

บทที่ 1

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศอันเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนองค์ประกอบของบรรยากาศโลกโดยตรงหรือโดยอ้อมและที่เพิ่มเติมจากความแปรปรวนของสภาวะอากาศตามธรรมชาติที่สังเกตได้ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ฤดูกาล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่มีชีวิตนั้นอาศัยอยู่

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ปรากฏการณ์โลกร้อน หรือ ปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อทั่วโลก ทำให้ประเทศต่างๆพบกับปรากฏการณ์ความแห้งแล้ง น้ำท่วม คลื่นพายุหมุนเขตร้อน คลื่นความร้อน และไฟป่าอย่างรุนแรงและถี่ขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในทศวรรษที่ผ่านมา ผลกระทบเหล่านี้เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศและสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ในโลกอย่างย้อนกลับไม่ได้ ดังนั้นการทำความเข้าใจถึงมุมมองหลายๆด้านของการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศเพื่อลดสาเหตุต่างๆและบรรเทาผลกระทบใดๆที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตจึงมีความจำเป็นต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนและเศรษฐกิจที่พึ่งตัวเอง

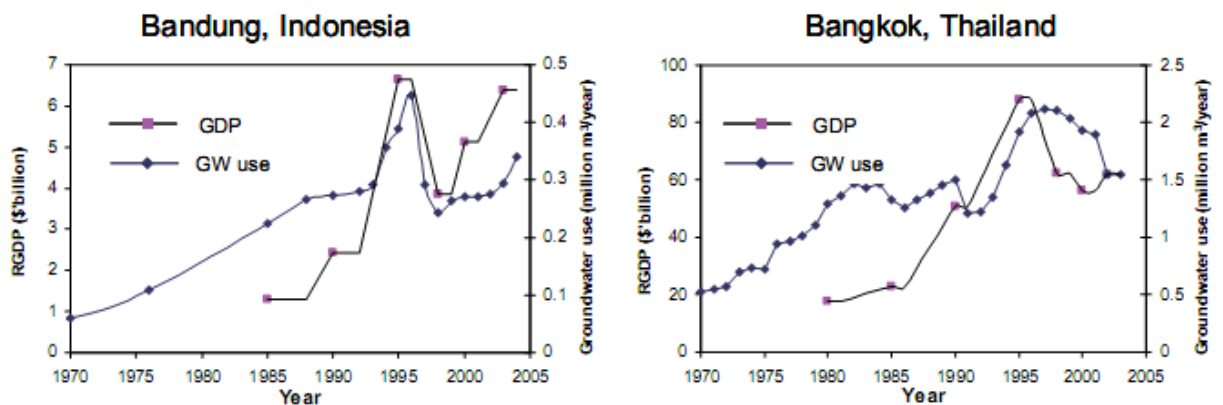
จากการศึกษาของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ IPCC ในปี 2001 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1.4 ถึง 5.8 องศาเซลเซียส และระดับน้ำทะเลจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างน้อย 0.09 เมตร และสามารถขึ้นถึง 0.88 เมตรได้เนื่องจากการละลายของน้ำแข็งขั้วโลกและการขยายตัวของน้ำทะเล ผลที่เกิดขึ้นตามมามีความรุนแรง และส่งผลต่อการกระจายตัวของอัตราฝนตก อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลให้เกิดความแห้งแล้งและน้ำท่วมอย่างรุนแรงขึ้น รวมถึงการสูญเสียสมดุลของระบบนิเวศน์ การห่วงโซ่ผลิตอาหาร ระบบทางสุขภาพ และอื่นๆ ทำให้เกิดผลกระทบทางลบต่อการพัฒนาด้านสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ

น้ำใต้ดินเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการดำรงชีวิตและต่อความมั่นคงทางด้านอาหารของประชากรนับพันล้านคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนาในแถบทวีปเอเชีย การใช้น้ำใต้ดินโดยรวมมีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำอุปโภคบริโภคทั้งหมด 40 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการน้ำในอุตสาหกรรม และ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำเพื่อการเกษตร ในทวีปเอเชียและแปซิฟิก ประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ของประชากรทั้งหมดใช้น้ำใต้ดินสำหรับน้ำดื่ม (Morris et al. 2003)

น้ำใต้ดินมีส่วนทำให้เกิดการเจริญเติบโตด้านเศรษฐกิจของหลายประเทศ โดยการเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญในการอุตสาหกรรมการผลิตและการชลประทานในพื้นที่ชลประทานของประเทศอินเดีย บังกลาเทศ เนปาล และที่ราบตอนเหนือของจีน การประเมินคุณค่าของน้ำใต้ดินไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำใต้ดินทั้งหมดที่ถูกสูบน้ำขึ้นมาใช้เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำผิวดิน โดยทั่วไปน้ำใต้ดินให้ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจที่สูงกว่าต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่ใช้ เนื่องจากการเข้าถึงได้ของน้ำใต้ดินในระดับท้องถิ่น ความ

เชื่อมั่นเมื่อเกิดภาวะแล้ง และคุณภาพน้ำที่ดีและสม่ำเสมอในขณะที่ใช้กระบวนการบำบัดน้ำที่น้อยกว่าน้ำผิวดิน (UN/WWAP 2003) การใช้น้ำใต้ดินมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นโดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนา เนื่องจากแรงกดดันต่างๆต่อทรัพยากรน้ำใต้ดินอีก 25-ปีในอนาคตในทวีปเอเชียจะมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การทำการเกษตร และความต้องการน้ำใช้ต่อคนที่เพิ่มขึ้น พร้อมกับเขตเมืองและอุตสาหกรรมที่ขยายตัว และความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้น (Gunatilaka 2005)

ประชากรมากกว่าสองล้านล้านคนในเอเชียพึ่งน้ำใต้ดินเพื่อการอุปโภคบริโภค ในบางประเทศเช่น บังกลาเทศ อินเดีย จีน อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทยและเวียดนาม ปริมาณน้ำใช้ในครัวเรือนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์มาจากน้ำใต้ดิน (UNEP 2002) เมืองใหญ่บางเมือง เช่น จาร์กาตา ฮานอย และปักกิ่งขึ้นอยู่กับน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำหลัก ในขณะเดียวกันเมืองขนาดเล็กและชนบทต่างๆก็พึ่งน้ำใต้ดินด้วยเช่นกัน มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของประชาชนในชนบทในประเทศกัมพูชาพึ่งพาน้ำใต้ดิน และ 76 เปอร์เซ็นต์ของประชาชนที่ไม่สามารถเข้าถึงระบบประปาขึ้นกับบ่อน้ำตื้นเช่นกัน (ADB 2007a,b) ในชุมชนเมืองส่วนใหญ่ น้ำใต้ดินถูกใช้ในกิจการอุตสาหกรรมมากกว่าจะนำไปใช้เพื่อการอุปโภคบริโภค กรุงเทพมหานครใช้น้ำใต้ดินเพื่อการอุตสาหกรรมมากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำใช้เพื่อการอุตสาหกรรมทั้งหมด ดังนั้นจะเห็นว่าปริมาณการใช้น้ำใต้ดินจะมีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ หรือ Gross Domestic Product (GDP) ดังภาพที่ 1.1



Source: Kataoka et al. 2006

ภาพที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูบน้ำและค่า GDP

ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจะเพิ่มแรงกดดันต่อทรัพยากรน้ำใต้ดินที่มีอยู่แล้วให้มากขึ้น การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทำให้ความสามารถในการเติมน้ำลงชั้นหินอุ้มน้ำในบางพื้นที่ลดลง และน้ำใต้ดินถูกนำมาใช้มากขึ้นเนื่องจากปริมาณฝนตกมีความแปรปรวนและความไม่แน่นอนเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นแล้วการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินยังสามารถเกิดขึ้นได้ในพื้นที่ต่ำตามแนวชายฝั่งเนื่องมาจากการระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น ในบางพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการถูกปนเปื้อนสูงขึ้น ผลกระทบที่เกิดขึ้นทำให้แหล่งน้ำดิบสำรองแหล่งนี้มาใช้ประโยชน์ไม่ได้และไม่เหมาะแก่การนำมาใช้ในอนาคต

สำหรับประเทศกำลังพัฒนา การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมีความรุนแรง ส่งผลต่อประชากรที่ลำบากยากจนอยู่แล้ว ในขณะที่ ประเทศเหล่านี้มีความจำเป็นในการเจริญเติบโตสูงกว่าประเทศอื่นๆที่พัฒนาแล้ว

ความสามารถในการเผชิญหน้าและการเตรียมพร้อมในการรับมือสถานการณ์เหล่านี้โดยทั่วไปยังไม่เพียงพอ ดังนั้นการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกต่อทรัพยากรน้ำใต้ดินเป็นเรื่องที่จำเป็นและเร่งด่วน ทำให้สามารถเกิดการบริหารจัดการน้ำใต้ดินได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงความแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศของโลกเป็นสำคัญ (Hanson et al. 2004) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงมีความจำเป็นที่จะประเมินและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการแปรปรวนและการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในระยะยาวเพื่อทำการวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรน้ำใต้ดินในอนาคตผนวกกับให้มีการคำนึงถึงแรงกดดันต่อน้ำใต้ดินที่เพิ่มมากขึ้นจากการเพิ่มจำนวนของประชากรและความต้องการทางด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรมและนิเวศวิทยา

