงหน้า 1 เดือน ในพื้นที่ภาคเหนือได้ โดยสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการตกของฝนได้ทั้งแบบที่มีปริมาณน้ำฝนมากและมีปริมาณน้ำฝนน้อยซึ่งจะเห็นได้จากในภาพที่ 4-50 ที่การทำนายให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมาก



ภาพที่ 4-49 ความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการพยากรณ์และค่าจริงจากการบันทึกปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือนจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ทางภาคเหนือ



ภาพที่ 4-50 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

คณะผู้วิจัยยังได้พิจารณาข้อมูลอากาศเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมล่วงหน้ามากกว่าหนึ่งเดือน ดังนั้นข้อมูลออกในการพยากรณ์ คือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงเดือนถัดไป และมีข้อมูลเข้าตามทฤษฎีข้างต้น ในการพิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนช่วงเวลาย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 5 ช่วงเวลา เพื่อทำนายปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาถัดไป ซึ่งในส่วนนี้

ผู้วิจัยได้พิจารณาตั้งแต่ 2 ถึง 5 ช่วงเวลาถัดไป และใช้ชั้นซ้อน 1 ชั้น โดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพ จนถึง 200 บัพ ซึ่งโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุดคือโครงข่าย 16-200-x ; x = 2,...,5 นั่นคือใช้ข้อมูลเข้า 5 ช่วงเวลาย้อนหลังในแต่ละข้อมูล และมี 200 บัพในชั้นซ้อน และข้อมูลออกเป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาที่ 2 ถึง 5 ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$(R_{t+1}, R_{t+2}, R_{t+3}, R_{t+4}, R_{t+5}) = f \left(\begin{matrix} R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, R_{t-3}, H_t, H_{t-1}, H_{t-2}, H_{t-3}, \\ Tx_t, Tx_{t-1}, Tx_{t-2}, Tx_{t-3}, Tn_t, Tn_{t-1}, Tn_{t-2}, Tn_{t-3} \end{matrix} \right)$$

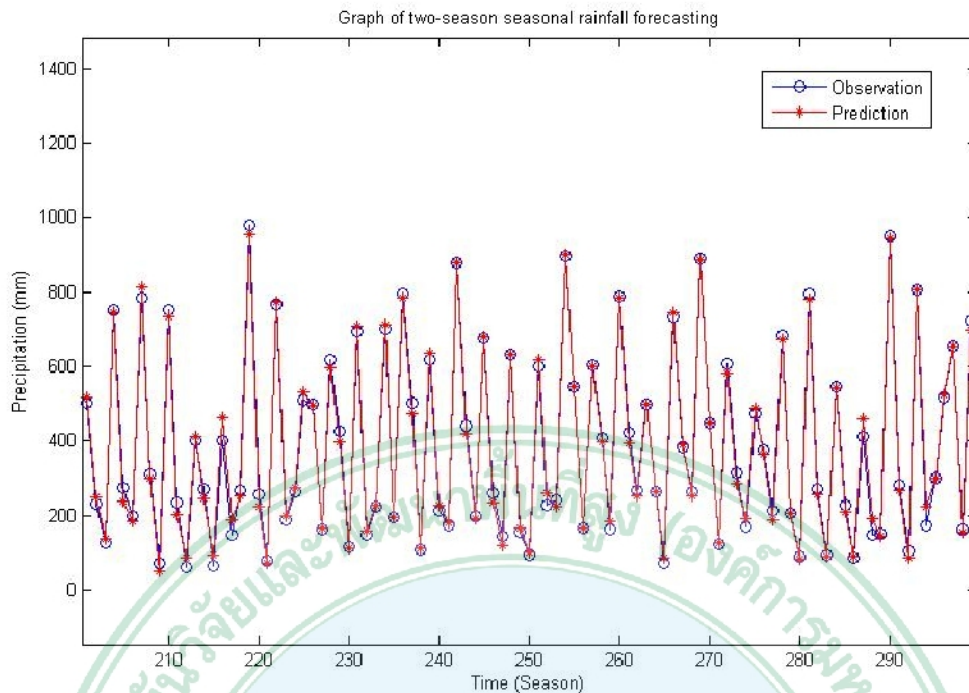
โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ

เช่นเดียวกับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสม 1 เดือนล่วงหน้า ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ข้อมูลสภาพอากาศจากทุกสถานีตรวจวัดทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดสอน และชุดทดสอบ โดยมีอัตราการแบ่งเท่าเดิมที่ 75:25 จากข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502 - 2558 ทั้งหมด 58 สถานี และพบว่าโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงข่าย 16-200-x ; x = 2,...,5 ตามที่กล่าวข้างต้นมีประสิทธิภาพและให้ค่าความถูกต้องที่สูงทั้งจากชุดการสอนและชุดทดสอบ โดยมีค่าทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4-17 อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบจะลดลงเมื่อพยากรณ์หลายเดือนล่วงหน้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าน้อยลง

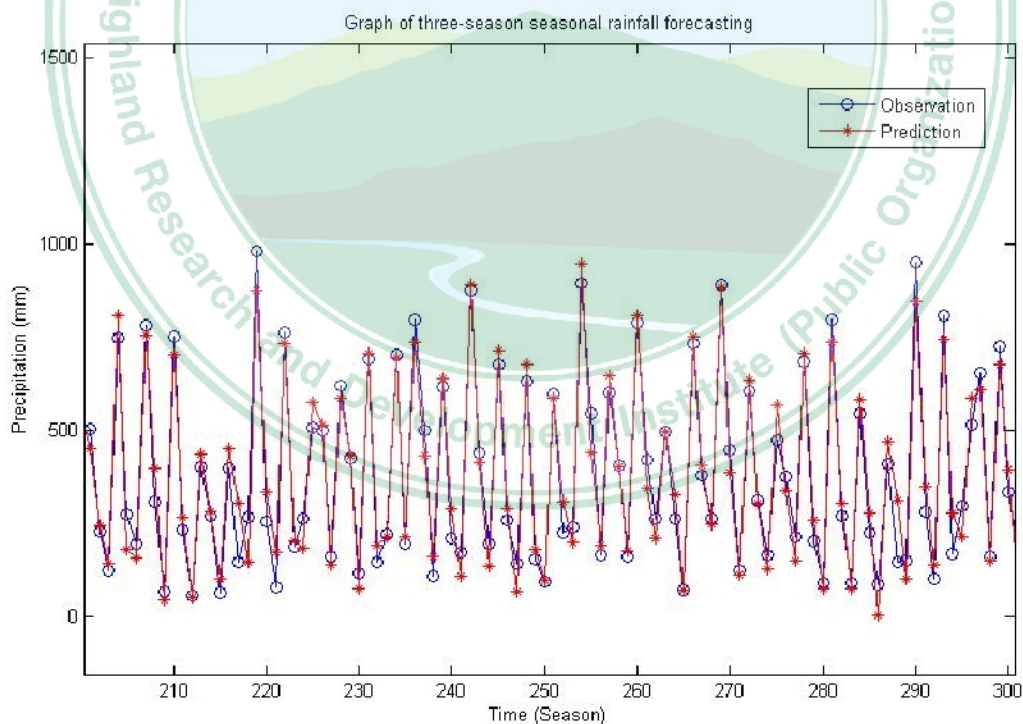
จากภาพที่ 4-50 ถึงภาพที่ 4-54 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลตสามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมล่วงหน้า 5 เดือน ในพื้นที่ทดสอบภาคเหนือ โดยยังคงสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการตกของฝนได้ทั้งแบบที่มีปริมาณน้ำฝนมากและน้อย และให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) = 511.4053 มิลลิเมตร, $R^2 = 0.5260$ ซึ่งจะเห็นจากในภาพที่ 4-54 ว่าความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมช่วงเดือนที่ 5 ลดลงมาก การทำนายล่วงหน้าในช่วงเดือนที่ 1-2 เป็นอย่างมาก แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความสามารถที่ลดลงสังเกตได้จากปริมาณน้ำฝนสะสมที่ได้จากค่าพยากรณ์และค่าจริงมีความแตกต่างกันเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4-17 ค่าทางสถิติของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือ

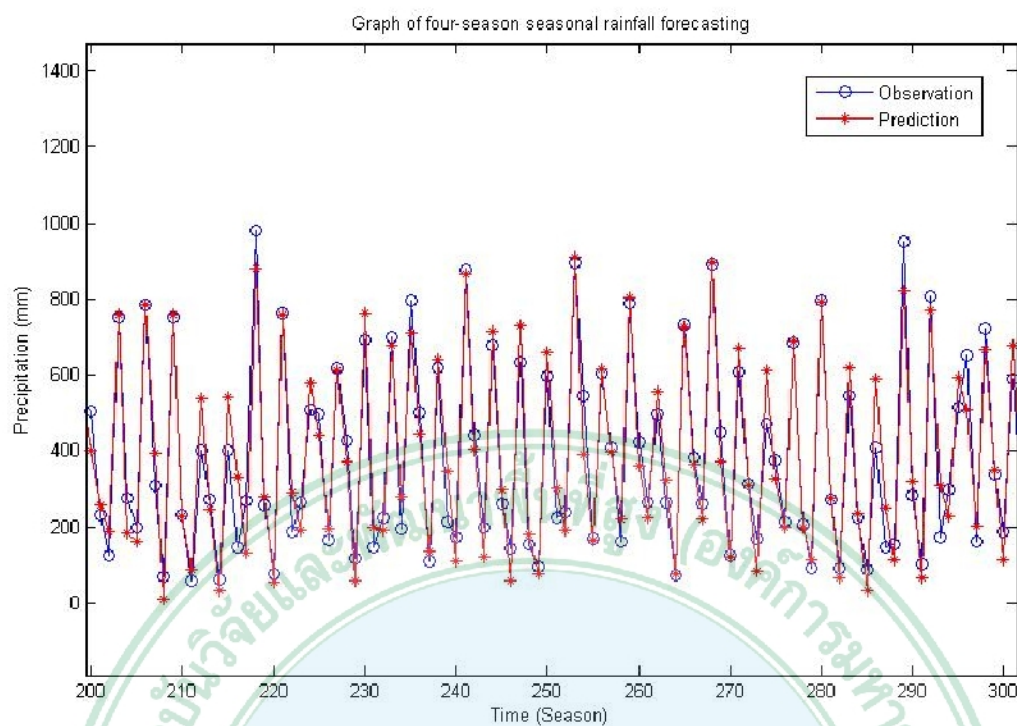
จำนวนช่วงเวลาที่ยากรณ์ล่วงหน้า (เดือน)	ค่าความผิดพลาด กำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)
1	148.4894	0.9601
2	214.3205	0.9167
3	271.0931	0.8668
4	390.1217	0.7242
5	511.4053	0.5260



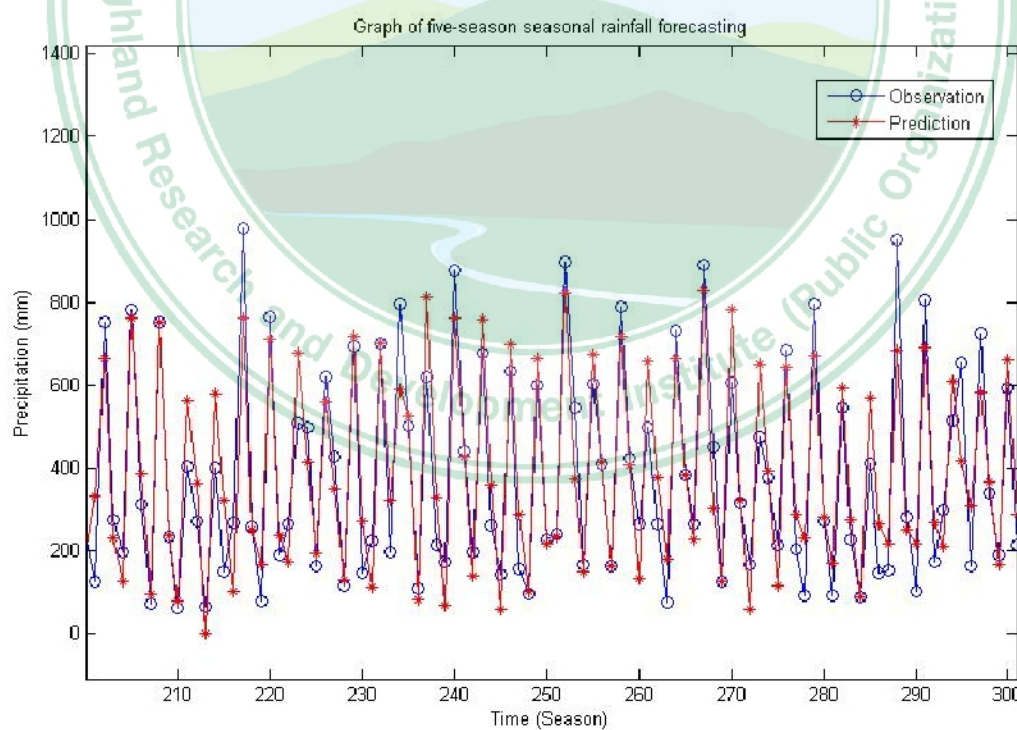
ภาพที่ 4-51 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในเดือนที่ 2 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-52 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในเดือนที่ 3 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-53 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในเดือนที่ 4 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-54 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในเดือนที่ 5 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

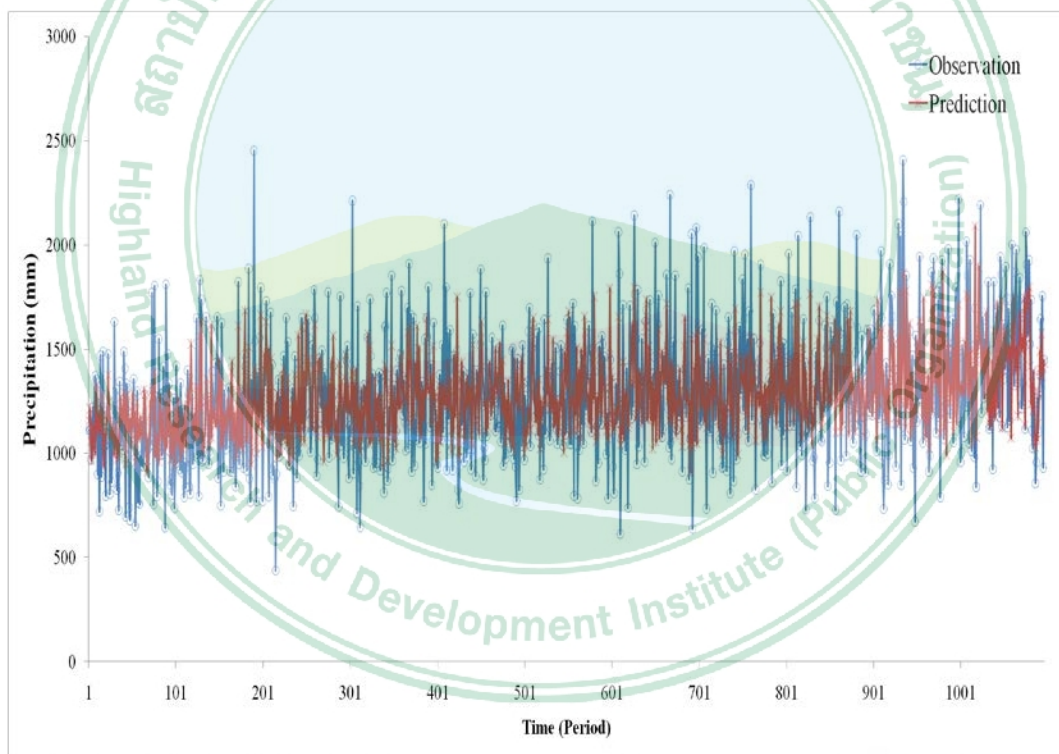
4.5.2.3 การปรับปรุงแบบจำลองในการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายปี

ในการพิจารณาหาตัวแบบที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนปีย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 3 ปี เพื่อที่จะพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายปีในปีถัดไป ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$R_{t+1} = f(R_t, R_{t-1}, Tn_t, Tn_{t-1})$$

โดยที่ R_t และ Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสม และอุณหภูมิต่ำสุด รายปี ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ

จากภาพที่ 4-55 พบว่า แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายปีสามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมล่วงหน้า 1 ปี ในพื้นที่ภาคเหนือได้ โดยยังคงสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการตกของฝนได้ทั้งแบบที่มีปริมาณน้ำฝนมากและน้อย และให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) = 242.1627 มิลลิเมตร, $R^2 = 0.3715$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4-55 ปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ปี เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

4.5.3 แบบจำลองสำหรับพัฒนาระบบพยากรณ์สภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูง โดยใช้ฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่บันทึกโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

นอกเหนือจากแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมที่คณะผู้วิจัยได้ปรับปรุงต่อเนื่องจากปีงบประมาณ 2558 ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานจริงของผู้วิจัยอื่นบนพื้นที่สูงแล้ว คณะผู้วิจัยได้

พัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดทั้งแบบรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี ขึ้นมาใหม่ โดยใช้ปัจจัยด้านภูมิอากาศที่มีบนฐานข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่บันทึกโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) เป็นหลัก ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และความชื้นสัมพัทธ์ แต่เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่มีการบันทึกไว้ยังมีไม่มากนัก ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในชุดการสอนและชุดทดสอบจึงต้องนำข้อมูลสภาพอากาศบนพื้นที่ราบมาช่วยเสริม เพื่อเพิ่มความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูง

4.5.3.1 แบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุด

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับได้ (Back-propagation artificial neural network) ร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต (Wavelet transformation) ได้ถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด 58 สถานี ครอบคลุมภาคเหนือทั้งบริเวณที่ราบสูงและที่ราบต่ำจากกรมอุตุนิยมวิทยา และจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502-2558 ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายช่วงเวลา โดยใช้ระเบียบวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ผู้วิจัยทำการแบ่งข้อมูลสภาพอากาศจากทุกสถานีทั้งหมดออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดสอน และชุดทดสอบ โดยอัตราการแบ่งอยู่ที่ 75:25 จากข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502-2558 ทั้งหมด 58 สถานี ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้าง 16-100-1 พบว่า ประสิทธิภาพที่ได้ทั้งจากชุดการสอนและชุดทดสอบมีค่าความถูกต้องที่สูงมาก โดยมีค่า $R^2 = 0.9929$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่า RMSE = 0.2216 องศาเซลเซียส ในชุดสอน และ $R^2 = 0.7179$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่า RMSE = 1.6923 องศาเซลเซียส ในชุดทดสอบ (ตารางที่ 4-18)

ตารางที่ 4-18 ค่าทางสถิติจากการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต โดยมีโครงสร้าง 16-100-1 ของแบบจำลองการพยากรณ์ระดับอุณหภูมิสูงสุดในพื้นที่ภาคเหนือ

	ค่าความผิดพลาด กำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2)
ชุดสอน	0.2216	0.9929
ชุดทดสอบ	1.6923	0.7179

4.5.3.1.1 การพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายสัปดาห์

คณะผู้วิจัยได้ทำการการพิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม โดยใช้จำนวนสัปดาห์ย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 3 เดือน เพื่อพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดในสัปดาห์ถัดไป ในขั้นตอนนี้ได้พิจารณาตั้งแต่ 1 ถึง 5 สัปดาห์ถัดไป และใช้ชั้นซ่อน 1 ชั้นโดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพจนถึง 200 บัพ ซึ่งโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุด คือ โครงสร้าง 12-110-x ; $x = 1, \dots, 5$ นั่นคือใช้ข้อมูลเข้า 3 สัปดาห์ย้อนหลังในแต่ละข้อมูลและมี 110 บัพในชั้นซ่อนและข้อมูลออกเป็นข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดในสัปดาห์ที่ 1 ถึง 5 ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$(Tx_{t+1}, Tx_{t+2}, Tx_{t+3}, Tx_{t+4}, Tx_{t+5}) = f(R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, H_t, H_{t-1}, H_{t-2}, Tx_t, Tx_{t-1}, Tx_{t-2}, Tn_t, Tn_{t-1}, Tn_{t-2})$$

โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมรายสัปดาห์ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ณ สัปดาห์ที่ t ตามลำดับ จากตารางแสดงค่าทางสถิติของแบบจำลองดังกล่าว (ตารางที่ 4-19) พบว่า ความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบจะมีมากที่สุดในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 สัปดาห์ และจะลดลงเมื่อเมื่อพยากรณ์ล่วงหน้าหลายสัปดาห์ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าลดน้อยลง

ตารางที่ 4-19 ค่าทางสถิติของแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายสัปดาห์ในพื้นที่ภาคเหนือ

จำนวนช่วงเวลา พยากรณ์ล่วงหน้า (สัปดาห์)	ค่าความผิดพลาด กำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2)
1	1.7231	0.9775
2	3.1249	0.9262
3	3.8885	0.8858
4	4.8389	0.8232
5	5.8080	0.7452

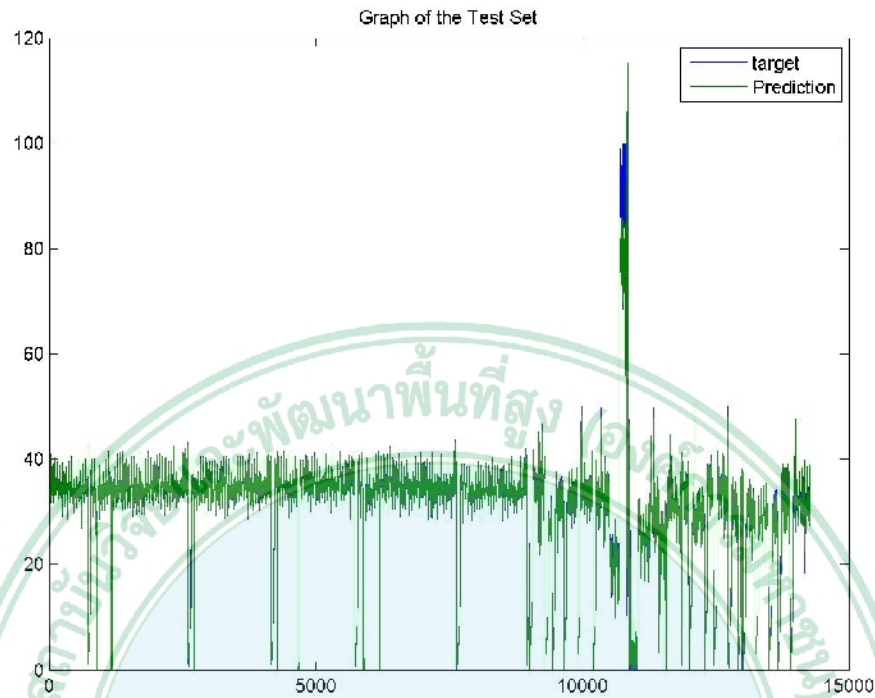
จากภาพที่ 4-56 ถึง 4-60 พบว่า แบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายสัปดาห์ในพื้นที่ภาคเหนือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับรวมกับการแปลงแบบเวฟเลต มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ โดยสามารถพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายสัปดาห์ล่วงหน้า 5 สัปดาห์ และยังสามารถเรียนรู้พฤติกรรมของอุณหภูมิสูงสุดได้ทั้งแบบมากและน้อย ถึงแม้การพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 5 จะให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยที่เพิ่มสูงขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ลดลง แต่ยังคงมีความน่าเชื่อถือที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4.5.3.1.2 การพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน

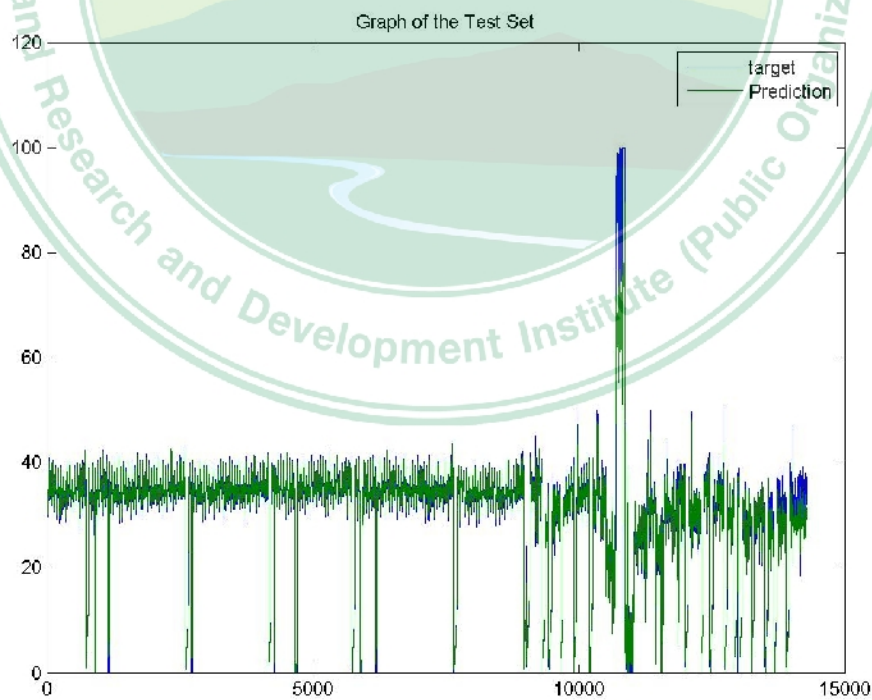
ในการพิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมเพื่อการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน 1 เดือนล่วงหน้า ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนช่วงเวลาย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 4 ช่วงเวลา เพื่อที่จะทำนายอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลาถัดไป และใช้ชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพ จนถึง 200 บัพ ซึ่งโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุด คือ โครงสร้าง 16-100-1 นั่นคือ การใช้ข้อมูลเข้า 4 ช่วงเวลาย้อนหลังในแต่ละข้อมูล และมี 100 บัพในชั้นซ่อน ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$Tx_{t+1} = f(R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, R_{t-3}, H_t, H_{t-1}, H_{t-2}, H_{t-3}, Tx_t, Tx_{t-1}, Tx_{t-2}, Tx_{t-3}, Tn_t, Tn_{t-1}, Tn_{t-2}, Tn_{t-3})$$

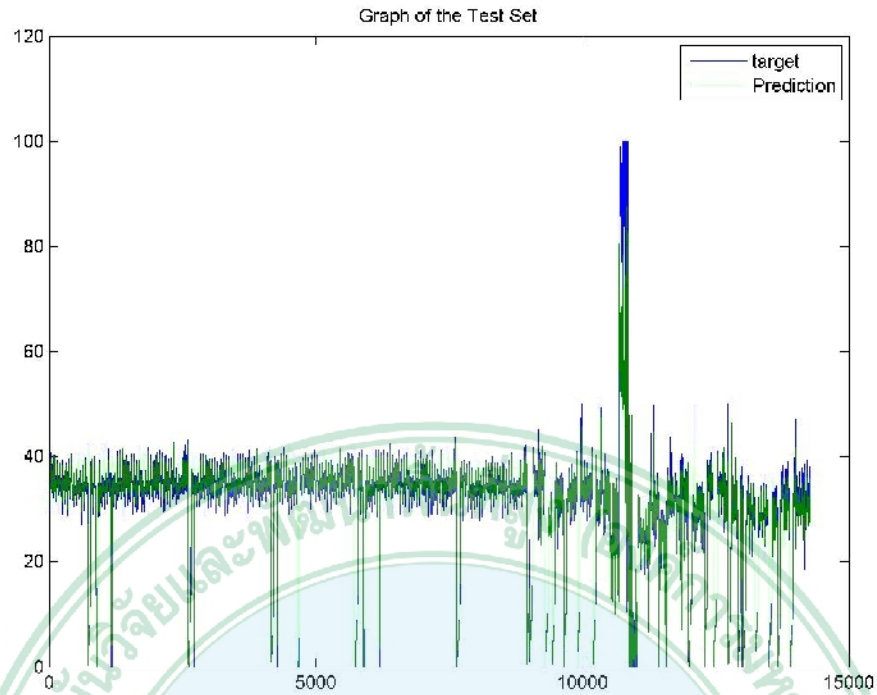
โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสม ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด และ อุณหภูมิต่ำสุด ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ



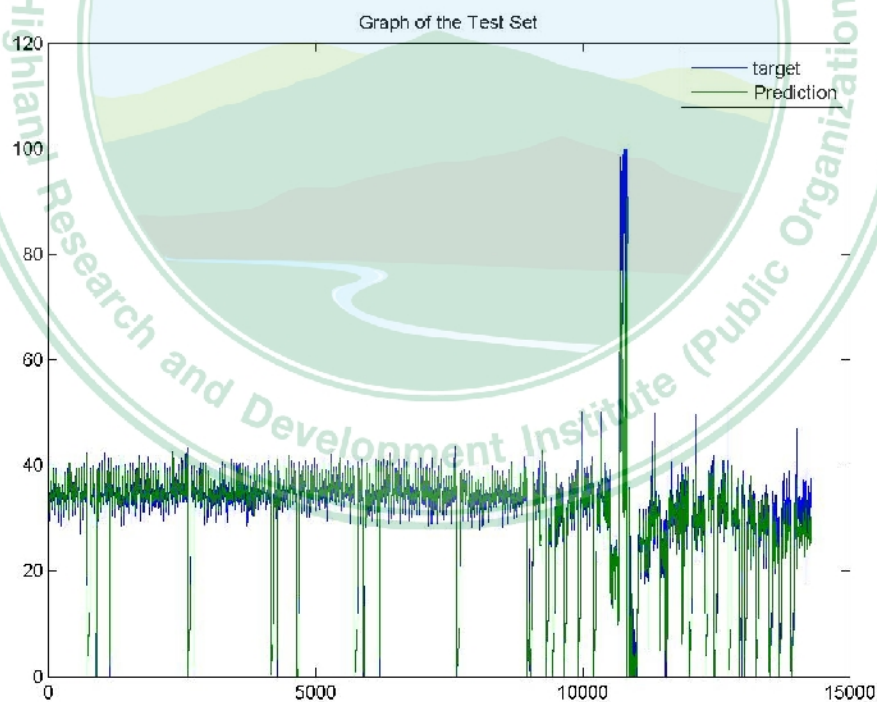
ภาพที่ 4-56 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 1 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



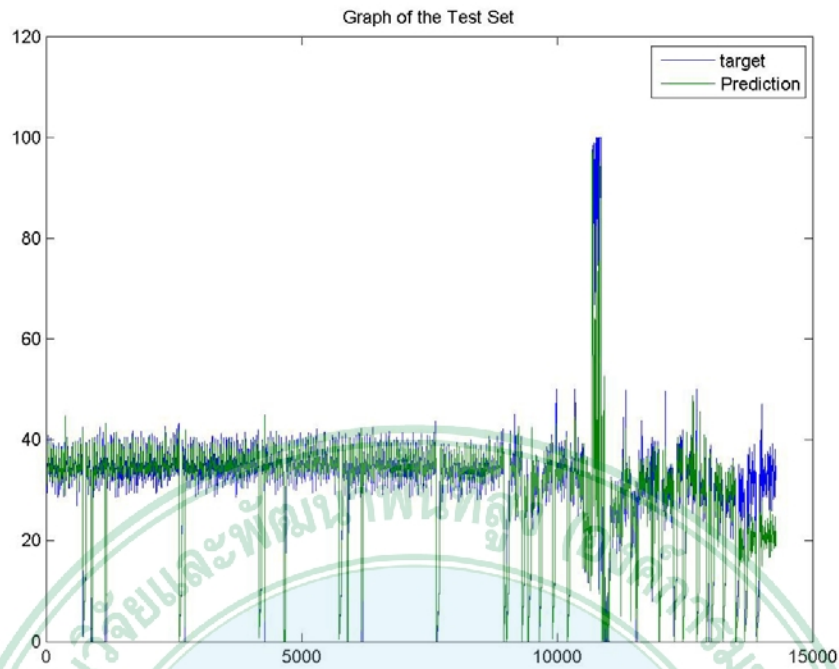
ภาพที่ 4-57 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 2 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-58 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 3 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

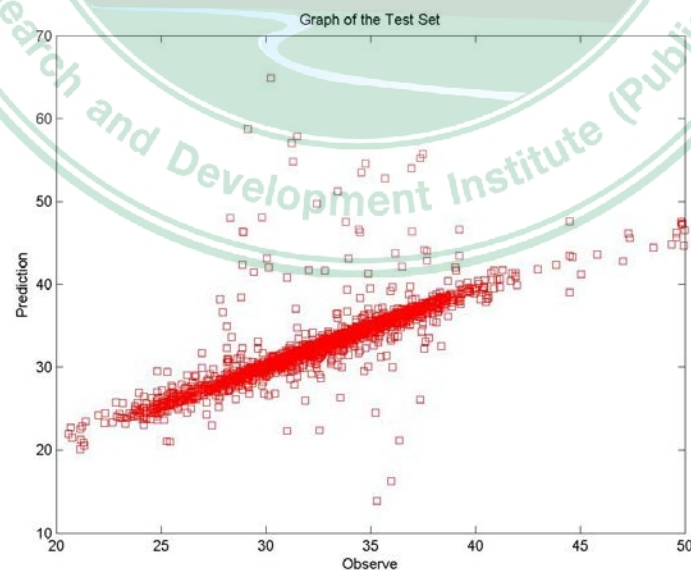


ภาพที่ 4-59 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 4 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