เนื่องในปัจจุบันมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้นทั้งภาคครัวเรือนภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม จึงมีการขุดเจาะบ่อน้ำบาดาลและสูบน้ำบาดาลมาใช้ เพื่อใช้ตอบสนองกิจกรรมทางเศรษฐกิจเหล่านี้ให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการการใช้น้ำบาดาลในเขตพื้นที่ กรุงเทพมหานคร, นนทบุรี, ปทุมธานี, นครปฐม, สมุทรปราการ, สมุทรสาคร, อยุธยา ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลมีการเปลี่ยนแปลงระดับลดลงอย่างมาก รวมถึงปัญหารุกล้ำของพื้นที่น้ำเค็ม และเกิดการทรุดตัวของพื้นดิน ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงได้มีมาตรการและข้อกำหนดต่างๆ ออกมาใช้เพื่อช่วยลดการใช้น้ำบาดาลและลดปัญหาต่างๆ ที่ตามมาจากการใช้น้ำบาดาลมากเกินไปเช่น การเก็บค่าใช้น้ำบาดาลเริ่มเมื่อ ปี 2535 และค่าอนุรักษ์น้ำบาดาล ในปี 2547 แต่ถึงกระนั้นระดับน้ำและคุณภาพน้ำบาดาลก็ยังคงลดลงอย่างต่อเนื่องถึงแม้อัตราการลดลงจะไม่รวดเร็วเท่าในอดีต แต่ก็ทำให้ระดับน้ำบาดาลเข้าในชั้นกรุงเทพเข้าชั้นวิกฤต

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อตรวจสอบสถานการณ์และแนวโน้มระดับน้ำบาดาลในปัจจุบันของพื้นที่ศึกษาดังกล่าว

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อทรัพยากรน้ำใต้ดินจำเป็นต้องอาศัยของข้อมูลที่มีความต่อเนื่องและการเก็บข้อมูลในระยะเวลายาวนาน งานวิจัยที่จะดำเนินการจะคำนึงถึงความหนาแน่นและความต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานของข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ เป็นสำคัญ ซึ่งเป็นลักษณะจำเพาะของการวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศต่อทรัพยากรใดๆ การวิเคราะห์ข้อมูลจะดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการแบ่งตามขอบเขตของชั้นหินอุ้มน้ำในประเทศไทย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับและสถานการณ์น้ำบาดาลเป็นการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล 7-จังหวัด 45 อำเภอ และ 50-เขตพื้นที่ศึกษาซึ่งมีการใช้ปริมาณน้ำบาดาลด้านอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม และเกษตรกรรมค่อนข้างมาก โดยระดับชั้นน้ำบาดาลที่ทำการศึกษายู่ที่ชั้นพระประแดง ชั้นนครหลวง และชั้นนนทบุรี ซึ่งเป็นชั้นน้ำบาดาลที่มีการเจาะใช้มากที่สุด

ข้อมูลทุติยภูมิที่ใช้ในการศึกษา คือ ระดับน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล) ปริมาณความต้องการใช้น้ำ (การประปา) ระดับการทรุดตัวของชั้นดิน (กรมธรณีวิทยา) และกฎหมายและข้อบังคับ (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

1.3 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

1.3.1 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศต่อทรัพยากรน้ำใต้ดิน

IPCC ได้มีรายงานในปี 2007 สรุปถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศต่อทรัพยากรแหล่งน้ำทั่วไปและแหล่งน้ำใต้ดินดังต่อไปนี้

- แนวโน้มของความร้อนในศตวรรษที่ 21 แสดงรูปแบบเชิงภูมิศาสตร์เช่นเดียวกับในหลายทศวรรษที่ผ่านมา การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะมากที่สุดในพื้นที่บนบกและบริเวณที่ราบสูงทางเหนือ และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะน้อยที่สุดบริเวณทะเลทางใต้และทางตอนเหนือบางส่วนของมหาสมุทรแอตแลนติก
- ส่วนที่ถูกปกคลุมโดยหิมะจะมีพื้นที่ลดลง การละลายของน้ำแข็งจะขยายเป็นวงกว้างขึ้นทั่วพื้นที่ดินเยือกแข็งคงตัว (Permafrost)
- การยกกระดับของน้ำทะเลทั่วโลกโดยเฉลี่ยในศตวรรษที่ 21 ประมาณ 0.18-0.38 เมตร อย่างไรก็ตามกรณีที่เกิดการฉีกขาดที่รุนแรงที่สุดคือระดับน้ำทะเลยกตัวขึ้นถึง 0.59 เมตร
- อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น คลื่นความร้อน และฝนตกหนักที่รุนแรงคาดว่าจะเกิดบ่อยขึ้นกว่าเดิม และ
- ปริมาณฝนตกจะเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่สูง และปริมาณฝนตกจะลดลงในบริเวณแผ่นดินในเขตร้อน

ในอนาคต การใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับน้ำใต้ดินมากขึ้นเนื่องจากน้ำผิวดินที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สามารถไว้วางใจได้ เป็นที่คาดการณ์ว่าในหลายพื้นที่ปริมาณน้ำผิวดินจะแปรปรวนและคุณภาพของน้ำผิวดินจะเลวลงเพราะสภาวะแห้งแล้งและฝนตกรุนแรงที่เพิ่มความถี่ขึ้น (Kundzewicz et al. 2007) ในรายงานของ IPCC ชี้ชัดว่า ด้วยการบริหารจัดการน้ำผิวดินในปัจจุบันไม่เพียงพอที่จะลดผลกระทบด้านลบที่เกิดต่อความน่าเชื่อถือของน้ำประปาจากการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศได้

โดยทั่วไปผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อทรัพยากรแหล่งน้ำใต้ดินมีการศึกษาจำนวนมากและผลการศึกษาก็ยอมรับแล้ว แต่การศึกษาเกี่ยวกับน้ำใต้ดินค่อนข้างน้อยและจำกัด (IPCC 2001) ความสนใจหลักๆของงานวิจัยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่เกี่ยวกับน้ำใต้ดินคือการคาดการณ์และคำนวณผลกระทบทางตรงที่น่าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราฝนตกและรูปแบบของอุณหภูมิ (Yusoff et al. 2002; Loaiciga et al. 2000; Arnell 1998) การศึกษาเหล่านี้อาศัยแบบจำลองต่างๆ เช่น แบบจำลองสมดุลของน้ำและดิน (Kruger et al. 2001; Arnell 1998) แบบจำลองเชิงประจักษ์ (Chen et al. 2002) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Cooper et al. 1995) และแบบจำลองการกระจายแบบซับซ้อน (Croley and Luukkonen 2003; Kirshen 2002; Yusoff et al. 2002)

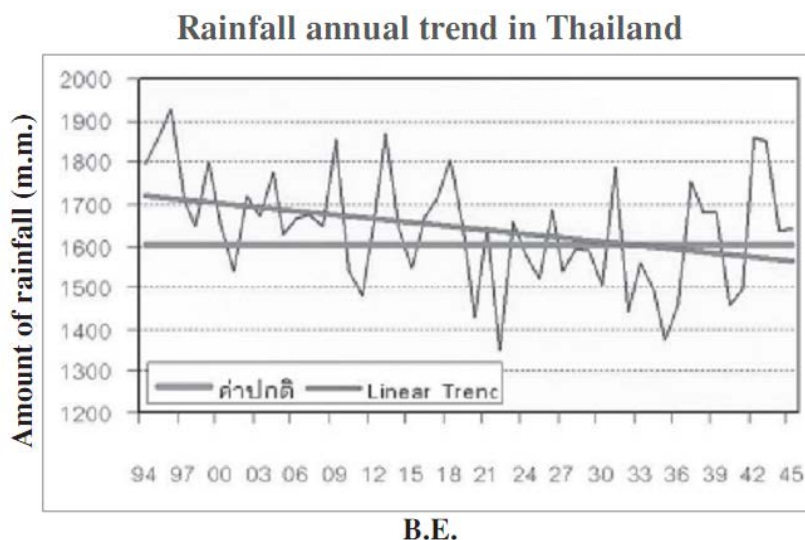
ปรากฏการณ์ความแห้งแล้งรุนแรงและฝนตกหนักซึ่งจะเกิดบ่อยขึ้นคาดว่าจะเกิดผลกระทบต่อระดับน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ ความแห้งแล้งส่งผลต่อระดับน้ำใต้ดินที่ลดลงทั้งจากปริมาณน้ำฝนที่ลดลงและอัตราการระเหยที่สูงขึ้นพร้อมกับความสามารถในการซึมลงใต้ดินที่ลดลงซึ่งสาเหตุเกิดจากการสูญเสียความชื้นของดินชั้นบน ในทางกลับกันฝนที่ตกรุนแรงขึ้นทำให้น้ำเติมลงสู่ชั้นอุ้มน้ำในพื้นที่สูงน้อยลงเนื่องจากน้ำฝนส่วนใหญ่ที่ตกสูญเสียไปในรูปของน้ำท่า ในขณะที่จำนวนครั้งของการเกิดน้ำท่วมบ่อยขึ้นส่งผลให้น้ำเติมลงสู่ชั้นอุ้มน้ำได้โดยเฉพาะในพื้นที่ราบลุ่มมากขึ้น