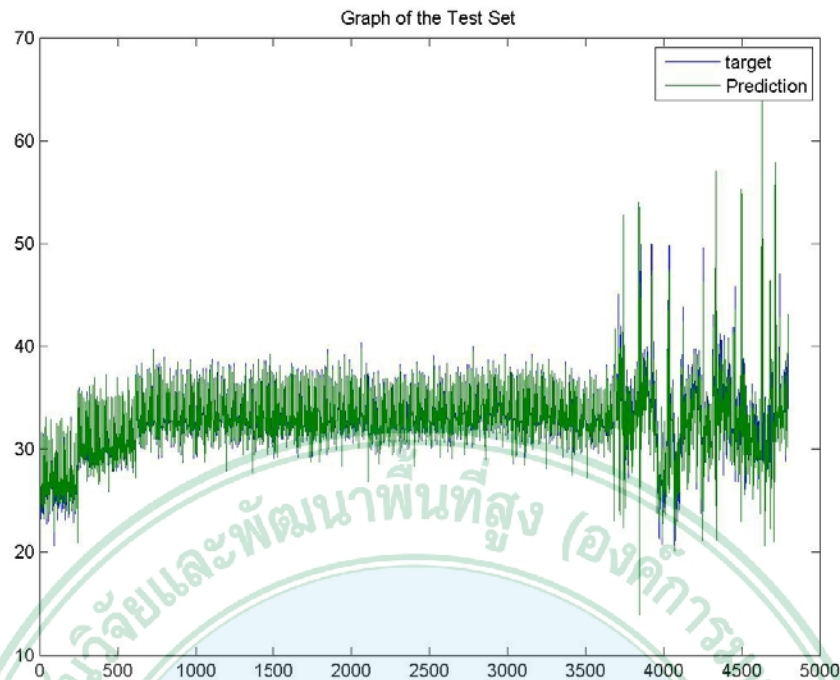


ภาพที่ 4-60 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 5 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

จากภาพที่ 4-61 พบว่า ประสิทธิภาพในการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต สามารถพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดล่วงหน้า 1 เดือน ในพื้นที่ภาคเหนือได้ โดยสามารถเรียนรู้พฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 4-62 ที่การพยากรณ์ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริง



ภาพที่ 4-61 ความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการพยากรณ์และค่าจริงของอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ทางภาคเหนือ



ภาพที่ 4-62 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

ในส่วนของการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดล่วงหน้ามากกว่าหนึ่งเดือน ข้อมูลออกของการวิเคราะห์คือข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเดือนถัดไปและมีข้อมูลเข้าตามที่อธิบายข้างต้น ในการพิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนช่วงเวลาย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 5 ช่วงเวลาเพื่อทำนายอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเดือนถัดไป ซึ่งในส่วนนี้ ผู้วิจัยจะพิจารณาตั้งแต่ 2 ถึง 5 ช่วงเวลาถัดไป และใช้ชั้นซ่อน 1 ชั้นโดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพจนถึง 200 บัพ ซึ่งโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุดคือโครงข่าย 16-100-x ; x = 2,...,5 นั่นคือใช้ข้อมูลเข้า 4 ช่วงเวลาย้อนหลังในแต่ละข้อมูล และมี 200 บัพในชั้นซ่อน และข้อมูลออกเป็นข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดในช่วงเวลาที่ 2 ถึง 5 ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$(Tx_{t+1}, Tx_{t+2}, Tx_{t+3}, Tx_{t+4}, Tx_{t+5}) = f \left(\begin{matrix} R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, R_{t-3}, H_t, H_{t-1}, H_{t-2}, H_{t-3}, \\ Tx_t, Tx_{t-1}, Tx_{t-2}, Tx_{t-3}, Tn_t, Tn_{t-1}, Tn_{t-2}, Tn_{t-3} \end{matrix} \right)$$

โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ

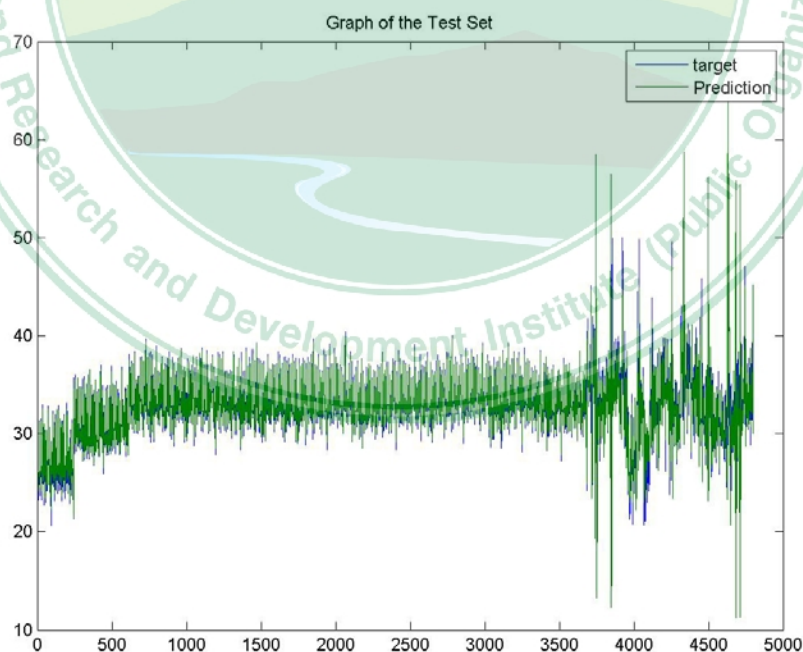
เช่นเดียวกับการสร้างแบบจำลองพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมรายช่วงเวลาที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.2 ข้อมูลสภาพอากาศจากทุกสถานีตรวจวัดอากาศทางภาคเหนือทั้งหมดถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดสอนและชุดทดสอบ โดยมีอัตราการแบ่งเท่าเดิมที่ 75:25 จากข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502-2558 ทั้งหมด 58 สถานี ซึ่งจะได้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงข่าย 16-200-x ; x = 2,...,5 ตามที่กล่าวข้างต้น ที่มีประสิทธิภาพและค่าความถูกต้องที่สูงทั้งจากชุดการสอนและชุดทดสอบ โดยมีค่าทางสถิติดังแสดงในตารางที่

4-20 แต่จะมีค่าความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบลดลงเมื่อทำการพยากรณ์ล่วงหน้าหลายช่วงเวลา ซึ่งจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าน้อยลง แต่ยังคงมีความถูกต้องอยู่ในช่วงของระดับความเชื่อมั่น 95%

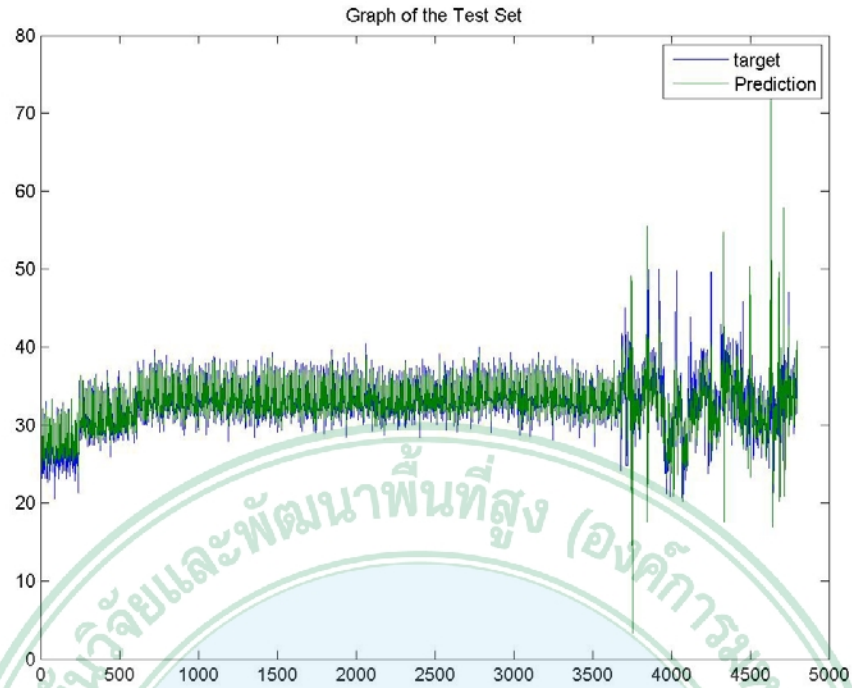
ตารางที่ 4-20 ค่าทางสถิติของแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายเดือน ในพื้นที่ภาคเหนือ

จำนวนช่วงเวลา พยากรณ์ล่วงหน้า (เดือน)	ค่าความผิดพลาด กำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2)
1	1.6923	0.7179
2	2.1139	0.5597
3	2.0679	0.5787
4	2.3567	0.4528
5	2.4383	0.4139

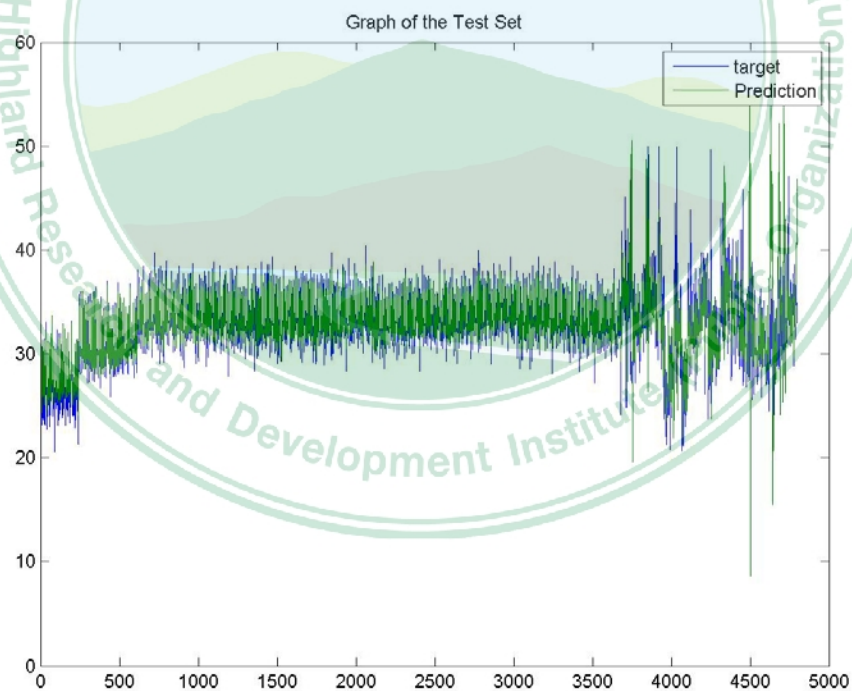
จากภาพที่ 4-62 ถึงภาพที่ 4-66 พบว่า ประสิทธิภาพในการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต สามารถพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดล่วงหน้า 5 เดือน ในพื้นที่ทดสอบ ภาคเหนือ และยังสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดได้ ซึ่งการพยากรณ์อุณหภูมิ สูงสุดล่วงหน้า 5 ช่วงเวลา จะให้ค่า RMSE มากที่สุด และ R^2 ต่ำที่สุด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจะเห็นใน ภาพที่ 4-66 ว่าความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดล่วงหน้าในเดือนที่ 5 ลดลงกว่าการ พยากรณ์ล่วงหน้าเพียงแค่ 1-2 เดือน



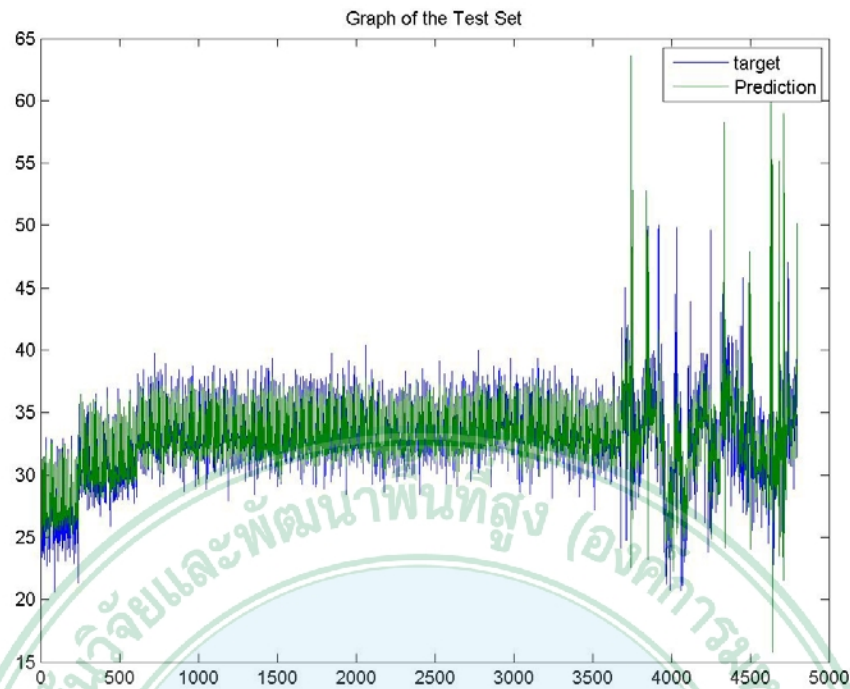
ภาพที่ 4-63 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานี ตรวจวัด อากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-64 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-65 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 4 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-66 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

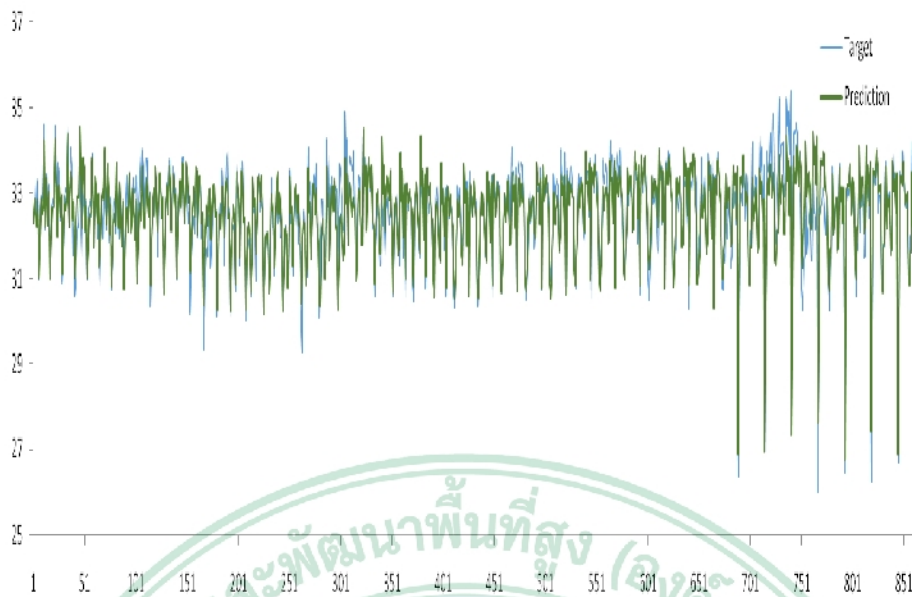
4.5.3.1.3 การพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายปี

ในการพิจารณาหาตัวแบบที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนปีย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัว ตั้งแต่ 1 จนถึง 3 ปี เพื่อที่จะพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายปีในปีถัดไป ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$Tm_{t+1} = f(R_t, R_{t-2}, Tm_t, Tm_{t-1}, Tm_{t-2}, Tn_t, Tn_{t-1})$$

โดยที่ R_t , Tm_t และ Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด รายปี ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ

จากภาพที่ 4-67 พบว่า แบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายปีสามารถพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยล่วงหน้า 1 ปี ในพื้นที่ภาคเหนือได้ โดยยังคงสามารถเรียนรู้พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดได้ทั้งแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงมากและน้อย และให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) = 0.5293 องศาเซลเซียส, $R^2 = 0.8154$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4-67 อุณหภูมิสูงสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ปี เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