นอกจากนั้นแล้ว การเปลี่ยนแปลงพืชพันธุ์ในการเพาะปลูก เนื่องจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่เปลี่ยนไปจะส่งผลทั้งโดยตรงและทางอ้อมต่อน้ำเติมลงสู่ชั้นอุ้มน้ำ ยกตัวอย่างเช่น จำนวนป่าไม้ที่เพิ่มมากขึ้นบริเวณที่ราบสูงทิเบตจะส่งผลให้น้ำเติมลงสู่ชั้นอุ้มน้ำมากขึ้น ดังนั้นระดับน้ำในแม่น้ำด้านท้ายน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น (CSIRO 2006)

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจะส่งผลไม่เพียงแค่อุปทานน้ำที่ไหลเต็มเข้าและไหลออกจากระบบชั้นอุ้มน้ำ การเปลี่ยนแปลงยังมีอิทธิพลถึงคุณภาพของน้ำใต้ดินอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น น้ำที่เติมลงสู่ชั้นอุ้มน้ำในช่วงฤดูแล้งจะมีความเข้มข้นของเกลือและปริมาณของแข็งละลายน้ำสูงขึ้น ในขณะที่ในช่วงฤดูฝนความเข้มข้นของสารละลายจะต่ำ (Sukhija et al. 1998) อย่างไรก็ตาม การเก็บข้อมูลน้ำฝนและคุณภาพน้ำใต้ดินระยะยาวเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อเป็นตัวส่งสัญญาณเตือนถึงผลกระทบที่อาจเกิดตามมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

1.3.2 การสังเกตการณ์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ

จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย แนวโน้มของปริมาณฝนลดลง ในขณะเดียวกันมีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดที่เพิ่มสูงขึ้นระหว่างปี ค.ศ.1951-2002 ดังแสดงในภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 เส้นแนวโน้มฝนตกในประเทศไทย

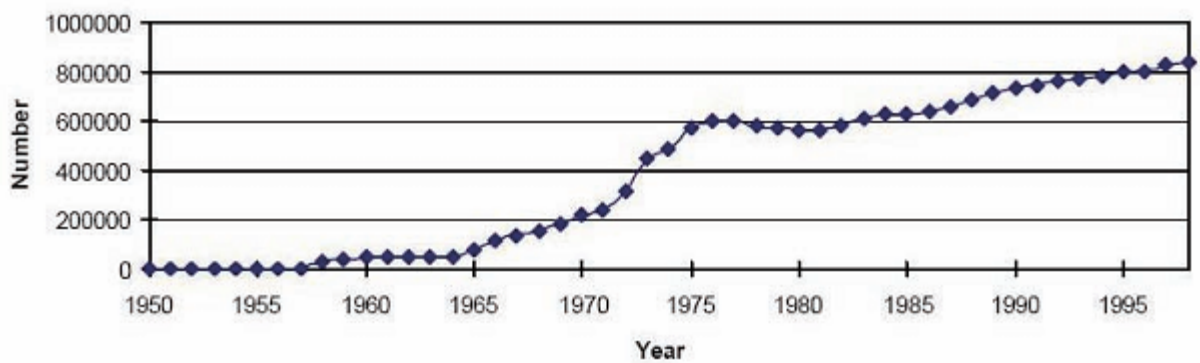
การฟอกขาวของปะการังเกิดขึ้นในประเทศไทยครั้งแรกในปี ค.ศ. 1979 แต่สามารถกลับคืนสู่สภาพปกติได้ในระยะเวลาต่อมา ต่อมางานวิจัยของ ดร.สุรพล สุดดารา นักวิทยาศาสตร์ด้านสมุทรศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยพบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นในเมษายน ค.ศ.1998 ส่งผลให้เกิดการฟอกขาวของปะการังอย่างกว้างขวางในอ่าวไทยจากจังหวัดนราธิวาสและตราดจนถึงชลบุรี แต่ยังไม่พบการฟอกขาวในฝั่งทะเลอันดามัน จากการตรวจวัดอุณหภูมิในทะเลฝั่งอ่าวไทยเพิ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิปกติ 28-29 องศาเซลเซียส เป็นสูงกว่า 32 องศาเซลเซียส เกาะสมุยมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 35 องศา

ระหว่างปีค.ศ. 2004-2006 ไทยได้พบกับความแห้งแล้งที่รุนแรง การผลิตข้าวของไทยในปี ค.ศ. 2005 น้อยลงกว่าในปีก่อน 11 ถึง 14% ในขณะที่ผลผลิตของอ้อยจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ หนึ่งในสาเหตุหลักคือความแห้งแล้งที่ยาวนานขึ้นที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ในขณะเดียวกันอีสเทิร์นซีบอร์ดประเทศไทย ซึ่งเป็นนิคมอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่สำคัญของประเทศเผชิญปัญหาการขาดแคลนน้ำ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงต่ำกว่าระดับเก็บกักต่ำสุด อุตสาหกรรมและชุมชนโดยรอบต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการจัดการน้ำและลดปริมาณการใช้น้ำเพื่อรองรับกับสถานการณ์ขาดแคลนน้ำที่เกิดขึ้น กรมชลประทานรายงานว่าพื้นที่ดังกล่าวมีช่วงปีแล้งติดต่อกันสองปีแทนที่จะเกิดปีแล้งสลับกับปีฝนชุกปีเว้นปี เพื่อให้อ่างเก็บน้ำมีการเติมน้ำในช่วงที่มีฝนตกเพื่อสำรองไว้ใช้ในยามจำเป็น แม้ว่าจะมีความพยายามจากรัฐบาลเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการผันน้ำเข้าสู่พื้นที่มาบตาพุด อุตสาหกรรมทั้งหมดต้องปรับเปลี่ยนแผนการผลิตเพื่อให้สามารถรอดพ้นจากวิกฤตสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ เป็นครั้งแรกในรอบ 20 ปีที่นิคมอุตสาหกรรมต้องเผชิญหน้ากับวิกฤตการณ์ขาดแคลนน้ำ

การทำความเข้าใจผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงต่อน้ำใต้ดินนั้นมีความซับซ้อนมากกว่าผลกระทบต่อน้ำผิวดินมาก (Holman 2006) น้ำใต้ดินมีอายุน้อยตั้งแต่ไม่กี่วันจนกระทั่งถึงหลายแสนปี น้ำใต้ดินมีความสามารถชะลอและกระจายผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศได้ แต่ในขณะเดียวกันก็เป็นการยากที่จะสังเกตและตรวจพบผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน (Chen et al. 2004) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กิจกรรมต่างๆของมนุษย์ เช่น การสูบน้ำใต้ดิน ก็ส่งผลกระทบต่อน้ำใต้ดินในช่วงอายุระดับเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งทำให้การแยกแยะระหว่างผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอากาศและกิจกรรมของมนุษย์ซับซ้อนขึ้นไปอีก (Hanson et al. 2004) ดังนั้น งานวิจัยจาก USGS ได้พยายามที่จะศึกษาสัญญาณการตอบสนองทางอุทกวิทยาและเคมีปฐพีของชั้นใต้ดินในช่วงคาบเวลาระหว่างปีและระหว่างทศวรรษ (Interannual to multidecadal time scales) เนื่องจากการผันแปรในช่วงระยะเวลาเช่นนี้จะมีนัยสำคัญต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำใต้ดินมากที่สุด (Hanson et al. 2004, 2006, 2009; Gurdak et al. 2007) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในขอบเขตระยะเวลาดังกล่าวได้รับผลกระทบของปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ENSO, PDO และ AMO และมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเติมน้ำลงใต้ดิน การระบายน้ำ และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินในชั้นอุ้มน้ำต่างๆโดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นอุ้มน้ำในบริเวณที่ราบสูงในประเทศสหรัฐอเมริกา (Gurdak et al. 2007; McMahon et al. 2007; Gurdak 2008; Gurdak et al. 2009; Handson et al. 2004, 2006) และชั้นอุ้มน้ำหลายๆแห่งบนเกาะในมหาสมุทรแอตแลนติก มหาสมุทรอินเดีย และมหาสมุทรแอตแลนติก (White et al. 2007)

น้ำใต้ดินถูกใช้ในการรองรับการเกษตรกรรมในประเทศต่างๆ เช่นอินเดีย ศรีลังกาตอนเหนือ แคว้นปันจาบ ปากีสถาน และที่ราบตอนเหนือของจีน ในอินเดีย น้ำใต้ดินเป็นน้ำใช้หลักทาง

การเกษตรโดยมากกว่า 60% ของน้ำใช้ด้านการเกษตรเป็นน้ำจากใต้ดิน ซึ่งคิดเป็นพื้นที่มากกว่า 50% ของพื้นที่ชลประทานทั้งหมด ในขณะเดียวกัน หลายๆจังหวัดในจีนต้องพึ่งน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำสำคัญเพื่อการเกษตรกรรมเช่นเดียวกัน (Ministry of Water Resources of China 2000) ความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรในปิ่นจาบปากีสถาน มากกว่า 40% มาจากน้ำใต้ดินและทำให้ปิ่นจาบเป็นแหล่งผลิตอาหารที่สำคัญของประเทศ (Qureshi and Barrett-Lennard 1998) การใช้น้ำเพื่อการเกษตรในประเทศเหล่านี้พึ่งพาน้ำบาดาลเป็นหลัก ดังนั้นจะเห็นได้ว่า จำนวนบ่อน้ำตื้นในหลายๆจังหวัดในจีนและปากีสถานเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังภาพที่ 1.3 แสดงจำนวนบ่อน้ำตื้นที่ได้ถูกพัฒนาเพิ่มขึ้นจำนวนมาก (Shah et al. 2001) ซึ่งการเพิ่มจำนวนของบ่อน้ำตื้นมีสาเหตุจากการที่เกษตรกรพึ่งพาน้ำใต้ดินมากขึ้น เพราะน้ำผิวดินมีความแปรปรวนจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ



ภาพที่ 1.3 จำนวนบ่อน้ำบาดาลระดับตื้นในจังหวัด Hebei ประเทศจีน

ปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาจะแปรปรวนตามกันโดยเป็นปรากฏการณ์ที่มีลักษณะตรงข้ามกันหรือเรียกว่า ENSO เอล นีโญ และลา นีญา ทั้ง 2 คำนี้เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างการหมุนเวียนของกระแสอากาศ และกระแสน้ำในมหาสมุทรทั้งบนผิวพื้นและใต้มหาสมุทร แต่เกิดจากภาวะโลกร้อนทำให้เกิดความผันผวนของกระแสอากาศโลกบริเวณเส้นศูนย์สูตรเหนือมหาสมุทรแปซิฟิก สำหรับปรากฏการณ์ ENSO ในมหาสมุทรแปซิฟิกซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศของประเทศไทย พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและลดลงในปีที่เกิดลานีญา (Limsakut and Goes 2008) และปริมาณฝนรวมรายปีจะลดลงในปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและปริมาณฝนเพิ่มขึ้นในปีที่เกิดลานีญา (Limsakul et al. 2007) นอกเหนือจากปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาในมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศไทยยังได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) ซึ่งเป็นความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เกิดในมหาสมุทรอินเดีย การเปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ทั้งสองเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำผิวดิน และแน่นอนแหล่งน้ำใต้ดินในประเทศไทย

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเพิ่มแรงกดดันต่อทรัพยากรแหล่งน้ำใต้ดินที่ตึงเครียดอยู่แล้ว นอกจากความถี่ของความรุนแรงต่างๆที่เพิ่มขึ้นและแนวโน้มที่เห็นได้ชัดอย่างระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มอื่นๆที่ไม่สามารถทำนายได้แต่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อโลกมนุษย์อาจเกิดขึ้นได้เสมอและไม่ควรถูกมองข้าม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศจะส่งผลกระทบต่อปริมาณและคุณภาพของน้ำใต้ดินเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่น้ำใต้ดินก็ได้กลายเป็น

ทรัพยากรแหล่งน้ำที่สำคัญและเชื่อถือได้มากกว่าน้ำผิวดิน การศึกษานี้จะศึกษาปรากฏการณ์เปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศเหล่านี้ ผลกระทบที่เกิดขึ้นพร้อมกับแสดงแนวโน้มที่คาดว่าจะเป็นไปได้ต่อน้ำใต้ดิน เพื่อกระตุ้นเตือนถึงความจำเป็นในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเตรียมความพร้อมการพัฒนาในด้านต่างๆ การบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การให้ความรู้เพื่อลดความอ่อนไหวที่คนจะได้รับจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

บทที่ 2

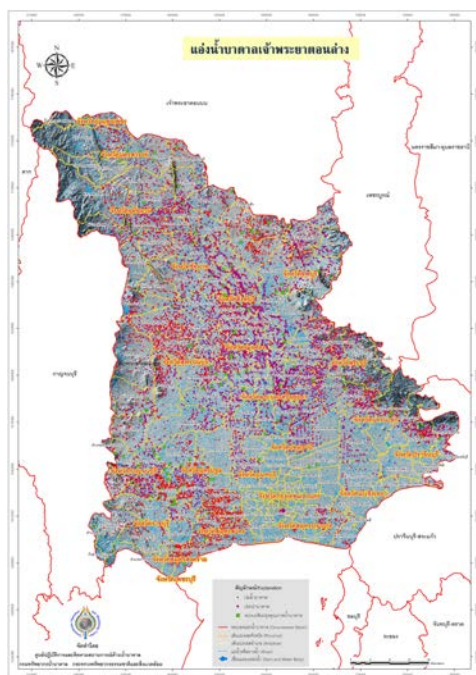
พื้นที่ศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นที่ศึกษา

บริเวณที่ราบลุ่มภาคกลาง ครอบคลุมพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนบนและตอนล่าง ประกอบด้วยแม่น้ำสายสำคัญ ที่พัดพาตะกอนมาสะสมตัวในพื้นที่ตอนล่างที่เคยอยู่ใต้ระดับน้ำทะเลมาก่อนกลายเป็นพื้นที่ราบกว้างใหญ่ใต้อะดับน้ำทะเล โดยบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างเป็นแหล่งน้ำบาดาลขนาดใหญ่ที่สุดและให้น้ำมากที่สุดของประเทศ แบ่งออกได้เป็น 2 บริเวณ คือ

1. แอ่งเจ้าพระยาบริเวณพื้นที่ราบตั้งแต่อำเภอนนทบุรี จังหวัดชัยนาทไปจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยา มีชั้นน้ำบาดาลอยู่แปดชั้นในแต่ละชั้นให้น้ำปริมาณมาก ความลึกรวมประมาณ 600 เมตร
2. ขอบแอ่งเจ้าพระยาด้านตะวันตกและด้านตะวันออก ขอบแอ่งเจ้าพระยาด้านตะวันตกคลุมพื้นที่ตั้งแต่จังหวัดอุทัยธานี สุพรรณบุรีด้านตะวันตกไปจนถึงนครปฐม ขอบแอ่งด้านตะวันออกคลุมพื้นที่จังหวัดลพบุรี สระบุรี นครนายก ปราจีนบุรี จนถึงฉะเชิงเทรา โดยบริเวณขอบแอ่งที่เป็นภูเขาจะให้ปริมาณน้ำบาดาลน้อย

พื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรปราการ สมุทรสาคร นครปฐม และพระนครศรีอยุธยา) รองรับด้วยชั้นน้ำบาดาลในแอ่งเจ้าพระยา (ภาพที่ 2.1) เป็นพื้นที่ที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วของประชากร พื้นที่เขตเมือง และการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งมีการขยายตัวของอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว เป็นเหตุให้เกิดการใช้น้ำบาดาลอย่างเป็นกระจุก เนื่องจากอุตสาหกรรมบางประเภทต้องการใช้น้ำบาดาลเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ซึ่งการใช้น้ำที่มีคลอรีนอาจทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการผลิตและส่งผลกระทบต่อ คุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เมื่อสังเกตจากปริมาณการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตามใบอนุญาตประกอบกิจการน้ำบาดาล จากสำนักควบคุมกิจการน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 จนถึงปัจจุบัน ช่วงปี พ.ศ. 2541-2544 มีการใช้น้ำบาดาลสูงที่สุด กล่าวคือ ปริมาณการใช้น้ำบาดาลมากกว่า 2.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีแนวโน้มการใช้น้ำบาดาลลดลงช่วงปี พ.ศ. 2545 จนถึงปัจจุบัน เนื่องจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาลได้ดำเนินมาตรการต่างๆ เพื่อแก้ไขและป้องกันการเกิดวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุด ประกอบด้วย มาตรการกำหนดเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดและมาตรการเก็บ ค่าใช้น้ำบาดาลและค่าอนุรักษ์น้ำบาดาล ในปลายปี พ.ศ. 2546



ภาพที่ 2.1 พื้นที่แอ่งน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

2.1.1 ที่ตั้ง ขนาด และอาณาเขต

7 จังหวัดพื้นที่วิกฤตน้ำบาดาล (ภาพที่ 2.2) เป็นจังหวัดที่อยู่ในภาคกลางตอนล่างของประเทศไทย โดยล้วนเป็นจังหวัดที่มีประชากรอาศัยอย่างหนาแน่น ประกอบไปด้วย กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ นนทบุรี ปทุมธานี นครปฐม อุทัย และสมุทรสาคร ซึ่งทั้ง 7 จังหวัด เป็นพื้นที่มีเขตแบ่งติดต่อกัน โดยมีพื้นที่ศึกษาโดยรวม 10,018.3027 ตารางกิโลเมตร แบ่งเป็น กรุงเทพมหานคร 1,568.7377 ตารางกิโลเมตร นนทบุรี 622.303 ตารางกิโลเมตร สมุทรปราการ 1,004.092 ตารางกิโลเมตร สมุทรสาคร 872.347 ตารางกิโลเมตร นครปฐม 2,168.327 ตารางกิโลเมตร พระนครศรีอยุธยา 2,556.640 ตารางกิโลเมตร และปทุมธานี 1,525.856 ตารางกิโลเมตร