4.5.3.2 แบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุด

โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับได้ (Back-propagation artificial neural network) ร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต (Wavelet transformation) ได้ถูกนำมาใช้เพื่อพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศทั้งบริเวณที่ราบสูงและที่ราบต่ำทางภาคเหนือที่นำมาพิจารณามีทั้งหมด 58 สถานี จากกรมอุตุนิยมวิทยา และจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502-2558 ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายช่วงเวลา โดยใช้ระเบียบวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลสภาพอากาศจากทุกสถานีทั้งหมดออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดสอนและชุดทดสอบ โดยอัตราการแบ่งอยู่ที่ 75:25 จากข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2502-2558 ทั้งหมด 58 สถานี ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้าง 8-120-1 ตามที่กล่าวข้างต้น จะเห็นว่าประสิทธิภาพที่ได้ทั้งจากชุดการสอนและชุดทดสอบมีค่าความถูกต้องที่สูงมาก โดยมีค่า $R^2 = 0.9960$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่า RMSE = 0.2421 องศาเซลเซียส ในชุดสอน และ $R^2 = 0.9321$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และมีค่า RMSE = 1.1661 องศาเซลเซียส ในชุดทดสอบ (ตารางที่ 4-21)

ตารางที่ 4-21 ค่าทางสถิติจากการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต โดยมีโครงสร้าง 8-120-1 ของแบบจำลองการพยากรณ์ระดับอุณหภูมิต่ำสุดในพื้นที่ภาคเหนือ

	ค่าความผิดพลาด กำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2)
ชุดสอน	0.2421	0.9960
ชุดทดสอบ	1.1661	0.9321

4.5.3.2.1 การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายสัปดาห์

คณะผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม ในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายสัปดาห์ โดยพิจารณาใช้จำนวนสัปดาห์ย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 2 เดือน เพื่อพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในสัปดาห์ถัดไป ซึ่งได้พิจารณาตั้งแต่ 1 ถึง 5 สัปดาห์ถัดไป และใช้ชั้นซ่อน 1 ชั้นโดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพจนถึง 200 บัพ และโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุดคือโครงข่าย 8-50-x ; x = 1,...,5 นั่นคือ ใช้ข้อมูลเข้า 2 สัปดาห์ย้อนหลังในแต่ละข้อมูล และมี 50 บัพในชั้นซ่อนและข้อมูลออกเป็นข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดในสัปดาห์ที่ 1 ถึง 5 ที่สามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

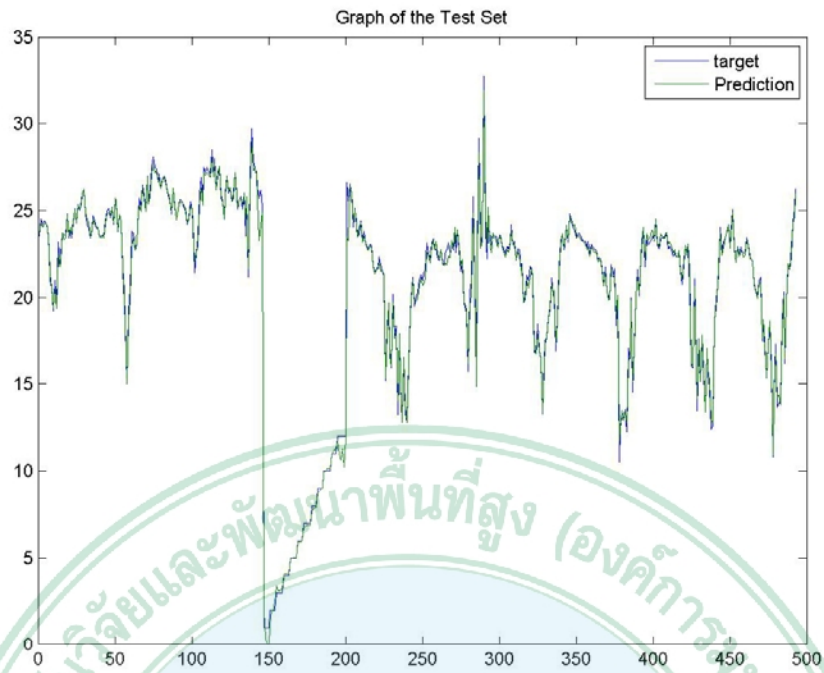
$$(Tn_{t+1}, Tn_{t+2}, Tn_{t+3}, Tn_{t+4}, Tn_{t+5}) = f(R_t, R_{t-1}, R_{t-2}, H_t, H_{t-1}, Tx_t, Tx_{t-1}, Tn_t, Tn_{t-1})$$

โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสมรายสัปดาห์ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ณ สัปดาห์ที่ t ตามลำดับ ซึ่งประสิทธิภาพและค่าความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายสัปดาห์ได้แสดงในตารางที่ 4-22 และจากตารางดังกล่าวจะเห็นว่าความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบจะลดลงเมื่อมีการพยากรณ์ล่วงหน้าหลายสัปดาห์ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าน้อยลง แต่ยังเป็นช่วงเวลาของการพยากรณ์ที่แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

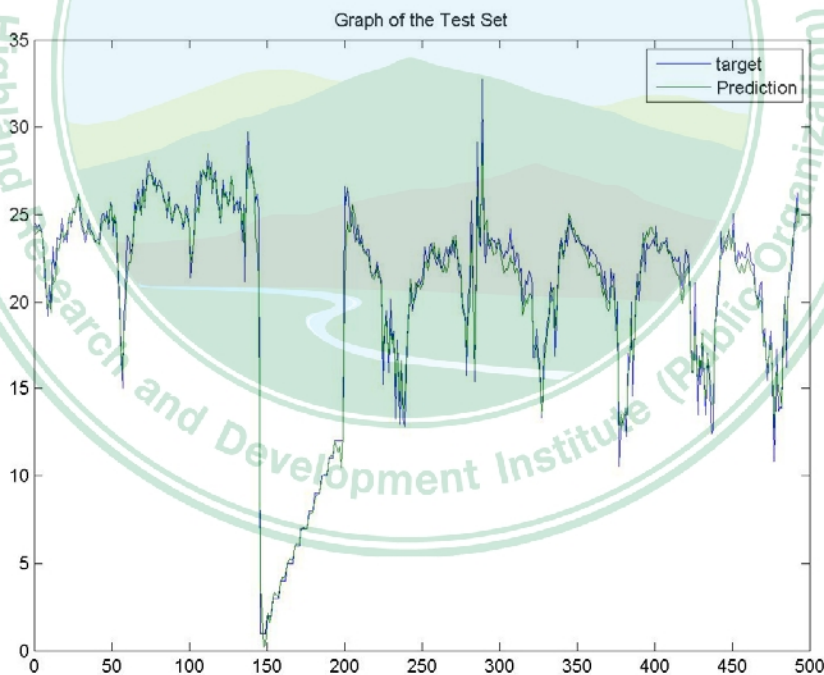
ตารางที่ 4-22 ค่าทางสถิติของแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายสัปดาห์ในพื้นที่ภาคเหนือ

จำนวนช่วงเวลา พยากรณ์ล่วงหน้า (สัปดาห์)	ค่าความผิดพลาด กำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2)
1	0.6588	0.9928
2	1.0841	0.9804
3	2.0696	0.9287
4	2.2821	0.9154
5	2.2546	0.9133

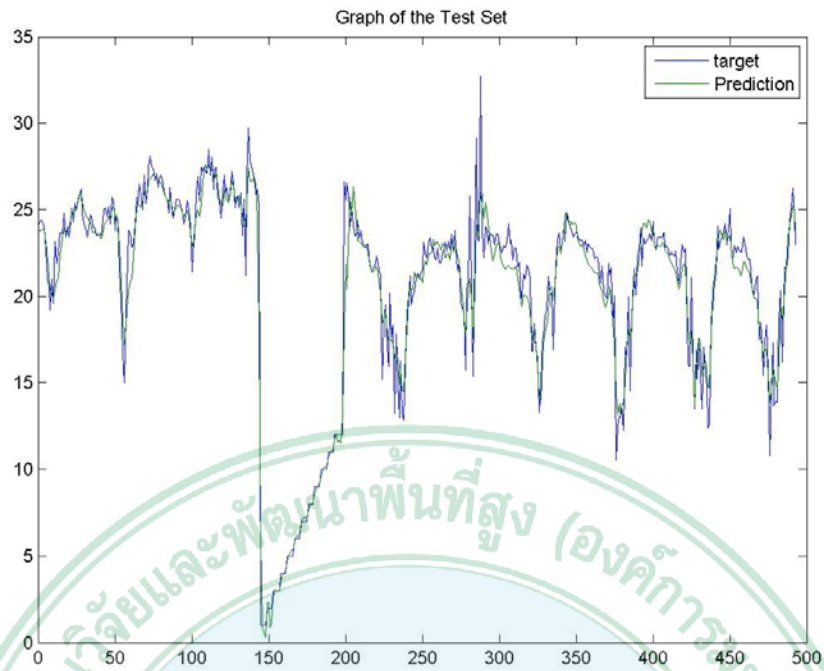
จากภาพที่ 4-68 ถึง 4-72 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต สามารถพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายสัปดาห์ล่วงหน้าได้ถึง 5 สัปดาห์ในพื้นที่ทดสอบภาคเหนือ โดยแบบจำลองการพยากรณ์สามารถเรียนรู้พฤติกรรมของอุณหภูมิต่ำสุดได้ทั้งแบบมากและน้อย และในช่วงเวลาที่พยากรณ์ล่วงหน้า 5 สัปดาห์ จะให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) = 2.2546 องศาเซลเซียส แต่ให้ค่า R^2 = 0.9133 ซึ่งยังคงมีความน่าเชื่อถือทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สำหรับความสามารถในการพยากรณ์ที่ลดลงจะสังเกตได้จากค่าความแตกต่างของระดับอุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์และจากค่าจริงที่เปลี่ยนแปลงไปมาก ดังแสดงในภาพที่ 4-72



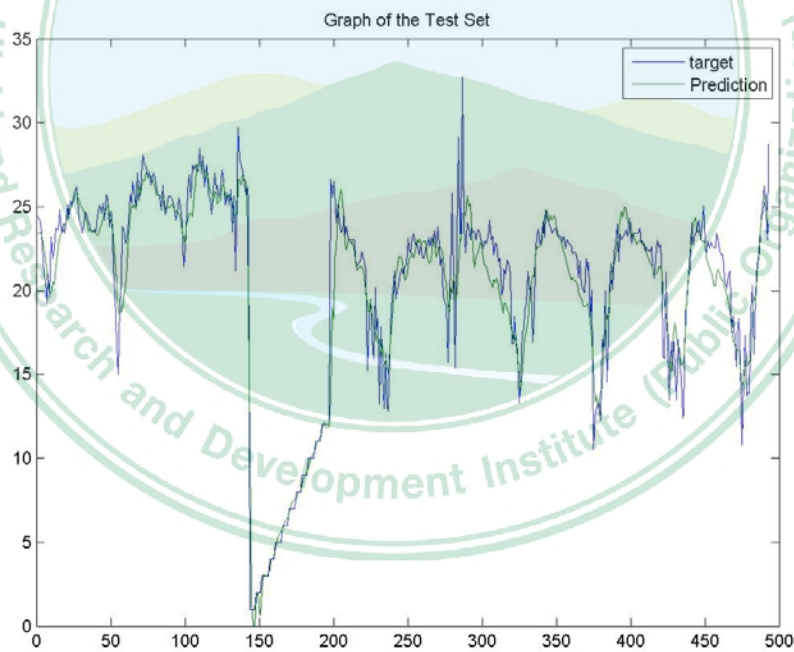
ภาพที่ 4-68 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 1 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



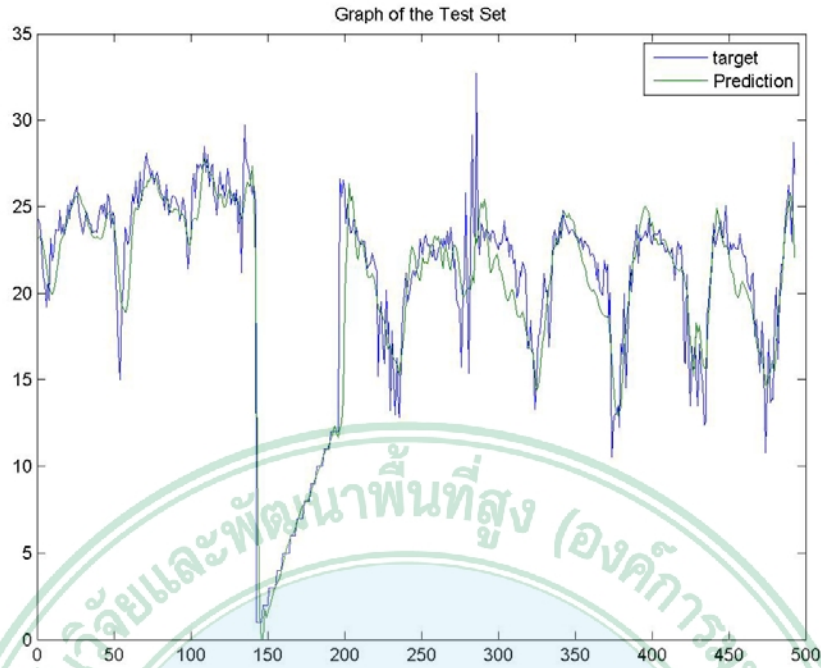
ภาพที่ 4-69 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 2 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-70 อุณหภูมิล่าสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 3 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-71 อุณหภูมิล่าสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 4 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



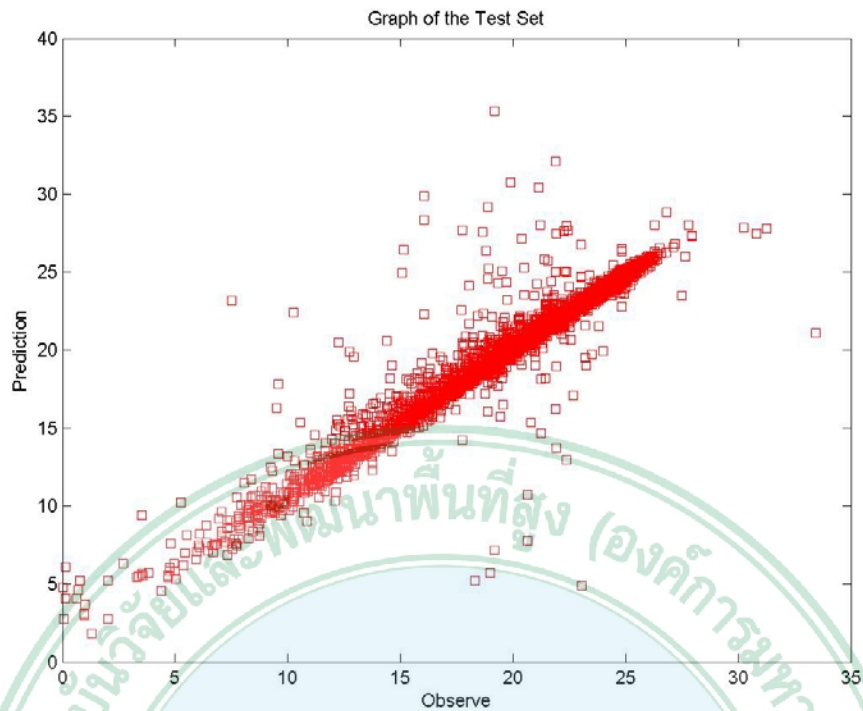
ภาพที่ 4-72 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้าในสัปดาห์ที่ 5 เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

4.5.3.2.2 การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือน

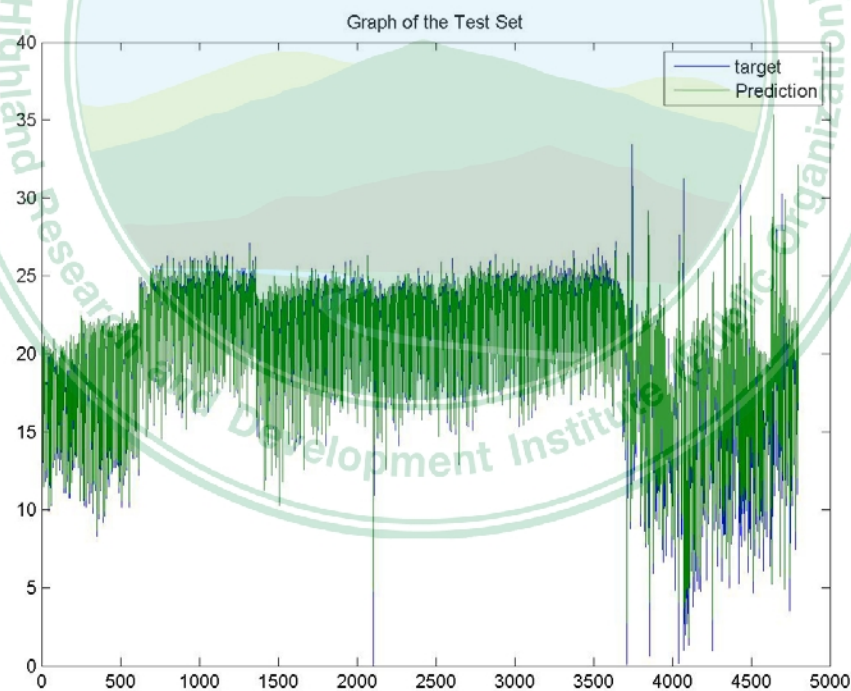
ในการพิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือนล่วงหน้า 1 เดือน ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนช่วงเวลาย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 4 ช่วงเวลา เพื่อที่จะพยากรณ์ระดับอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเวลาถัดไป และใช้ชั้นซ่อน 1 ชั้นโดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพจนถึง 200 บัพ ซึ่งโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุดคือโครงสร้าง 8-120-1 นั่นคือที่ใช้ข้อมูลเข้า 2 ช่วงเวลาย้อนหลังในแต่ละข้อมูล และมี 120 บัพในชั้นซ่อน ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$Tn_{t+1} = f(R_t, R_{t-1}, H_t, H_{t-1}, Tx_t, Tx_{t-1}, Tn_t, Tn_{t-1})$$

โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสม ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด รายเดือน ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ จากภาพที่ 4-73 จะเห็นได้ว่าการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลตสามารถพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดล่วงหน้า 1 ช่วงเวลาในพื้นที่ภาคเหนือได้ โดยสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ ดังจะเห็นได้จากในภาพที่ 4-74 ที่การพยากรณ์ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริง



ภาพที่ 4-73 ความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้จากการพยากรณ์และค่าจริงจากการบันทึกอุณหภูมิต่ำสุดรายเดือนจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ทางภาคเหนือ



ภาพที่ 4-74 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

ในการพิจารณาหาโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม สำหรับการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดล่วงหน้ามากกว่าหนึ่งเดือน คณะผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนช่วงเวลาย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัวตั้งแต่ 1 จนถึง 5 ช่วงเวลา เพื่อที่จะพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเวลาถัดไป ในส่วนนี้ได้ทำการพิจารณาตั้งแต่ 2 ถึง 5 ช่วงเวลาถัดไป และใช้ชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยจำนวนบัพจะพิจารณาตั้งแต่ 10 บัพจนถึง 200 บัพ ซึ่งโครงข่ายที่ให้ค่าความถูกต้องที่สุด คือ โครงสร้าง 8-120-x ; x = 2,...,5 ที่เป็นการใช้ข้อมูลเข้า 2 ช่วงเวลาย้อนหลังในแต่ละข้อมูล และมี 120 บัพในชั้นซ่อน และข้อมูลออกเป็นข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุดในช่วงเวลาที่ 2 ถึง 5 ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

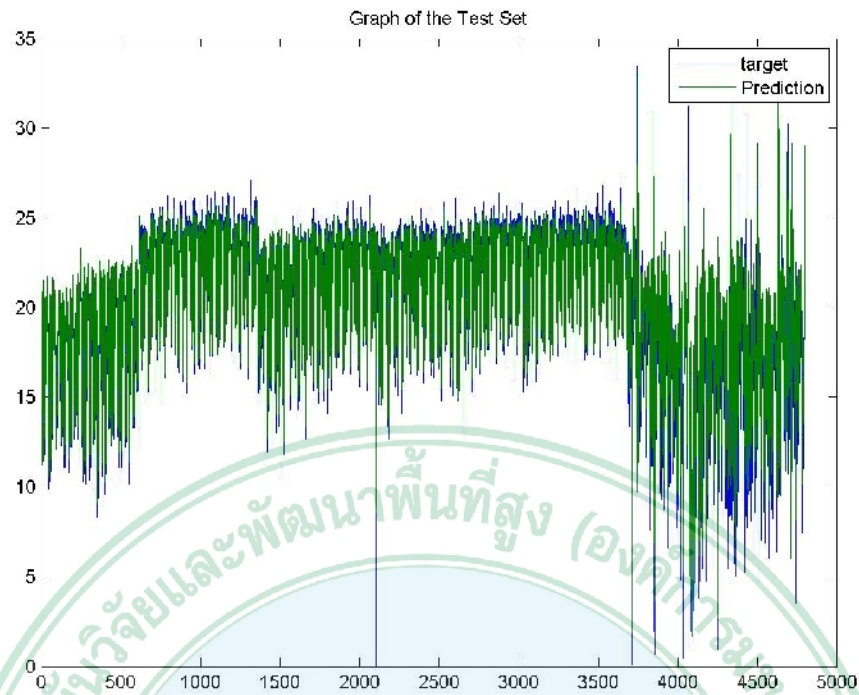
$$(Tn_{t+1}, Tn_{t+2}, Tn_{t+3}, Tn_{t+4}, Tn_{t+5}) = f(R_t, R_{t-1}, H_t, H_{t-1}, Tx_t, Tx_{t-1}, Tn_t, Tn_{t-1})$$

โดยที่ R_t , H_t , Tx_t , Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสม ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด รายเดือน ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมที่มีโครงสร้าง 8-120-x ; x = 2,...,5 มีประสิทธิภาพและให้ค่าความถูกต้องสูง โดยมีค่าทางสถิติดังแสดงในตารางที่ 4-23 และจะเห็นว่าความถูกต้องแม่นยำของตัวแบบจะลดลงเมื่อมีการพยากรณ์หลายช่วงเวลาล่วงหน้า ดังจะสังเกตเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าน้อยลง ถึงแม้จะเป็นตัวแบบที่มีความน่าเชื่อถือที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

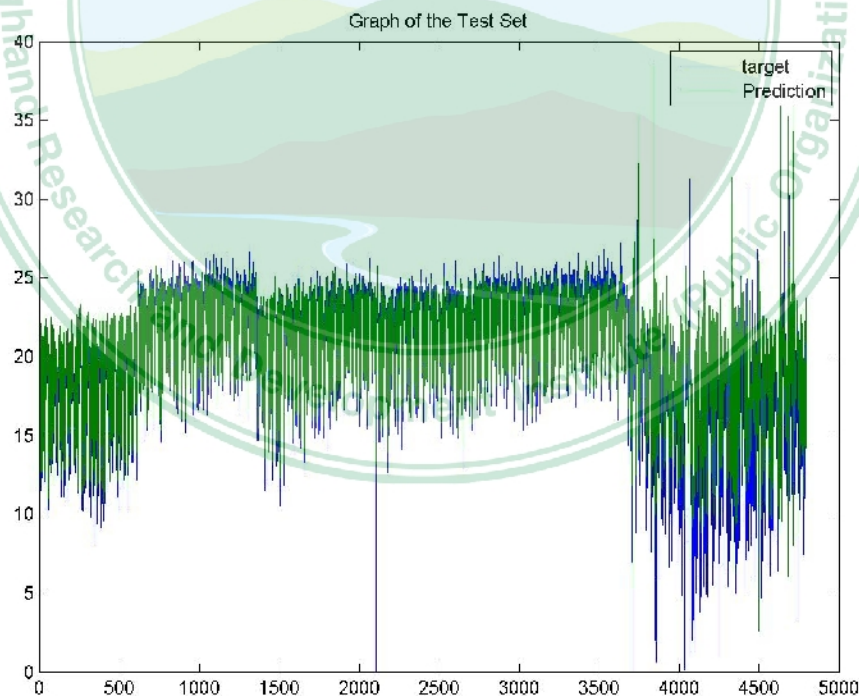
ตารางที่ 4-23 ค่าทางสถิติของแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายเดือนในพื้นที่ภาคเหนือ

จำนวนช่วงเวลาที่ พยากรณ์ล่วงหน้า (เดือน)	ค่าความผิดพลาด กำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	ค่าสัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ (R^2)
1	1.1661	0.9321
2	1.5667	0.8773
3	2.0419	0.7916
4	2.5749	0.6685
5	3.0021	0.5496

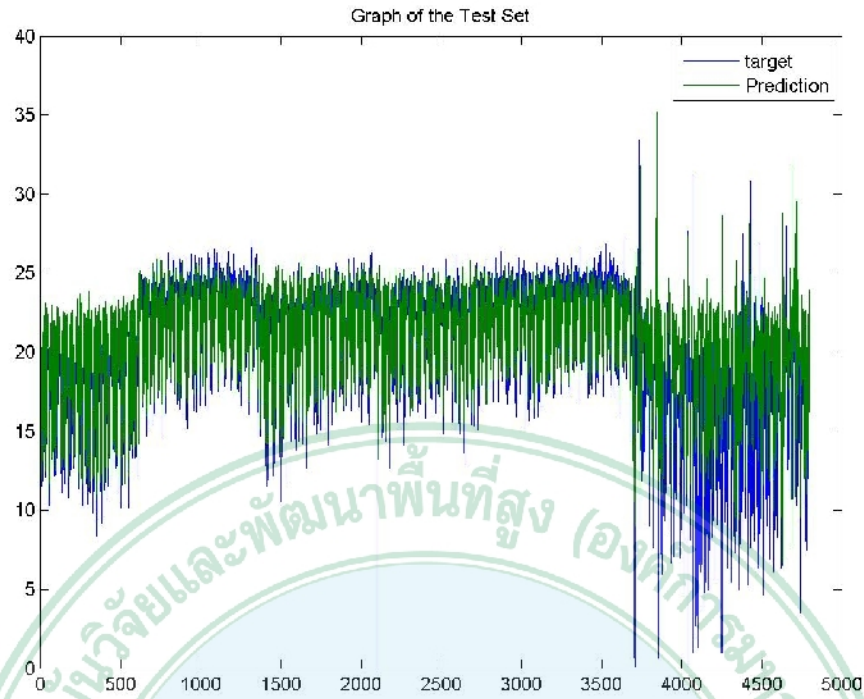
จากภาพที่ 4-74 ถึง 4-78 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการพยากรณ์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลตสามารถพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดล่วงหน้า 5 เดือน ในพื้นที่ทดสอบภาคเหนือ โดยยังสามารถเรียนรู้พฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่ำสุดได้ และในการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 เดือน ให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) = 3.0021 องศาเซลเซียส, R^2 = 0.5496 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งจะเห็นจากภาพที่ 4-78 ว่าความถูกต้องแม่นยำในการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดในเดือนที่ 5 ลดลงจากการพยากรณ์ล่วงหน้าเพียงแค่ 1-2 เดือน เป็นอย่างมาก



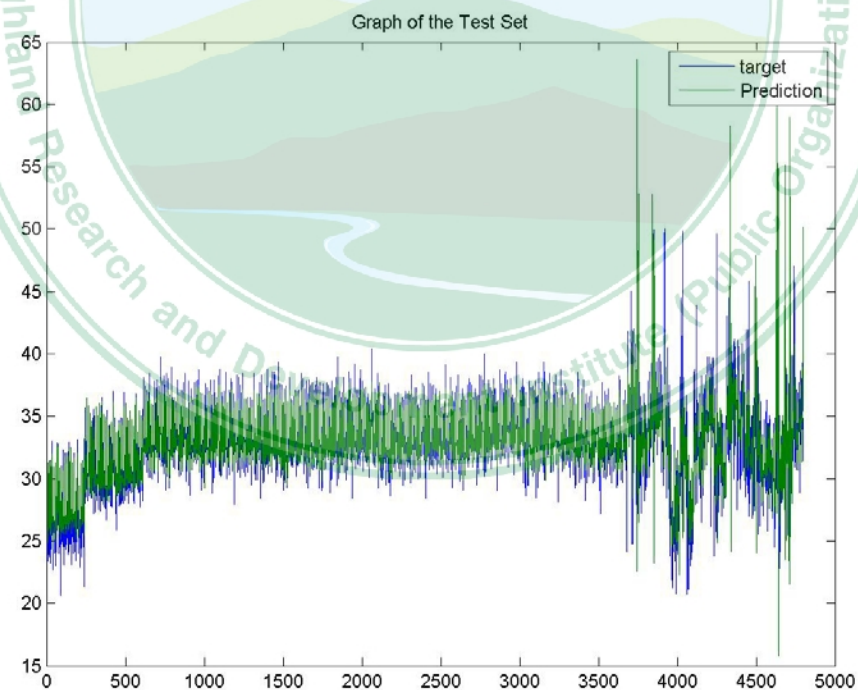
ภาพที่ 4-75 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 2 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-76 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 3 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-77 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 4 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ



ภาพที่ 4-78 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 5 เดือน เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

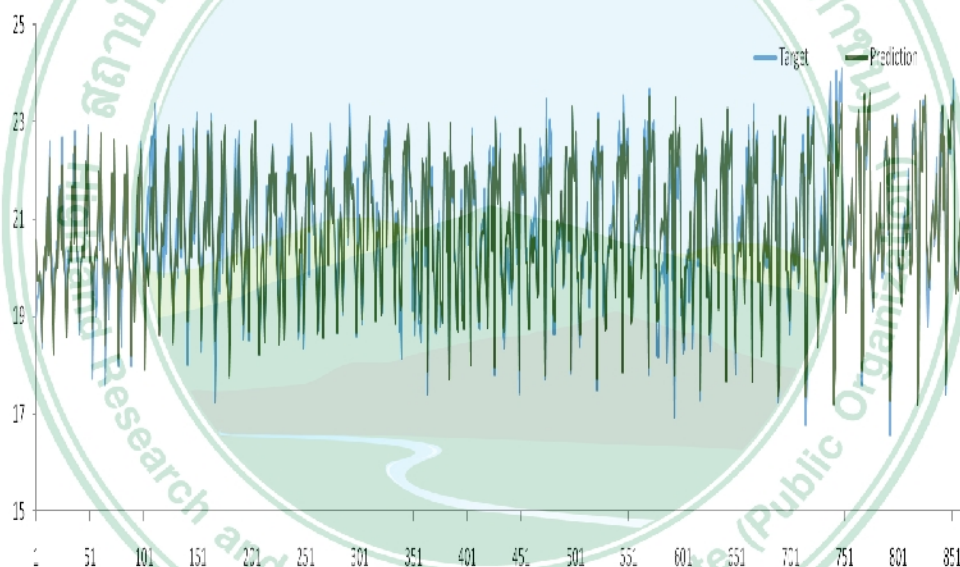
4.5.3.2.3 การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายปี

ในการพิจารณาหาตัวแบบที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้พิจารณาใช้จำนวนปีย้อนหลังของข้อมูลเข้าทุกตัว ตั้งแต่ 1 จนถึง 3 ปี เพื่อที่จะพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีในปีถัดไป ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้โดย

$$Tn_{t+1} = f(R_t, R_{t-1}, Tn_t, Tn_{t-2}, Tn_{t-3},)$$

โดยที่ R_t , Tm_t และ Tn_t คือ ปริมาณน้ำฝนสะสม อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด รายปี ณ ช่วงเวลาที่ t ตามลำดับ

จากภาพที่ 4-79 พบว่า แบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายปีสามารถพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดล่วงหน้า 1 ปี ในพื้นที่ภาคเหนือได้ โดยยังคงสามารถเรียนรู้พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำสุดได้ ทั้งแบบที่มีการเปลี่ยนแปลงมากและน้อย และให้ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) = 0.4879 องศาเซลเซียส, $R^2 = 0.8985$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4-79 อุณหภูมิต่ำสุดที่ได้จากการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ปี เทียบกับค่าจริงที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดอากาศในพื้นที่ภาคเหนือ

4.5.4 การเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองสำหรับพัฒนาระบบพยากรณ์สภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงที่ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่ราบและบนพื้นที่สูงในการพยากรณ์

สำหรับการเปรียบเทียบข้อมูลความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์สภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงที่ใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่ราบเพียงอย่างเดียวกับข้อมูลสภาพอากาศบนพื้นที่สูงร่วมกับข้อมูลบนพื้นที่ราบในการพยากรณ์ จะทำการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่ได้จากแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในโครงการระยะที่ 1 (ปีงบประมาณ 2558) ซึ่งใช้ข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบทางภาคเหนือเป็นฐานในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ เปรียบเทียบกับข้อมูล

R^2 และ RMSE ที่ได้จากการปรับปรุงแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในปีงบประมาณปัจจุบัน ซึ่งใช้ข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบทางภาคเหนือร่วมกับข้อมูลอากาศบนพื้นที่สูงเป็นฐานในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ และมีช่วงเวลาของการพยากรณ์ใกล้เคียงกันมากกว่าแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์และรายปี จากการศึกษพบว่า แบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมบนพื้นที่สูงโดยใช้ข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบและข้อมูลอากาศบนพื้นที่สูงร่วมกับข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบ มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำมาใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมได้จริง เนื่องจากค่า R^2 จากทั้ง 2 แบบจำลอง มีความถูกต้องอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น 95% และค่าที่ได้ในการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 ช่วงเวลา มีความใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในชุดสอนและชุดทดสอบของแบบจำลองที่สร้างขึ้นใหม่ในปีงบประมาณนี้ มีค่า 0.9960 และ 0.9601 ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับที่ R^2 ในชุดสอนและชุดทดสอบของแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนเดิมที่สร้างขึ้นในปีงบประมาณ 2558 โดยมีค่า 0.9937 และ 0.9902 ตามลำดับ