ภาพที่ 2.2 รูปพื้นที่ศึกษาทั้ง 7 จังหวัด

2.1.2 ลักษณะภูมิประเทศ

7 จังหวัดเขตวิฤตน้ำบาดาลที่ทำการศึกษาล้วนเป็นพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างทั้งสิ้น เป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ เหมาะแก่การเพาะปลูก กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม(2548) ได้ทำเผยแพร่ข้อมูลที่ราบลุ่มภาคกลางว่า ขอบเขตของบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างครอบคลุมพื้นที่ตอนล่างของจังหวัดนครสวรรค์ ตั้งแต่บริเวณปากน้ำโพเรื่อยลงมาจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดสมุทรปราการ ระดับความสูงของบริเวณนี้ต่ำกว่าที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน และแตกต่างกันไป ในแต่ละท้องที่ เช่น ขอบตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยา ในเขตจังหวัดนครสวรรค์ ชัยนาท สิงห์บุรี มีความสูงเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร จาก ระดับน้ำทะเลปานกลาง จากนั้นระดับความสูงจะค่อยๆ ลดลงจนถึงบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งมีความสูงเฉลี่ย 2.5 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างบริเวณที่อยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยาจะเห็นร่องรอยของการเคลื่อนที่ของแม่น้ำสายนี้จากลักษณะของทะเลสาบรูปแอก (oxbow lake) และรอยทางน้ำโค้งตัว (meander scar) ตั้งแต่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ลงมาจนถึงกรุงเทพมหานคร ซึ่งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 21 กิโลเมตร มีระดับความสูงโดยเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยทั่วไปบริเวณนี้มีลักษณะแบนราบแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างเกิดจากการไหลบ่าเข้ามาของทะเลโบราณ แล้วถอยร่นออกไปในช่วงเวลา ต่อมา จากหลักฐานของชนิดตะกอนที่มาสะสมตัวและลักษณะภูมิประเทศพบว่าในที่ราบนี้ยังประกอบไปด้วยที่ลุ่มชื้นแฉะ (marsh) ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (tidal flat) ดินดอนสามเหลี่ยม (delta) เช่น ที่จังหวัดนครปฐม และทางทิศใต้ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา หาดทราย (beach) และสันดอนทราย (sand bar)ซึ่งส่วนใหญ่จะพบเห็นได้เด่นชัดในบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยาและบางบริเวณของกรุงเทพมหานคร

2.1.3 ด้านการเกษตรและชลประทาน

มีพื้นที่โดยรวมประมาณ 2,948,396 ไร่ โดยแบ่งเป็นกรุงเทพมหานคร 115,486 ไร่ สมุทรปราการ 202,255 ไร่(ข้อมูลจังหวัดสมุทรปราการ เป็นพื้นที่ของปี 2548-2549) นนทบุรี 176,303 ไร่ ปทุมธานี 470,802 ไร่ นครปฐม 727,336 ไร่ อยุธยา 1,112,353 ไร่ และสมุทรสาคร 143,861 ไร่ โดยการเกษตรที่สำคัญคือข้าว และพืชผัก นอกจากนี้ยังมีการปศุสัตว์และการประมง

มีพื้นที่ชลประทาน 5,061,729 ไร่ แบ่งเป็น กรุงเทพมหานคร 467,900 ไร่ สมุทรปราการ 556,400 ไร่(ข้อมูลจังหวัดสมุทรปราการ เป็นพื้นที่ของปี 2548-2549) นนทบุรี 229,790 ไร่ ปทุมธานี 688,485 ไร่ นครปฐม 1,070,354 ไร่ อยุธยา 1,296,800 ไร่ และสมุทรสาคร 195,600 ไร่

2.1.4 เขตการปกครอง และจำนวนประชากร

แต่ละจังหวัดจะแบ่งการปกครองส่วนภูมิภาคโดยการแบ่งเป็นจังหวัด แต่ละจังหวัดจะถูกปกครองย่อยเป็นอำเภอ ในพื้นที่ 7 จังหวัดเขตวิฤตการณ์น้ำบาดาลมีอำเภอรวมทั้งสิ้น 45 อำเภอ แต่กรุงเทพมหานครเป็นการปกครองส่วนท้องถิ่นพิเศษ ที่ไม่ได้ถูกเรียกเป็นจังหวัดแบ่งการปกครองเป็น 50 เขต

มีประชากรโดยรวม 10,376,938 คน โดยแบ่งเป็น กรุงเทพมหานคร 5,634,132คน นครปฐม 798,016คน นนทบุรี 942,292คน ปทุมธานี 769,998คน พระนครศรีอยุธยา 740,397คน สมุทรปราการ 1,049,416คน สมุทรสาคร 442,687 คน(จำนวนประชากรในประเทศไทย ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2547ที่มา : สำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง)

2.1.5 อุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมสำหรับพื้นที่นี้เจริญเติบโตตามเศรษฐกิจ จนบางพื้นที่เป็นแหล่งรายได้หลักของจังหวัด มีการทำอุตสาหกรรมที่ปะปนกันไป ไม่เพียงกระจุกอยู่ที่อุตสาหกรรมชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น ในจังหวัดนครปฐม การอุตสาหกรรมเป็นสาขาที่ทำรายได้เข้าสู่จังหวัดนครปฐมมากที่สุด อุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนการลงทุนมากที่สุด คือ อุตสาหกรรมการบริการ รองลงมาคือ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม และอุตสาหกรรมเคมีและพลาสติก ตามลำดับ ส่วนอุตสาหกรรมที่มีสัดส่วนการลงทุนน้อยที่สุด คือ อุตสาหกรรมแปรรูปไม้ และอุตสาหกรรมก่อสร้างตามลำดับ

จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเขต 2 ของกรมส่งเสริมการลงทุน มีนิคมอุตสาหกรรม 3 แห่ง ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน นิคมอุตสาหกรรมบ้านหว้า(ไฮเทค) และนิคมอุตสาหกรรมสหรัตนนคร และมีเขตประกอบการอุตสาหกรรม 2 แห่ง ได้แก่ เขตประกอบการอุตสาหกรรมแพคตอรี่แลนด์วังน้อย และเขตประกอบการอุตสาหกรรม บริษัท สวนอุตสาหกรรมโรจนะ จำกัด (มหาชน) มีโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้รับอนุญาตประกอบกิจการในปีงบประมาณ 2553 (ณ ธันวาคม 2552) จำนวน 1,848 โรงงาน โดยเป็นโรงงานที่อยู่ในเขตนิคมจำนวน 538 โรงงาน และเป็นโรงงานที่อยู่นอกนิคม 1,310 โรงงาน

จังหวัดสมุทรสาคร มีนิคมอุตสาหกรรม 1 แห่ง ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมสมุทรสาครมีจำนวนโรงงานทั้งหมด 105 โรง และยังเป็นพื้นที่ทำการประมงเป็นจำนวนมาก ดังนั้นอุตสาหกรรมอาหารทะเล ก็จะเป็นอุตสาหกรรมหลัก

จังหวัดสมุทรปราการ มีนิคมอุตสาหกรรม 1 แห่ง ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมบางปูมีจำนวนโรงงานทั้งหมด 390 โรงงาน

กรุงเทพมหานคร มีนิคมอุตสาหกรรมจำนวน 4 แห่ง ได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมบางชัน นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง นิคมอุตสาหกรรมบางพลี นิคมอุตสาหกรรมอัญธานี

2.1.6 อุทกธรณีวิทยา

ในแต่ละพื้นที่มีคุณลักษณะหินที่ส่งผลต่อแหล่งกักเก็บน้ำบาดาลแตกต่างกันไป ในพื้นที่ภาคกลางตอนล่างจะมีลักษณะชั้นหินเป็นกรวดทรายแยกกันอยู่หลาย ๆ ชั้น มีชั้นกรวดทรายที่มีน้ำคุณภาพดีเท่าที่พบแล้ว จำนวน 7 ชั้น แต่ละชั้นหนาประมาณ 50 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของการซึมได้ของกรวดทรายชุดนี้บริเวณกรุงเทพมหานคร อยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย 55 – 80 เมตรต่อวัน ตะกอนน้ำพาดังกล่าวมีคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการตกตะกอนและขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่สะสมวางตัวอยู่ด้วย ในพื้นที่ที่อยู่ติดกับทะเล พื้นที่บางส่วนจะถูกน้ำทะเลท่วมถึง ทำให้น้ำทะเลแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างของตะกอนหรือไปแทนที่น้ำจืด เป็นเหตุให้น้ำบาดาลคุณภาพที่ดีมีอยู่เดิมมี

คุณภาพกร่อยหรือเค็ม หรือในกรณีพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตะกอนน้ำพาบางส่วนจะวางตัวอยู่บนชั้นหินเกลือ ทำให้ได้รับอิทธิพลของน้ำเกลือที่ไหลซึมเข้ามา จนเป็นเหตุให้น้ำบาดาลในชั้นตะกอนมีคุณภาพกร่อยหรือเค็ม

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวโดยสรุปเกี่ยวกับการทบทวนวรรณกรรมที่ได้จากการศึกษาตำรา เอกสาร ข้อมูล และงานวิจัย ซึ่งจะประกอบไปด้วยการจำลองแนวโน้มการใช้น้ำบาดาล ผลกระทบจากการใช้น้ำบาดาล มาตรการการจัดการน้ำบาดาล เป็นต้น