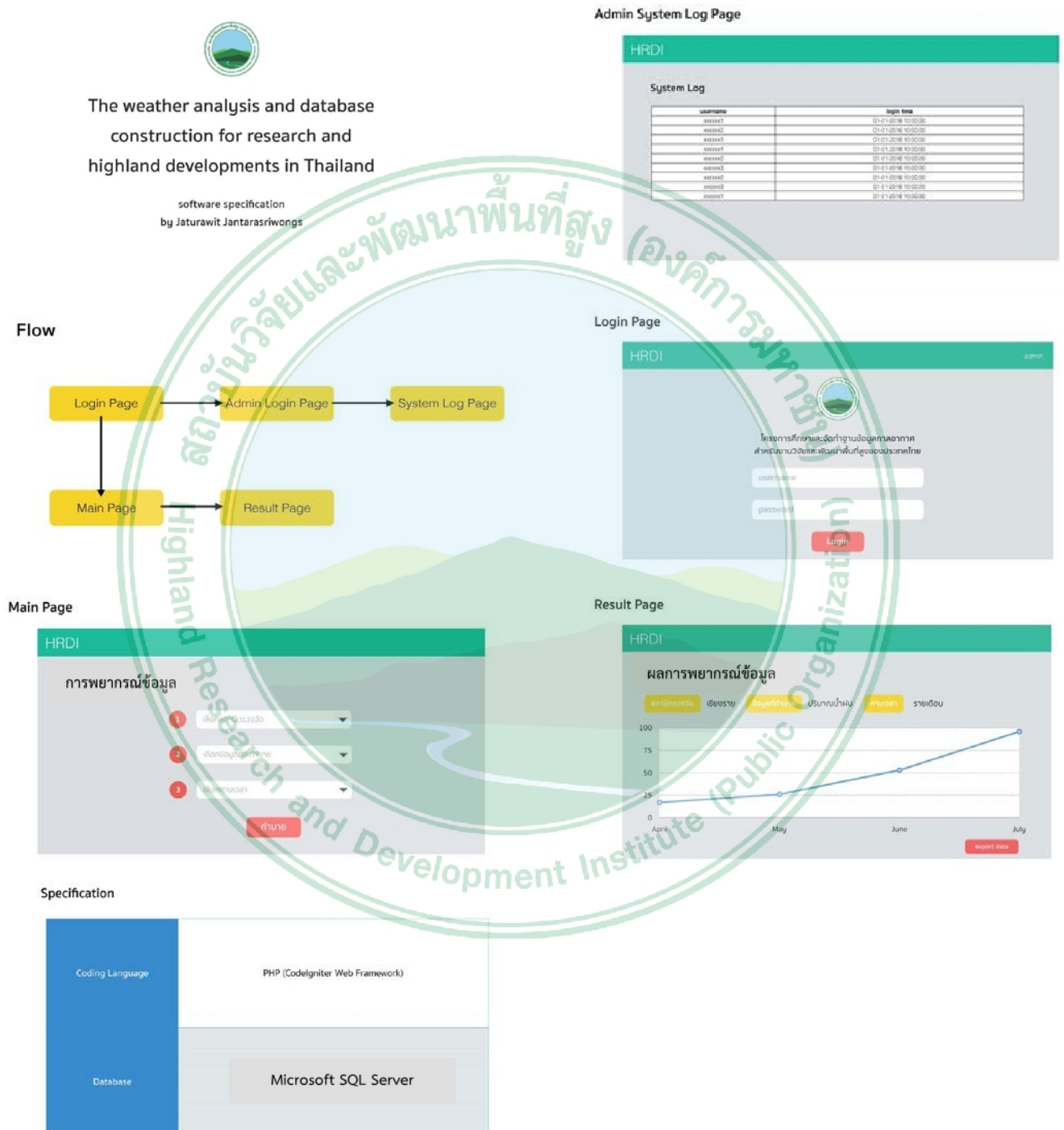
ส่วนค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมบนพื้นที่สูงโดยใช้ข้อมูลอากาศบนพื้นที่สูงร่วมกับข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบมีค่า 51.4309 มิลลิเมตร ในชุดสอน 148.4894 มิลลิเมตร ในชุดทดสอบ ในขณะที่ RMSE ที่ได้จากชุดการสอนและชุดทดสอบที่ได้จากการสร้างแบบจำลองด้วยข้อมูลอากาศบนพื้นที่ราบอย่างเดียวมีค่าต่ำกว่าอย่างชัดเจน โดยมีค่า 26.2730 มิลลิเมตร และ 25.7439 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่า RMSE ของแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในปีงบประมาณปัจจุบัน มีค่ามากกว่าค่า RMSE ในปีงบประมาณก่อนหน้า เนื่องจากการตัดปัจจัยความเร็วลมและปริมาณเมฆออกไปจากแบบจำลองที่ปรับปรุงใหม่ในปีปัจจุบัน เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลอากาศพื้นฐานที่บันทึกโดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มาประกอบในแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้ ซึ่งแบบจำลองที่ปรับปรุงขึ้นใหม่ยังคงสามารถใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำฝนสะสมล่วงหน้าได้อย่างน่าเชื่อถือถึงแม้จะปรับลดปัจจัยที่ต้องใช้ในแบบจำลองบางปัจจัยออกไป อย่างไรก็ตาม หากต้องการความแม่นยำของการพยากรณ์เพิ่มมากขึ้นในอนาคต สถาบันฯ สามารถติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบางปัจจัย อาทิ อุปกรณ์ในการวัดความเร็วลมและปริมาณเมฆเพิ่มเติม และนำข้อมูลจากปัจจัยดังกล่าวมาสร้างปรับปรุงแบบจำลองให้มีความแม่นยำเพิ่มมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดทั้งรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปีที่สร้างขึ้นในปีงบประมาณ 2559 นี้ จะไม่มีการนำมาเปรียบเทียบกับความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นในปีงบประมาณ 2558 เนื่องจากการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ในปีงบประมาณก่อนหน้านี้นี้มีแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายฤดูกาลเพียงอย่างเดียว จึงเป็นที่มาของการพัฒนาแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี รวมถึงการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดทั้งแบบรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปีในปีงบประมาณ 2559

4.6 โครงร่างต้นแบบ (Prototype)

สำหรับโครงร่างต้นแบบ (Prototype) ของระบบงานที่สร้างขึ้นในช่วงต้นของการดำเนินงานในปีงบประมาณ 2559 โดยการขอคำปรึกษาร่วมกับบุคลากรของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ได้มีการออกแบบและจัดทำขึ้นโดยใช้ภาษา PHP (PHP Hypertext Preprocessor) ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ในลักษณะเซิร์ฟเวอร์-ไซด์ สคริปต์ ที่มีลิขสิทธิ์อยู่ในลักษณะโอเพนซอร์สสำหรับจัดทำเว็บไซต์ บนฐานข้อมูล Microsoft SQL Server และแสดงผลออกมาในรูปแบบ HTML โดยโครงร่างต้นแบบที่

สร้างขึ้นในช่วงแรกมีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 4-80 ที่มี login page ให้ผู้ใช้แสดงตนก่อนเข้าไปใช้ฐานข้อมูล ทำนายสภาพภูมิอากาศและมีการเก็บข้อมูลผู้ใช้ฐานข้อมูลใน system log จากนั้นทำการเลือกสถานีตรวจวัด ข้อมูลอากาศที่ต้องการทำนาย และคาบเวลาที่ต้องการ ผลการศึกษาที่ได้จะแสดงในรูปกราฟที่ผู้ใช้สามารถ บันทึกผลและนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้



ภาพที่ 4-80 โครงร่างต้นแบบของระบบงาน

4.7 การพัฒนาและออกแบบฐานข้อมูลกาลอากาศ

การพัฒนาและออกแบบฐานข้อมูลกาลอากาศ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ 5 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของระบบเดิม การกำหนดปัญหาของระบบ การวิเคราะห์ระบบ การออกแบบและพัฒนา ระบบ และการทดสอบระบบ

4.7.1 การวิเคราะห์รูปแบบการทำงานของระบบเดิม

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มีระบบฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบนพื้นที่สูง (<https://meteorology.hrdi.or.th/Group/hrdi/general.aspx>) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้บันทึกข้อมูลกาลอากาศ บริหารจัดการข้อมูลและสร้างสารสนเทศข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นที่สูง จากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ที่ติดตั้งเครื่องวัดสภาพภูมิอากาศอัตโนมัติ จำนวน 28 สถานี และมีระยะเวลาดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 ถึงปัจจุบัน ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดประกอบด้วย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน ที่มีการบันทึกค่าข้อมูลทุกๆ 5 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง

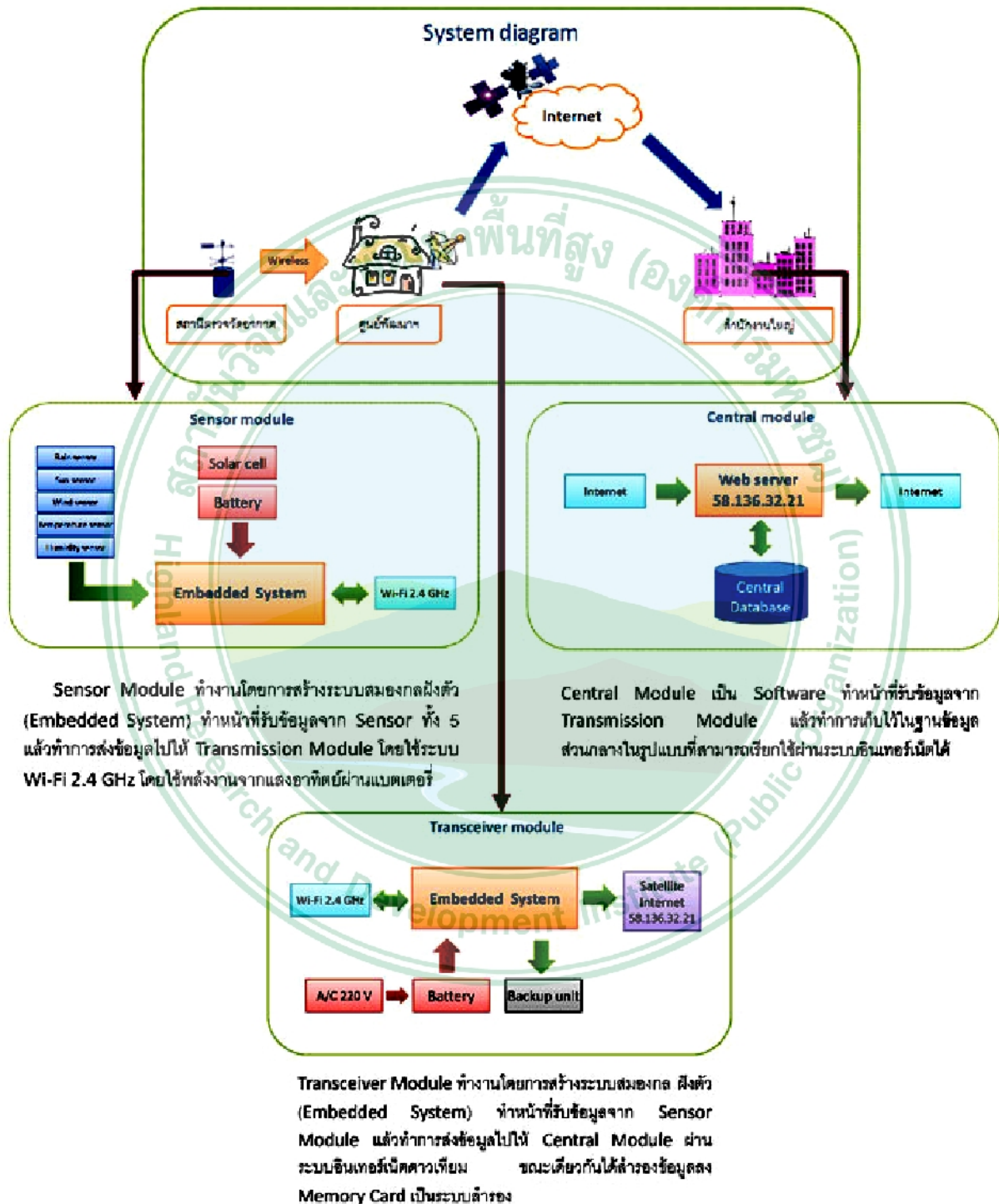
ระบบฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยาบนพื้นที่สูงของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ดังที่ได้แสดงในภาพที่ 4-81 ประกอบด้วย (1) สถานีตรวจวัดอากาศที่ติดตั้งระบบตรวจวัดข้อมูลอากาศ (2) สำนักงานโครงการขยายผลโครงการหลวง เป็นที่ตั้งของระบบในการส่งต่อข้อมูลมายังสำนักงานส่วนกลาง และ (3) สำนักงานส่วนกลาง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลบริการข้อมูลและสารสนเทศ โดยมีกระบวนการทำงานของระบบตามลำดับ คือ sensor module (1) ทำหน้าที่วัดค่าข้อมูลทั้ง 5 ปัจจัยดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น และส่งข้อมูลด้วย WIFI 2.4 GHz ทุกๆ 5 นาที เข้าสู่ Transceiver module (2) ที่ติดตั้งอยู่ ณ สำนักงานโครงการขยายผลโครงการหลวงแต่ละแห่ง เพื่อส่งข้อมูลไปที่ central module (3) ด้วยระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง พร้อมกับสำรองข้อมูลด้วย memory card ข้อมูลที่ส่งมาที่ central module จะบันทึกลงในฐานข้อมูลกลาง โดยมีระบบ software เรียกใช้ข้อมูลและแสดงผลด้วย web base application

ฐานข้อมูลกลาง (Central database) ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ฐานข้อมูล SQL server และมีระบบติดต่อกับผู้ใช้ผ่าน web base application ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้สะดวกขึ้น ด้วย browser ซึ่ง Web server รายงานข้อมูลและสารสนเทศแบบรายสถานี ประกอบด้วย

- สภาพภูมิอากาศสถานะปัจจุบัน ประกอบด้วย

1. รายงานข้อมูลสภาพอากาศ ณ เวลาปัจจุบัน ได้แก่ วันเดือนปี เวลา อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน
2. รายงานสารสนเทศสภาพอากาศ สถิติตั้งแต่เวลา 00:00 น. ถึง เวลาปัจจุบัน (ช่วง 5 นาที) ประกอบด้วย วันเดือนปี เวลา อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน
3. กราฟแสดงสารสนเทศสภาพอากาศโดยเฉลี่ยรายชั่วโมง ประกอบด้วย ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน

4. กราฟแสดงสารสนเทศ ระยะทางลมรวมรายชั่วโมง
5. ข้อมูลตรวจวัดอากาศปัจจุบันโดยละเอียด สถิติตั้งแต่เวลา 0:00 น.ถึง เวลาปัจจุบัน (ช่วง 5 นาที) Webpage จะแสดงข้อมูลราย 5 นาที ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝน และพลังงานแบตเตอรี่



ภาพที่ 4-81 ระบบฐานข้อมูลอุตุนิยมวิทยานพื้นที่สูง
(ที่มา: <https://meteorology.hrdi.or.th/Group/hrdi/aboutus.aspx>)

- สภาพภูมิอากาศย้อนหลัง ประกอบด้วย

1. เพจที่มีแบบฟอร์มที่ผู้ใช้สามารถเลือก ปี และสถานีตรวจวัดอากาศ
2. กราฟแสดงอุณหภูมิรายเดือนสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุด
3. กราฟแสดงความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนสูงสุด เฉลี่ย และต่ำสุด
4. กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนสะสมรายเดือน
5. ตารางข้อมูลอากาศจำแนกรายเดือน ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย และปริมาณน้ำฝนสะสม
6. ตารางข้อมูลอากาศจำแนกรายวัน ประกอบด้วย อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ปริมาณน้ำฝนสะสม และ
7. ข้อมูลตรวจวัดอากาศรายวัน สถิติตั้งแต่วันที่ 0:00 น. ถึง 23.55 น. (ช่วง 5 นาที) ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน และพลังงานแบตเตอรี่