2.2.1 สถานการณ์การใช้น้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง (เมษายน 2549)

- เป็นรายงานเพื่อศึกษาถึงการขยายตัวจำนวนบ่อของน้ำบาดาลในแต่ละปี จำแนกตามหน่วยงานต่างๆ ของภาครัฐและเอกชน เช่น จำนวนของบ่อบาดาลที่อยู่ในความดูแลรับผิดชอบของ กรมทรัพยากรธรณี กรมชลประทาน กรมเร่งรัดพัฒนาชนบท กรมโยธาธิการ กรมอนามัย การประปาส่วนภูมิภาค เพื่อให้ทราบถึงอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นของบ่อน้ำบาดาลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2506 - 2544

- ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหาระดับน้ำบาดาลในแต่ละบ่อตัวอย่างในพื้นที่ที่ศึกษาจำนวน 136 บ่อ โดยได้ข้อมูลจากฐานข้อมูล บ่อบาดาลของหน่วยงานราชการ และจัดทำโครงข่ายหรือเส้นระดับน้ำใต้ดินได้ ซึ่งจากการสำรวจจะมีช่วงฤดูฝน ฤดูแล้ง เข้ามามีผลต่อระดับน้ำใต้ดิน และฝนมีผลเช่นเดียวกัน

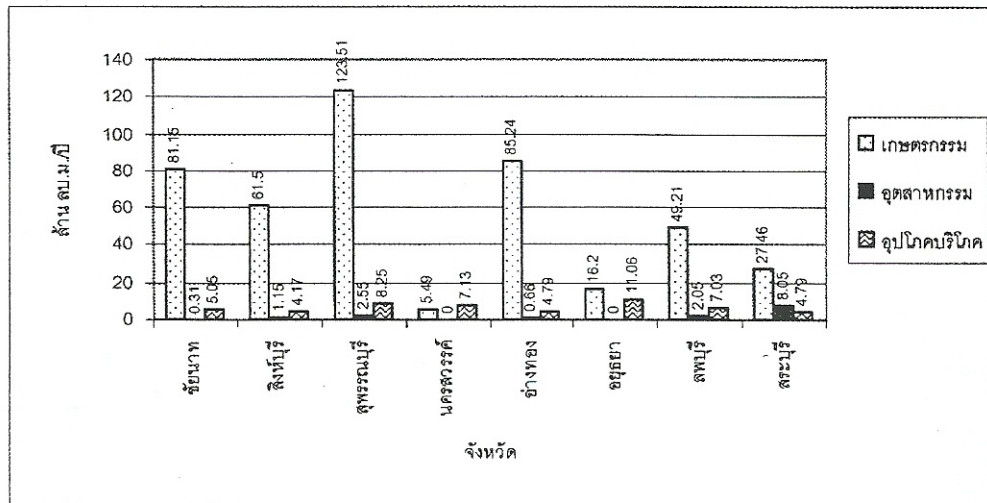
- ศึกษาการใช้น้ำบาดาลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) ภาคอุปโภคบริโภค 2) อุตสาหกรรม 3) เกษตรกรรม โดยแยกออกเป็นแต่ละจังหวัดในพื้นที่ศึกษาและสรุปผลเป็นกราฟแผนภูมิแท่งในแต่ละปี ตั้งแต่ปี 2542-2545

2.2.2 การจัดการน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง (สุจิต คุณธนกุลวงศ์ และคณะ, 2546)

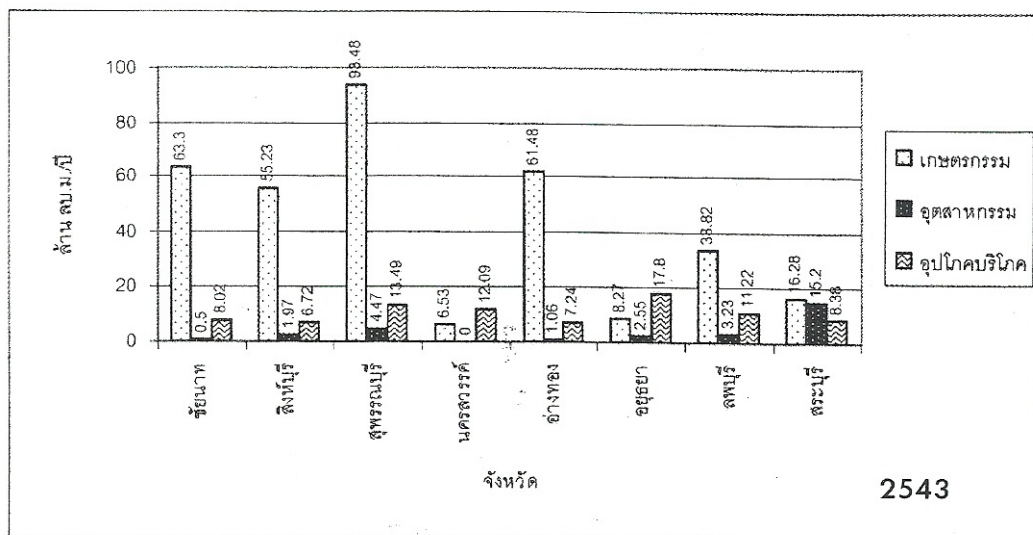
- เป็นโครงการศึกษาศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดินเพื่อจัดการเนื่องจากเมื่อเทียบสัดส่วนแล้ว น้ำที่ใช้อุปโภคมีประมาณ 1-3% น้ำที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม 0.5-2% แต่ในภาคเกษตรใช้น้ำสูงถึง 95-98% จากน้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา 8,000-10,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ทั้งที่ความต้องการน้ำสูงถึง 8,700 ล้านลูกบาศก์เมตร แต่กรมชลประทานจัดสรรน้ำได้เพียง 6,000-9,000 ล้านลูกบาศก์เมตร แสดงว่าภาวะขาดแคลนน้ำทำให้ภาคเกษตรต้องหันไปใช้น้ำแหล่งอื่น เช่น น้ำสระ คลองระบายน้ำ และน้ำบาดาล

- ศึกษาการใช้น้ำแยกตามวัตถุประสงค์ คือ การใช้น้ำเพื่อการเกษตร อุตสาหกรรมและอุปโภคบริโภค สำหรับจังหวัด ชัยนาท สิงห์บุรี สุพรรณบุรี นครสวรรค์ อ่างทอง อยุธยา ลพบุรี และสระบุรี ตั้งแต่ปี 2542-2545 ดังภาพที่ 2.3 ถึง 2-6

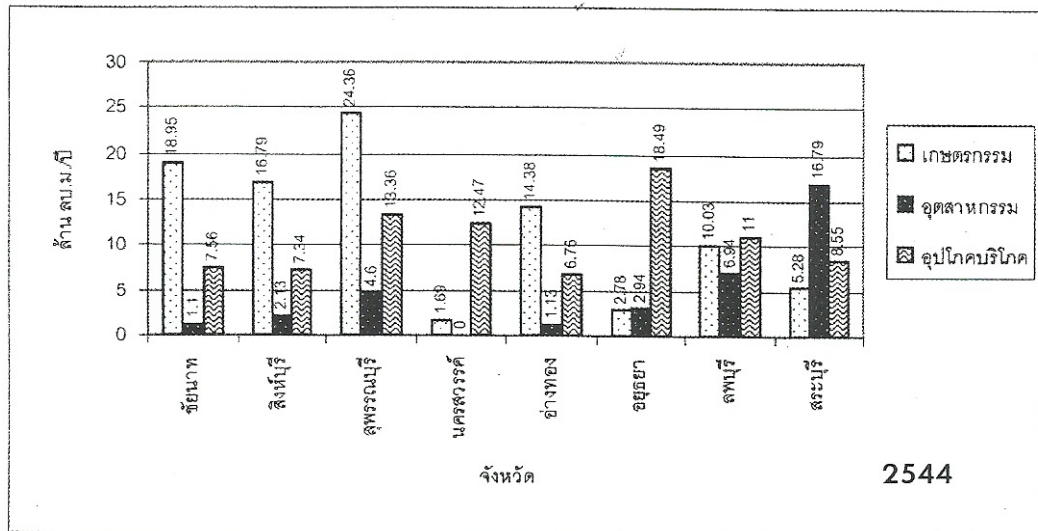
- น้ำบาดาลเป็นทางเลือกที่เกษตรกรนิยมใช้ แม้ว่าจะทำให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำมากและใช้น้ำบาดาลประมาณปีละ 600-800 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่วนผลให้ระดับน้ำบาดาลมีการแกว่งตัวตามฤดูกาล และในปีแล้วโดยก่อนปี 2530 ระดับน้ำบาดาลลดลง 0-2 เมตร จากเดิม แต่ 2536-2537 เป็นปีที่ระดับน้ำลดลงประมาณ 2-4 เมตร และคาดว่าในปี 2561 ปริมาณความต้องการใช้น้ำจะเพิ่มขึ้น ภายใต้เงื่อนไขหาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำและปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาในอนาคตจะเพิ่มในอีก 17% ในปี 2561



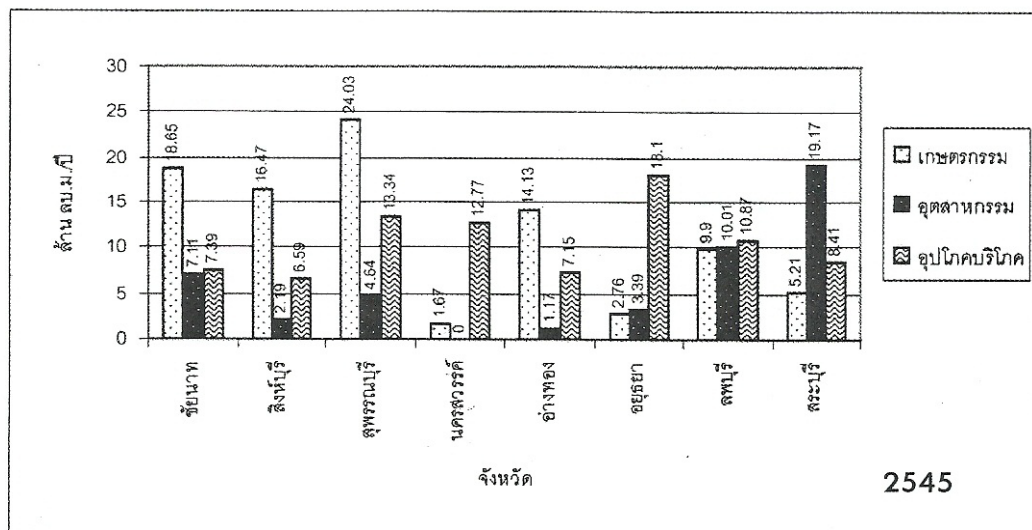
ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงปริมาณการใช้น้ำตามวัตถุประสงค์ ปี 2542



ภาพที่ 2.4 ปริมาณการใช้น้ำบาดาลจำแนกตามวัตถุประสงค์ ปี 2543



ภาพที่ 2.5 ปริมาณการใช้น้ำบาดาลจำแนกตามวัตถุประสงค์ ปี 2544



ภาพที่ 2.6 ปริมาณการใช้น้ำบาดาลจำแนกตามวัตถุประสงค์ ปี 2545

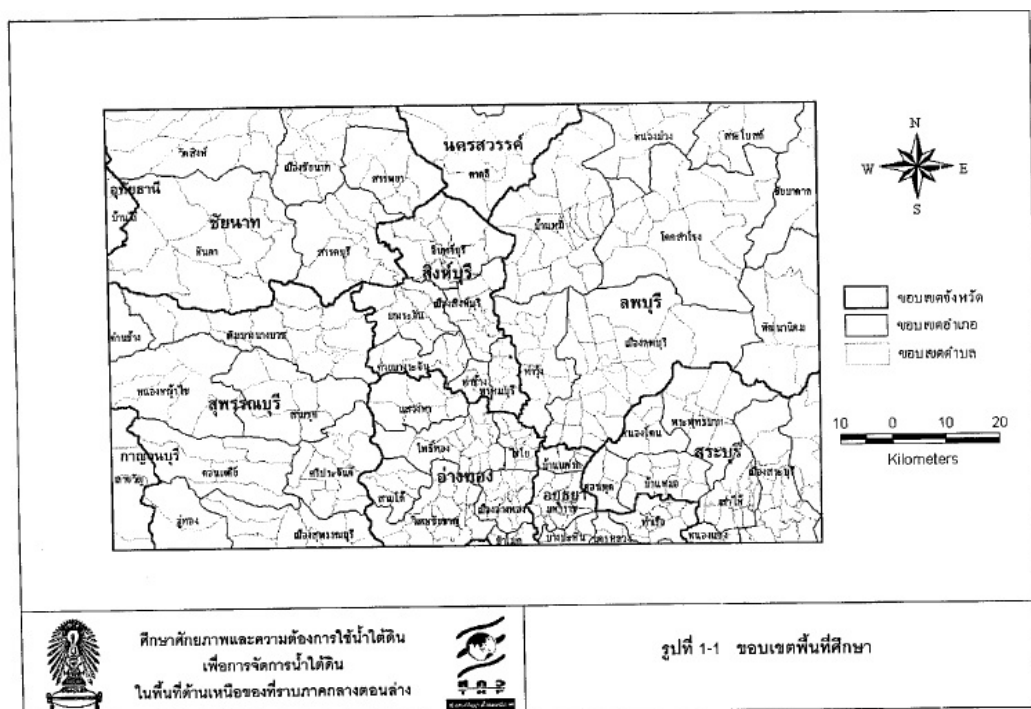
2.2.3 รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ “การศึกษาศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดิน เพื่อการจัดการน้ำใต้ดิน ในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง” (สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และคณะ 2543)

- เป็นการศึกษาทบทวนสถานการณ์การใช้น้ำใต้ดินในปัจจุบัน การพัฒนาแบบจำลองน้ำบาดาลและความต้องการการใช้น้ำ การศึกษาหาศักยภาพการพัฒนาใช้น้ำบาดาลและความต้องการการใช้น้ำบาดาล

- ผลการศึกษาพบว่า น้ำบาดาลแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้น และชั้นที่ถูกใช้ไปมากคือ ชั้นที่ 1 และ 2 มีการแกว่งตามฤดูกาลและฤดูแล้ง ในการศึกษาพบว่า ก่อนปี 2530 ระดับน้ำในชั้นที่ 1 ลดลง 0-2m แต่ในปี 2536-2537 ลดลงถึง 2-4 m เนื่องจากเป็นปีแล้ง

- ผลทางด้านความต้องการการใช้น้ำ พบว่า มีความต้องการใช้น้ำรวม 10982 ล้าน ลบ.ม. เป็นภาคเกษตรกรรมถึง ร้อยละ 95-98 ในอนาคต ปี 2561 อาจมีความต้องการการใช้น้ำสูงถึง 12801 ล้าน ลบ.ม. หรือ เพิ่มขึ้นถึง 17% ในขณะที่ผลทางด้านการจัดหาน้ำผิวดิน ช่วงปี 2534-2541 พบว่า มีการใช้น้ำรวมเฉลี่ย 8700 ล้าน ลบ.ม. และในอนาคตอาจเพิ่มถึง 12801 ลบ.ม.

- โครงการศึกษานี้ใช้ระยะเวลา 2 ปี ตั้งแต่เดือน มีนาคม 2543 ถึง เดือนพฤษภาคม 2545 พื้นที่ศึกษาคือ ด้านเหนือพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยาตอนล่างโดยพิจารณาจากสภาพอุทกธรณีวิทยาของชั้นน้ำบาดาล มีพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 11278 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมจังหวัดกาญจนบุรี ชัยนาท นครสวรรค์ พระนครศรีอยุธยา ลพบุรี สิงห์บุรี สุพรรณบุรี อ่างทอง และอุทัยธานี โดยพื้นที่ศึกษาไม่ได้ครอบคลุมทั้งจังหวัด ซึ่งได้แสดงสัดส่วนของพื้นที่ศึกษาต่อพื้นที่ทั้งจังหวัด ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 พื้นที่การศึกษา

- แนวทางการศึกษา (ภาพที่ 2-8) ได้กำหนดแนวทางการศึกษาในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องร่วมกันในลักษณะสหสาขา (Multidisciplinary Study) เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจภาพโดยรวม ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาด้านต่างๆ ดังนี้

1. การศึกษาด้านธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยา เป็นการรวบรวมข้อมูลธรณีวิทยาเพื่อดูลักษณะของชั้นน้ำและพื้นที่ศักยภาพการเติมน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ ยังได้รวบรวมข้อมูลด้านธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา และข้อมูลบ่อน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษาจากหน่วยงานต่างๆ ร่วมกับการสำรวจข้อมูลภาคสนาม การเจาะบ่อสำรวจ จำนวน 1 บ่อ และสุบทดสอบปริมาณน้ำ คุณสมบัติของชั้นน้ำ การสำรวจและเก็บตัวอย่างน้ำบาดาล และการแบ่งชั้นน้ำและคุณสมบัติของชั้นน้ำให้ชัดเจนขึ้นในลักษณะ 3 มิติ

ตลอดจนการแผ่ขยายในแนวนอน ข้อมูลแบบจำลองทางอุทกวิทยาส่งให้การศึกษาด้านน้ำบาดาลทำการจำลองด้านอุทกวิทยาต่อไป

2. การศึกษาด้านความต้องการใช้น้ำ เป็นการพัฒนาแบบจำลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม กับความต้องการใช้น้ำภาคต่างๆคือ การอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรม และการเกษตรกรรม โดยการศึกษาความต้องการใช้น้ำ แบ่งลักษณะได้ 3 ประเภท คือ

2.1 การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคศึกษาจากข้อมูลของการประปาส่วนภูมิภาค การประปาเทศบาล และข้อมูลแบบสอบถามการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค มาหาความสัมพันธ์กับจำนวนประชากรจากการเติบโตของประชากรในแต่ละพื้นที่สามารถประมาณการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภคโดยรวมได้