4.7.2 การกำหนดปัญหาของระบบ

ฐานข้อมูลเดิมเป็นข้อมูลกาลอากาศที่มีการบันทึกเฉพาะข้อมูลอากาศบนพื้นที่สูง ซึ่งมีการรายงานสารสนเทศและข้อมูลดิบเบื้องต้นเท่านั้น แต่ยังไม่มีส่วนตอนการพยากรณ์อากาศที่ช่วยคาดการณ์รูปแบบของสภาพภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต นอกจากนี้ ระบบการติดต่อกับผู้ใช้ พบว่า ผู้ใช้ไม่สามารถสอบถามข้อมูลตามเงื่อนไขเฉพาะ เพื่อใช้ในการวางแผนการพัฒนาหรือดำเนินกิจกรรมการวิจัยและปฏิบัติงานบนพื้นที่สูงได้ ดังนั้น โจทย์วิจัยด้านการพัฒนาฐานข้อมูลกาลอากาศภายใต้โครงการวิจัยนี้ คือ การพัฒนาฐานข้อมูลลักษณะอากาศจากการพยากรณ์อากาศรายคาบเวลา ในแต่ละสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการทำงานของนักวิจัยและเพื่อวางแผนป้องกันผลกระทบจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ

4.7.3 การวิเคราะห์ระบบ

1. องค์ประกอบและการทำงานของระบบ

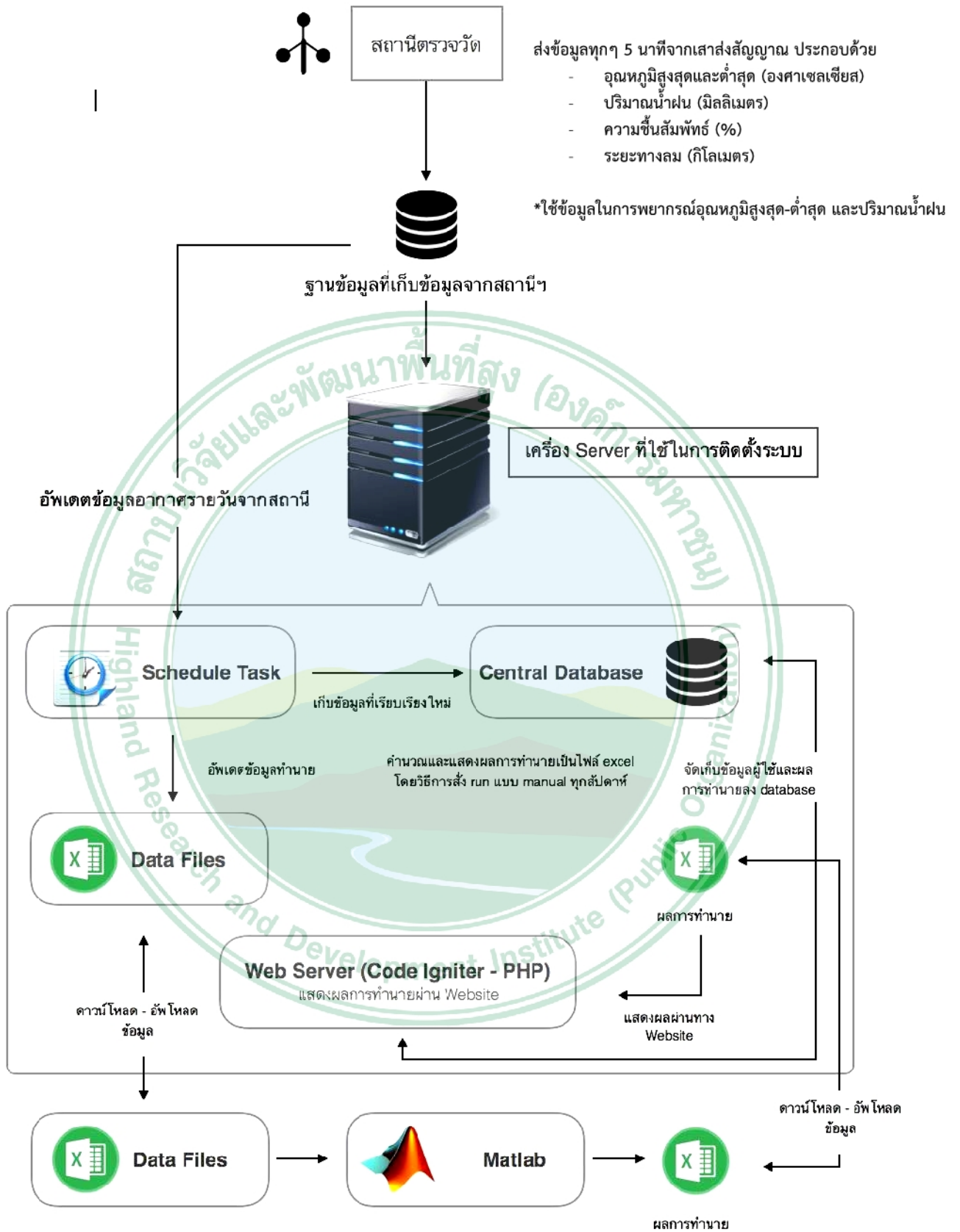
องค์ประกอบของระบบ ประกอบด้วย ผู้ใช้งานระบบ 4 กลุ่ม คือ ผู้บริหารตั้งแต่หัวหน้าฝ่ายขึ้นไป เจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการ ผู้ดูแลระบบ และผู้ใช้งานทั่วไป โดยผู้ดูแลระบบและ/หรือเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการสามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลภายใต้ฐานข้อมูลจากงานวิจัยนี้ ส่วนผู้ใช้ทุกกลุ่มสามารถสืบค้นข้อมูลแบบมีเงื่อนไขตามตรรกะคณิตศาสตร์หรือการพยากรณ์อากาศจากฐานข้อมูลเดิมและฐานข้อมูลจากงานวิจัยนี้ แต่เนื่องจากการทำงานของระบบเดิมของทางสถาบันฯ เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลราย 5 นาที แต่การพยากรณ์อากาศในการศึกษาครั้งนี้ต้องใช้ข้อมูลรายวัน ผู้วิจัยจึงทำ Program Schedule Task เพื่อทำการอัปเดตข้อมูลรายวันลงไปในตาราง (Data Files) และฐานข้อมูลกลาง (Central Database) ทุกๆ วัน เวลา 00:00 น. ของแต่ละวัน โดยระบบสามารถอัปเดตข้อมูลได้เองอัตโนมัติ และมีโครงสร้างของระบบการพยากรณ์อากาศดังแสดงในภาพที่ 4-82

ฐานข้อมูลกลาง (Central database) ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมฐานข้อมูล SQL server โครงสร้างฐานข้อมูล ด้านการใช้งานฐานข้อมูล มีระบบติดต่อกับผู้ใช้ผ่าน web base application ที่มีแบบจำลองการพยากรณ์อากาศที่ทดสอบแล้วว่ามีความถูกต้องแม่นยำมาใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลกาล

อากาศ แต่การพยากรณ์อากาศในแต่ละสัปดาห์ยังจำเป็นต้องมีบุคลากรดำเนินการสั่งการระบบ เพื่อประมวลผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์แสดงผล (Web base application) ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ ภาษา PHP และ Code Igniter Web Framework ซึ่งผู้ใช้สามารถเข้าถึงและใช้งานผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ด้วย browser ที่ต้องการยืนยันตัวตนผ่านระบบก่อน (Login) และเว็บไซต์จะรายงานข้อมูลและสารสนเทศ โดยผู้ใช้สามารถเลือกสถานีตรวจวัด ประเภทชุดข้อมูล และคาบเวลา ที่ต้องการพยากรณ์ และมีการแสดงผลในรูปแบบของแผนภูมิแท่งที่มีแกน x แสดงคาบเวลา และแกน y แสดงปริมาณน้ำฝนหรือระดับอุณหภูมิ ซึ่งข้อมูลที่ใช้เลือกพยากรณ์สามารถบันทึกผล และสามารถเปิดดูย้อนหลังได้ ประกอบด้วย

1. การพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายสถานี โดยสามารถเลือกคาบเวลาเป็น
 - รายสัปดาห์
 - รายเดือน
 - รายปี
2. การพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดรายสถานี โดยสามารถเลือกคาบเวลาเป็น
 - รายสัปดาห์
 - รายเดือน
 - รายปี
3. การพยากรณ์อุณหภูมิต่ำสุดรายสถานี โดยสามารถเลือกคาบเวลาเป็น
 - รายสัปดาห์
 - รายเดือน
 - รายปี

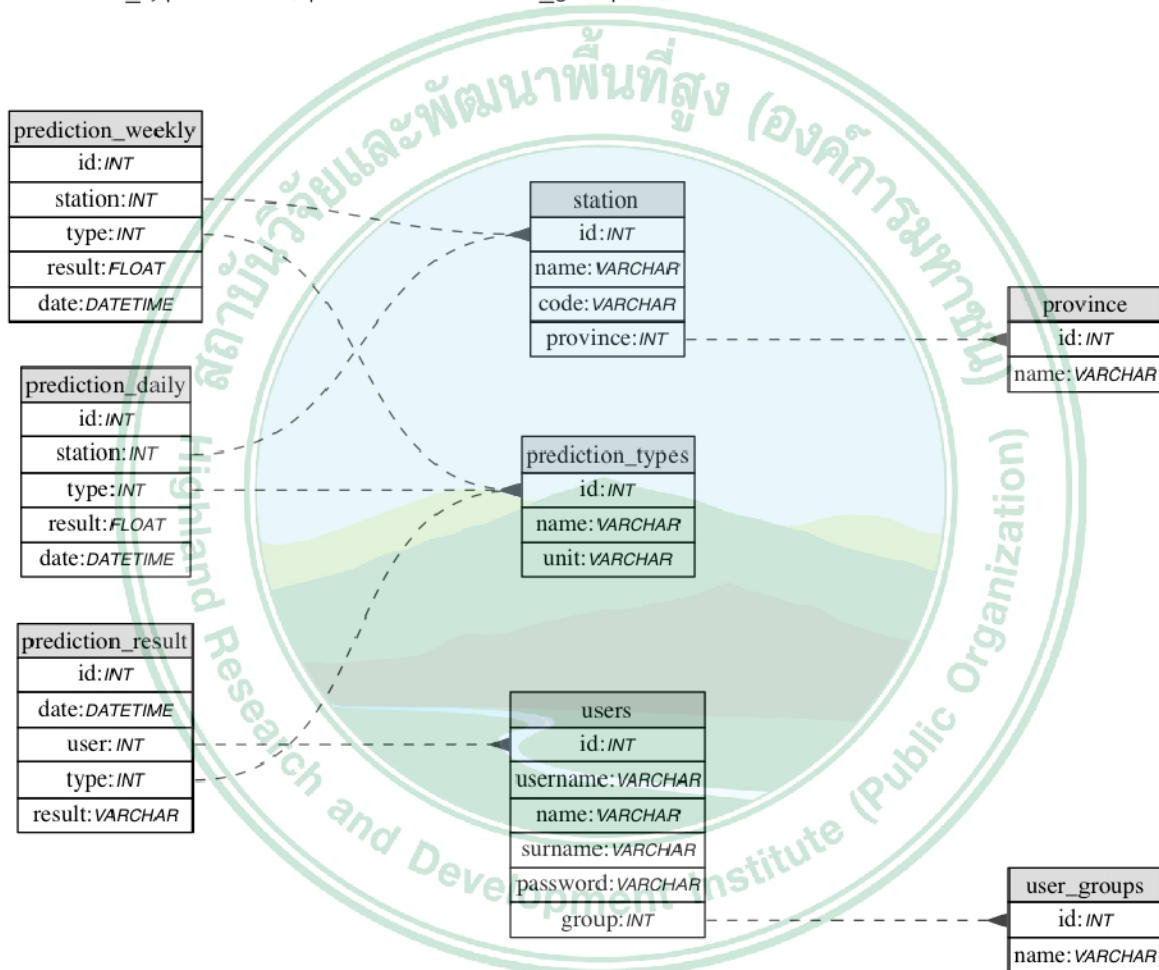




ภาพที่ 4-82 โครงสร้างระบบฐานข้อมูลการพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูง

2. แผนภาพความสัมพันธ์ของข้อมูล (Entity-Relationship Diagram) และโครงสร้างฐานข้อมูล

แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล (ภาพที่ 4-83) ช่วยให้ทราบถึงความสัมพันธ์กันในภาพรวมของระบบว่าแต่ละ Entity มีความสัมพันธ์กันอย่างไร และแต่ละ Entity สามารถเก็บข้อมูลอะไรบ้าง การกำหนดชนิดและขนาดของ Attribute ต่าง ๆ ในลักษณะที่เป็น Filed ของแต่ละ Table จะต้องให้มีความเหมาะสมกับข้อมูลที่จะจัดเก็บ สืบค้น และแสดงผลรายงาน โดยผู้วิจัยทำการออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลจำนวน 8 ตาราง ประกอบด้วย prediction_weekly, prediction_daily, prediction_result, station, prediction_types, users, province และ user_groups (ตารางที่ 4.24-4.31)



ภาพที่ 4-83 แผนภาพความสัมพันธ์ของข้อมูล (Entity-Relationship Diagram) ของระบบฐานข้อมูลกาลอากาศ

ตารางที่ 4-24 users

ตาราง users : สำหรับเก็บข้อมูลผู้ใช้งานในระบบ			
ชื่อ field	ชนิด field	Allow Null	คำอธิบาย
Id	INT(11)	NOT NULL	รหัสประจำตัวผู้ใช้งาน
Username	VARCHAR(30)	NOT NULL	ชื่อที่ใช้เข้าระบบ
Name	VARCHAR(30)	NOT NULL	ชื่อผู้ใช้งาน
Surname	VARCHAR(30)	NOT NULL	นามสกุลผู้ใช้งาน
Password	VARCHAR(40)	NOT NULL	รหัสผู้ใช้งาน
Group	INT(11)	NOT NULL	รหัสกลุ่มผู้ใช้งาน

ตารางที่ 4-25 user_groups

ตาราง user_groups : สำหรับเก็บข้อมูลกลุ่มผู้ใช้งานในระบบ			
ชื่อ field	ชนิด field	Allow Null	คำอธิบาย
Id	INT(11)	NOT NULL	รหัสประจำกลุ่มผู้ใช้งาน
Name	VARCHAR(30)	NOT NULL	ชื่อกลุ่มผู้ใช้งาน

ตารางที่ 4-26 station

ตาราง station : สำหรับเก็บข้อมูลสถานีตรวจวัดอากาศ			
ชื่อ field	ชนิด field	Allow Null	คำอธิบาย
Id	INT(11)	NOT NULL	รหัสประจำสถานีฯ
Name	VARCHAR(30)	NOT NULL	ชื่อสถานีฯ
Code	VARCHAR(30)	NOT NULL	รหัสย่อประจำสถานีฯ
Province	INT(11)	NOT NULL	รหัสจังหวัดของสถานีฯ

ตารางที่ 4-27 province

ตาราง province : สำหรับเก็บข้อมูลจังหวัด			
ชื่อ field	ชนิด field	Allow Null	คำอธิบาย
Id	INT(11)	NOT NULL	รหัสประจำจังหวัด
Name	VARCHAR(30)	NOT NULL	ชื่อจังหวัด

ตารางที่ 4-28 prediction_types

ตาราง prediction_types : สำหรับเก็บข้อมูลประเภทข้อมูลการทำนาย			
ชื่อ field	ชนิด field	Allow Null	คำอธิบาย
Id	INT(11)	NOT NULL	รหัสประจำประเภทข้อมูล
Name	VARCHAR(30)	NOT NULL	ชื่อประเภทข้อมูล
Unit	VARCHAR(30)	NOT NULL	หน่วยที่ใช้กับประเภทข้อมูล

ตารางที่ 4-29 prediction_daily

ตาราง prediction daily : สำหรับเก็บข้อมูลจากสถานีรายวัน			
ชื่อ field	ชนิด field	Allow Null	คำอธิบาย
Id	INT(11)	NOT NULL	รหัสประจำข้อมูลจากสถานี
Station	INT(11)	NOT NULL	รหัสสถานี
Type	INT(11)	NOT NULL	รหัสประเภทข้อมูล
Result	FLOAT	NULL	ผลจากสถานี
Date	DATETIME	NOT NULL	วันเวลาที่เก็บข้อมูล

ตารางที่ 4-30 prediction_weekly

ตาราง prediction_weekly : สำหรับเก็บข้อมูลจากสถานีรายสัปดาห์			
ชื่อ field	ชนิด field	Allow Null	คำอธิบาย
Id	INT(11)	NOT NULL	รหัสประจำข้อมูลจากสถานี
Station	INT(11)	NOT NULL	รหัสสถานี
Type	INT(11)	NOT NULL	รหัสประเภทข้อมูล
Result	FLOAT	NULL	ผลจากสถานี
Date	DATETIME	NOT NULL	วันเวลาที่เก็บข้อมูล

ตารางที่ 4-31 prediction_result

ตาราง prediction_result : สำหรับเก็บข้อมูลการทำนายที่ต้องการบันทึก			
ชื่อ field	ชนิด field	Allow Null	คำอธิบาย
id	INT(11)	NOT NULL	รหัสประจำข้อมูลจากสถานี
date	DATETIME	NOT NULL	วันเวลาที่เก็บข้อมูล
station	INT(11)	NOT NULL	รหัสสถานี
user	INT(11)	NOT NULL	รหัสผู้ทำนาย
type	INT(11)	NOT NULL	รหัสประเภทข้อมูล
result	FLOAT	NULL	ผลจากสถานี

4.7.4 การออกแบบและพัฒนาระบบ (Database design and development)

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาระบบให้ผู้ใช้สามารถเลือกพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูงได้ตามตัวแปรต่างๆ โดยผู้ใช้สามารถสืบค้นเพื่อการพยากรณ์ตามตัวแปรจังหวัด สถานีตรวจวัด ชนิดของข้อมูล และคาบเวลาที่ต้องการ ซึ่งภายหลังจากการเลือกตัวแปรการสืบค้นและการพยากรณ์แล้ว ระบบสารสนเทศนี้จะแสดงผลข้อมูลการพยากรณ์ตามที่ต้องการ และอนุญาตให้ผู้ใช้เข้าไปดาวน์โหลดข้อมูลกาลอากาศออกมาได้ คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบระบบและจัดอบรมการใช้งานข้อมูลการพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูงในวันที่ 29 พฤศจิกายน และ 16 ธันวาคม 2559 (ภาพที่ 4-84) ณ สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) พร้อมทั้งปรับเปลี่ยนโครงสร้างต้นแบบที่สร้างขึ้น ให้มีการใช้งานที่ง่าย และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้

ตามคำแนะนำของนักวิจัย นักวิชาการ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายสารสนเทศของสถาบันฯ และเพิ่มฟังก์ชันในการบันทึกข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ (ภาพที่ 4-85)



ภาพที่ 4-84 การจัดอบรมการใช้ฐานข้อมูลการพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)



ภาพที่ 4-85 ตัวอย่างหน้าสืบค้นของเว็บไซต์ฐานข้อมูลที่สร้างขึ้น

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการวิจัย

โครงการศึกษาและจัดทำฐานข้อมูลกาลอากาศสำหรับงานวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงของประเทศไทยได้ทำการรวบรวมข้อมูลกาลอากาศในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ทั้งบนพื้นราบและพื้นที่สูงจากหน่วยงานต่าง ๆ อาทิ กรมอุตุนิยมวิทยา กรมทรัพยากรน้ำ กรมชลประทาน และสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) แต่เนื่องจากชนิดของข้อมูลที่มีการบันทึกไว้ในแต่ละแหล่งข้อมูลไม่มีความสอดคล้องกัน ทำให้ชนิดของข้อมูลที่สามารถนำมาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูงเหลือเพียง 5 ปัจจัย ประกอบด้วย ข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งเป็นข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาและสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) เท่านั้น อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาที่มีการบันทึกย้อนหลังไปมากกว่า 50 ปีในหลายๆ สถานี ซึ่งเป็นข้อดีทำให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศค่อนข้างชัดเจน แต่ข้อมูลอากาศที่ได้มายังมีข้อจำกัดในเรื่องของความต่อเนื่องของข้อมูลที่มีบางส่วนขาดหายไปเนื่องจากความผิดพลาดของเครื่องมือบันทึกผลและมีเพียงไม่กี่สถานีที่อยู่ในพื้นที่สูง ในขณะที่ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) เพิ่งเริ่มมีการจดบันทึกประมาณ 10 ปี และพบว่าข้อมูลมีปัญหาการขาดความต่อเนื่องเช่นเดียวกัน จึงทำให้มีข้อมูลไม่เพียงพอต่อการนำมาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์อากาศโดยใช้ข้อมูลอากาศเฉพาะบนพื้นที่สูง แบบจำลองการพยากรณ์อากาศที่เกิดขึ้นนี้จึงเป็นการสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลอากาศร่วมกันระหว่างข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ดังนั้น ในระยะยาวหากมีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลสภาพอากาศในพื้นที่สูงทั้งจากมูลนิธิโครงการหลวงและสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) มากเพียงพอแล้ว สามารถปรับปรุงแบบจำลองการพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูง โดยใช้เฉพาะข้อมูลอากาศบนพื้นที่สูงเท่านั้นมาเป็นข้อมูลฐานในการสร้างแบบจำลองต่อไป และจะส่งผลให้การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและการพยากรณ์ลักษณะสภาพอากาศบนพื้นที่สูงมีแม่นยำมากขึ้น

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลอากาศทางสถิติและคณิตศาสตร์เพื่อระบุลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว พบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำฝนเพิ่มสูงขึ้น ในขณะเดียวกันก็มีระดับอุณหภูมิสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ปริมาณน้ำฝนที่มีมากประกอบกับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นในบรรยากาศเพิ่มสูงขึ้น ดังจะเห็นได้จากระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นแสดงถึงการลดความเสี่ยงจากภัยแล้ง แต่อาจจะเพิ่มผลกระทบจากปัญหาการชะล้างพังทลายของดินและความเสียหายจากพายุฝน นอกจากนี้ ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อการเพาะปลูกพืชเมืองหนาวบนพื้นที่สูงได้เนื่องจากสภาพอากาศที่อบอุ่นขึ้นจะส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาพักตัว และการออกดอกและติดผลของไม้เมืองหนาว จากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงดังที่กล่าวมาข้างต้นข้างต้น จึงต้องมีการคำนึงถึงการวางแผนการเพาะปลูกและการพยากรณ์อากาศล่วงหน้า เพื่อเตรียมความพร้อมในการเพาะปลูกให้เกิดความเสียหายกับพืชผลทางการเกษตรบนพื้นที่สูงน้อย

คณะผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุดบนพื้นที่สูง โดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับร่วมกับการแปลงแบบเวฟเลต ที่ให้ความแม่นยำสูงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแบบจำลองการพยากรณ์เหล่านี้จะมีประโยชน์อย่างยิ่ง ในการวางแผนเพื่อการ

เพาะปลูกและการจัดการผลผลิตทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม ข้อมูลอากาศที่มีการจดบันทึกได้ภายหลังการ
สร้างแบบจำลองแล้วเสร็จยังคงมีความสำคัญ เนื่องจาก การฝึกแบบจำลองให้นานขึ้นประกอบกับมีข้อมูล
ตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูงเพิ่มมากขึ้นจะทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเก็บ
ข้อมูลอากาศบนพื้นที่สูงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ หากมีการเปลี่ยนแปลงเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล
อากาศ จำเป็นต้องมีการสอบเทียบข้อมูลอากาศที่บันทึกได้จากเครื่องมือเดิมและเครื่องมือใหม่ เพื่อสร้างความ
มั่นใจว่าข้อมูลอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปไม่ได้เป็นผลจากการเปลี่ยนเครื่องมือที่ใช้บันทึกข้อมูล หรือหากข้อมูล
ที่บันทึกได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผู้ใช้จะได้วางแผนเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง
เครื่องมือบันทึกข้อมูลอากาศต่อไป

คณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลอากาศพร้อมทั้งแบบจำลองการพยากรณ์อากาศไว้ในฐานข้อมูล
อากาศที่สร้าง โดยใช้ภาษา PHP (PHP Hypertext Preprocessor) ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ในลักษณะ
เซิร์ฟเวอร์-ไซด์ สคริปต์ ที่มีลิขสิทธิ์อยู่ในลักษณะโอเพนซอร์สสำหรับจัดทำเว็บไซต์ บนฐานข้อมูล Microsoft
SQL Server และแสดงผลออกมาในรูปแบบ HTML ที่มี login page ให้ผู้ใช้แสดงตนก่อนเข้าไปใช้ฐานข้อมูล
พยากรณ์สภาพภูมิอากาศและมีการเก็บข้อมูลผู้ใช้ฐานข้อมูลใน system log โดยผู้ใช้งานต้องทำการเลือกสถานี
ตรวจวัด ข้อมูลอากาศที่ต้องการพยากรณ์ และคาบเวลาที่ต้องการ เพื่อให้ นักวิจัย เกษตรกร และผู้ที่สนใจ
สามารถนำไปใช้ได้ประโยชน์สูงสุด



บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย

โครงการศึกษาและจัดทำฐานข้อมูลกาลอากาศสำหรับงานวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูงของประเทศไทยได้รวบรวมข้อมูลอากาศบนพื้นที่สูงทางภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ (สูงสุด-ต่ำสุด-เฉลี่ย) และความชื้นสัมพัทธ์ จากสถานีตรวจวัดอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา 30 สถานี และจากสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) 28 สถานี โดยรวบรวมข้อมูลสภาพอากาศรายวันและรายเดือนย้อนหลังไปมากที่สุดเท่าที่มีข้อมูลจนถึงปัจจุบัน เพื่อปรับปรุงและสร้างแบบจำลองสำหรับพัฒนาระบบพยากรณ์สภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูง โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศบนพื้นที่ราบบางปัจจัยร่วมกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศที่บันทึกโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) และเชื่อมโยงฐานข้อมูลแบบจำลองระบบพยากรณ์สภาพภูมิอากาศบนพื้นที่สูงผ่านทางเว็บไซต์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน)

คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและการวิเคราะห์สเปกตรัล (Spectral Analysis) เพื่อระบุลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว พบว่า ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยาทุกสถานีในพื้นที่ภาคเหนือมีค่า 1283.92 มม./ปี โดยปริมาณน้ำฝนในปี พ.ศ. 2494-2536 มีแนวโน้มลดต่ำลงจาก 1447.12 มม. เป็น 953.51 มม. และค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเป็น 1333.66 มม. ในปีปัจจุบัน ซึ่งมีวัฏจักรการเกิดซ้ำของฝนทุกๆ 2.3-2.4 ปี และ 5.2-5.6 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ภาคเหนือจากกรมอุตุนิยมวิทยามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์เป็น 73.25% และเพิ่มขึ้นจาก 74.22% ในปี พ.ศ. 2494 มาเป็น 75.63% ในปี พ.ศ. 2556 สำหรับวัฏจักรการเกิดซ้ำของความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า ไม่มีรูปแบบการเกิดซ้ำที่แน่นอน ระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ภาคเหนือจากกรมอุตุนิยมวิทยามีแนวโน้มคงที่ที่ 32.51 และ 26.53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง ± 1 องศาเซลเซียส ในขณะที่วัฏจักรการเกิดซ้ำของอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยจะเกิดขึ้นทุกๆ 2.1-3.6 ปี และ 3.6 ปี ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจาก 20.61 องศาเซลเซียส ในปี พ.ศ. 2494 เป็น 21.33 ในปี พ.ศ. 2556 ในขณะที่ระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยมีค่า 20.79 องศาเซลเซียส และมีวัฏจักรการเกิดซ้ำทุกๆ 3.6 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่บันทึกโดยสถานีตรวจวัดอากาศบนพื้นที่สูง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) การวิเคราะห์ปัจจัยสามารถจำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนได้ 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 15 สถานี มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งปีเพียง 1,240.71 มม. ในขณะที่กลุ่มที่ 2 จำนวน 12 สถานี มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดทั้งปีสูงถึง 2,393.08 มม. เช่นเดียวกับค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนบนพื้นที่สูงที่สามารถจำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 21 สถานี และกลุ่มที่ 2 จำนวน 6 สถานี มีความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 80.63% และ 79.35% ตามลำดับ

ระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่สูงสามารถจำแนกพื้นที่ที่มีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงสุดรายเดือนได้เป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 18 สถานี มีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน 32.80 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ 2 จำนวน 9 สถานี มีระดับอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.50 องศาเซลเซียส

สำหรับระดับอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสามารถจำแนกพื้นที่ได้เป็น 2 กลุ่ม เช่นเดียวกัน โดยกลุ่มที่ 1 จำนวน 19 สถานี และกลุ่มที่ 2 จำนวน 8 สถานี มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ย 23.12 องศาเซลเซียส และ 22.99 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ส่วนระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่สูงในพื้นที่กลุ่มที่ 1 จำนวน 26 สถานี มีระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือนเพียง 16.37 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ 2 ที่มีเพียง 1 สถานี มีระดับอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายเดือน 17.24 องศาเซลเซียส

คณะผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้สมการความสัมพันธ์ของตัวแปรภูมิอากาศด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) เพื่อปรับปรุงแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายฤดูกาลเดิมให้สามารถพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี และสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดทั้งแบบรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี เพิ่มเติม ซึ่งสามารถพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูงล่วงหน้าได้ในหลายช่วงเวลาทั้งรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี โดยมีความแม่นยำสูง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบฐานข้อมูลกาลอากาศเพื่อแสดงผลหน้าเวปไซด์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ให้สอดคล้องกับฐานข้อมูลอากาศเดิมของสถาบันฯ และมีการประชุมเพิ่มเติมกับผู้ใช้ เพื่อพัฒนารูปแบบและการแสดงผลหน้าจอของฐานข้อมูลให้เหมาะสมและอำนวยความสะดวกให้กับนักวิจัย เกษตรกร รวมถึงผู้ที่สนใจในวางแผนการวิจัย การเพาะปลูก และการพัฒนาพื้นที่สูงอื่นๆ ในอนาคต



ข้อเสนอแนะ

จากการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์อากาศด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่มีการเขียนคำสั่งเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด หลายคาบเวลา ทั้งแบบรายสัปดาห์ รายเดือน และรายปี พบว่า แบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำในการพยากรณ์สูงที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่จำเป็นต้องให้นักวิจัยเป็นผู้นำเข้าข้อมูลอากาศที่เป็นปัจจุบัน เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองในการพยากรณ์อากาศในคาบเวลาถัดไป รวมถึงต้องสั่งให้เกิดการพยากรณ์ตามช่วงเวลาที่กำหนดโดยตัวนักวิจัยเอง จึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจกับนักวิจัยผู้ดูแลระบบให้เกิดความเข้าใจในระบบของการพยากรณ์ดังกล่าวก่อน เพื่อให้การพยากรณ์เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง และมีการเพิ่มข้อมูลการพยากรณ์เข้าสู่ฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้ามาสืบค้นค่าการพยากรณ์ในคาบเวลาต่างๆ ได้อย่างไรก็ตาม การดูแลระบบการพยากรณ์โดยนักวิจัยสามารถทดแทนได้โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในรูปแบบ enterprise version ที่สามารถเขียนคำสั่งให้ทำการพยากรณ์อากาศได้ตามคาบเวลาที่ใช้ต้องการ แต่มีราคาสูงกว่า basic version หลายเท่าตัว ดังนั้น การทดสอบระบบพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูงก่อนโดยให้นักวิจัยเป็นผู้ดูแลระบบ จึงเป็นการสร้างความคุ้นเคยระหว่างนักวิจัยกับรูปแบบการทำงานของระบบการพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูง รวมถึงให้นักวิจัยเห็นข้อดี-ข้อด้อย ความถูกต้องของแบบจำลองการพยากรณ์ และความคุ้มค่า หากจำเป็นต้องตัดสินใจเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติเพื่อจำลองการพยากรณ์อากาศในรูปแบบของ enterprise version ที่เป็นรูปแบบอัตโนมัติและไม่ต้องใช้นักวิจัยดูแลระบบ

อย่างไรก็ตาม การทดลองพยากรณ์อากาศบนพื้นที่สูงโดยใช้สถิติเบื้องต้นในรูปแบบของการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time series analysis) ผ่านโปรแกรมพื้นฐาน อาทิ Microsof excel และ SPSS ถึงแม้จะมีความแม่นยำน้อยกว่าการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์บนพื้นฐานของเทคนิคการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) เพียงอย่างเดียว แต่อาจเป็นการง่ายสำหรับนักวิจัยที่ไม่มีความคุ้นเคยกับการเขียนคำสั่งโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ ให้สามารถพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์อากาศอย่างง่าย และสามารถตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาได้เอง รวมถึงสามารถปรับเปลี่ยนแบบจำลองขึ้นมาได้ใหม่ทันที หากมีการติดตั้งอุปกรณ์และเก็บข้อมูลอุตุณิยวิทยาอื่นๆ เพิ่มเติม