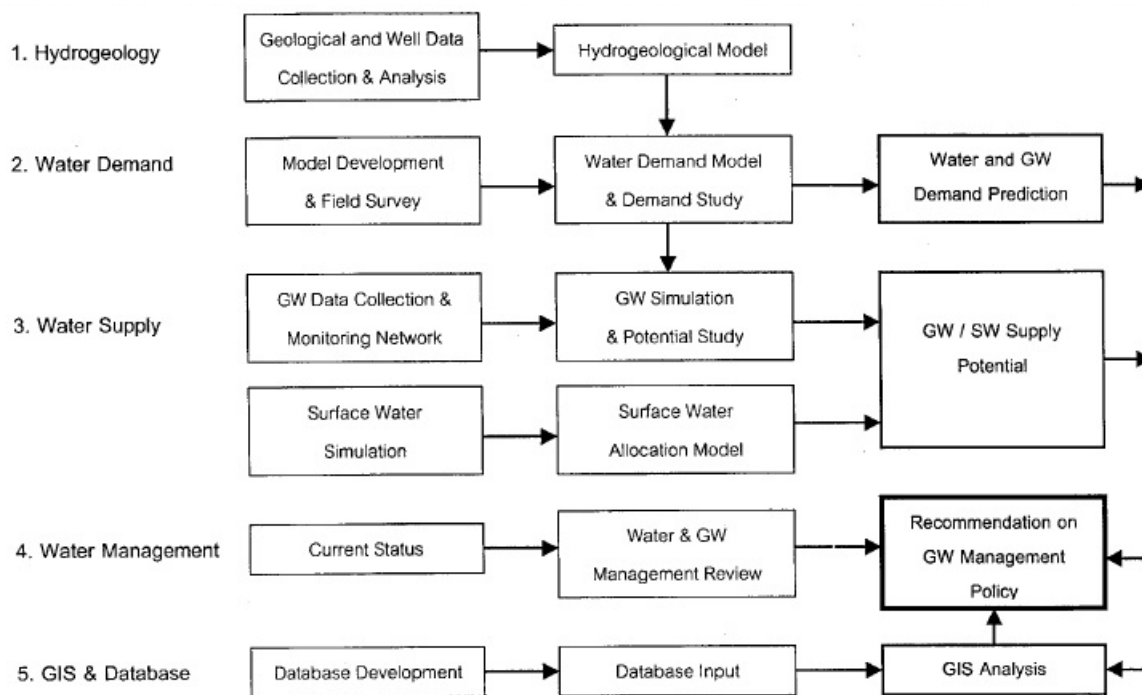
2.2 การใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม ศึกษาข้อมูลกิจกรรมเศรษฐกิจภาคอุตสาหกรรม ร่วมกับการออกสำรวจหาสภาพการใช้น้ำอุตสาหกรรมมาหาความสัมพันธ์ จากข้อมูลการพยากรณ์การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจการเติบโตภาคอุตสาหกรรม และการสำรวจภาคสนามทำให้ประมาณการความต้องการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรมได้

2.3 การใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมทางเศรษฐกิจของภาคเกษตรกรรม โดยเฉพาะพืชที่สำคัญที่เพาะปลูกในพื้นที่ศึกษา ร่วมกับการออกสำรวจหาสภาพการใช้น้ำเกษตรกรรม โดยเชื่อมโยงกับอุปสงค์ของพืชจากต่างประเทศ (การส่งออก) ภาวะการผลิตในประเทศ ภาวะต้นทุนการผลิต พื้นที่เพาะปลูก ระดับราคา ตลอดจนศักยภาพและข้อจำกัดในเชิงกายภาพของปริมาณน้ำที่มีอยู่ ทำให้สามารถพยากรณ์ความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม และความต้องการใช้น้ำที่เป็นไปได้

3. การศึกษาด้านจัดหา เป็นการศึกษาเพื่อหาว่าชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามีศักยภาพให้น้ำมากน้อยเพียงใด คุณภาพน้ำเป็นอย่างไร และมีแนวโน้มของระดับน้ำเป็นอย่างไรบ้าง แต่เนื่องจากการศึกษาด้านการจัดหาน้ำ จำเป็นต้องศึกษาร่วมกับการจัดหาน้ำผิวดินประกอบไปด้วย การศึกษาด้านนี้จึงแบ่งกลุ่มทำงานเป็น 3-ด้านคือ การศึกษาด้านน้ำบาดาล การศึกษาด้านน้ำผิวดิน และการศึกษาด้านคุณภาพน้ำ

4. การศึกษาด้านการจัดการน้ำบาดาล เป็นการรวบรวมสถานภาพในปัจจุบันทางด้านองค์กร กฎหมาย ระเบียบและการศึกษาต่างๆที่เกี่ยวข้อง วิเคราะห์การจัดการปัญหาน้ำในปัจจุบัน และของประเทศต่างๆ และนำเสนอกลยุทธ์ในอนาคตการจัดการต่อปัญหาการขาดแคลนน้ำที่เป็นผลจากการศึกษาในหัวข้อที่ 2 และ 3 นอกจากนี้ได้ออกแบบสอบถามและจัดประชุมระดมความคิดเห็นของเกษตรกรเจ้าหน้าที่ องค์การบริหารส่วนตำบลและเจ้าหน้าที่โครงการชลประทาน เพื่อรับฟังความคิดเห็นต่อแนวทางการจัดการน้ำในอนาคต

5. การศึกษาด้าน GIS และ Database เนื่องจากข้อมูลทางด้านน้ำบาดาลมีจำนวนมาก และกระจัดกระจายอยู่หลายหน่วย การใช้ข้อมูล GIS มาวิเคราะห์ร่วมกับผลการศึกษาอื่น ๆ รวมทั้งผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองน้ำบาดาล



ภาพที่ 2.8 แผนภาพแสดงแนวทางการศึกษา

2.2.4 สุจริต คูณธนกุลวงศ์ และคณะ (2546) รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการ “ติดตามข้อมูลน้ำบาดาลสำหรับพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง และพัฒนาระบบเชื่อมโยงข้อมูลของแบบจำลองน้ำบาดาล”

- เพื่อเป็นการศึกษาความต้องการใช้น้ำใต้ดินในเขตของพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง และติดตามสภาพระดับน้ำ และการใช้น้ำอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการใช้ GIS ประยุกต์ทำงานวิจัย

- ผลการศึกษาพบว่าสามารถแบ่งชั้นน้ำบาดาลได้เป็น 4 ชั้น และมีการใช้น้ำบาดาลมากในชั้นที่ 1 และ 2 ในปีที่ผ่านมามีการใช้ประมาณปีละ 600-800 ล้าน ลบ.ม. น้ำบาดาลส่วนที่ปลอดภัยมีอยู่ถึง 755 ล้าน ลบ.ม.

- ปริมาณน้ำที่สามารถยอมให้สูบได้สูงสุด 1000 ล้าน ลบ.ม. และพบว่าการเติมน้ำลงสู่แอ่งน้ำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการบริหารต้นทุนน้ำบาดาล

- เขตพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่ติดตามระดับน้ำ การใช้น้ำบาดาล และพัฒนาระบบเชื่อมโยงข้อมูล ได้แก่ พื้นที่ด้านเหนือของกลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งครอบคลุม 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสิงห์บุรี อ่างทอง ชัยนาท ลพบุรี สระบุรี สุพรรณบุรี และพระนครศรีอยุธยา ในขณะที่พื้นที่โครงการ คือพื้นที่ทดลองนำผลวิจัยไปประยุกต์ใช้ ได้แก่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา ชัยนาท ซึ่งครอบคลุม 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสิงห์บุรี อ่างทอง ชัยนาท สุพรรณบุรี และพระนครศรีอยุธยา

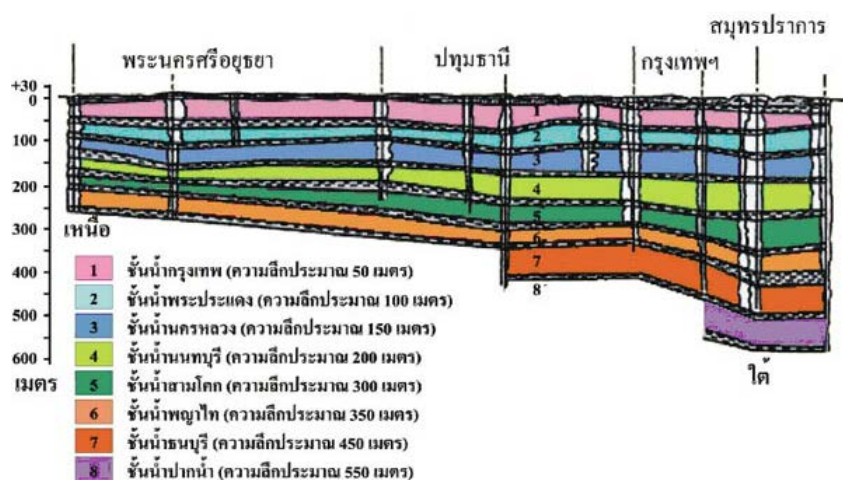
2.2.5 โครงการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในกรุงเทพฯและปริมณฑล ,สถานการณ์น้ำบาดาลในเขตกรุงเทพและปริมณฑล (กรมทรัพยากรธรณี, 2543) และ โครงการ

สำรวจและศึกษาการทรุดตัวของแผ่นดินอย่างเป็นระบบในเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2554)

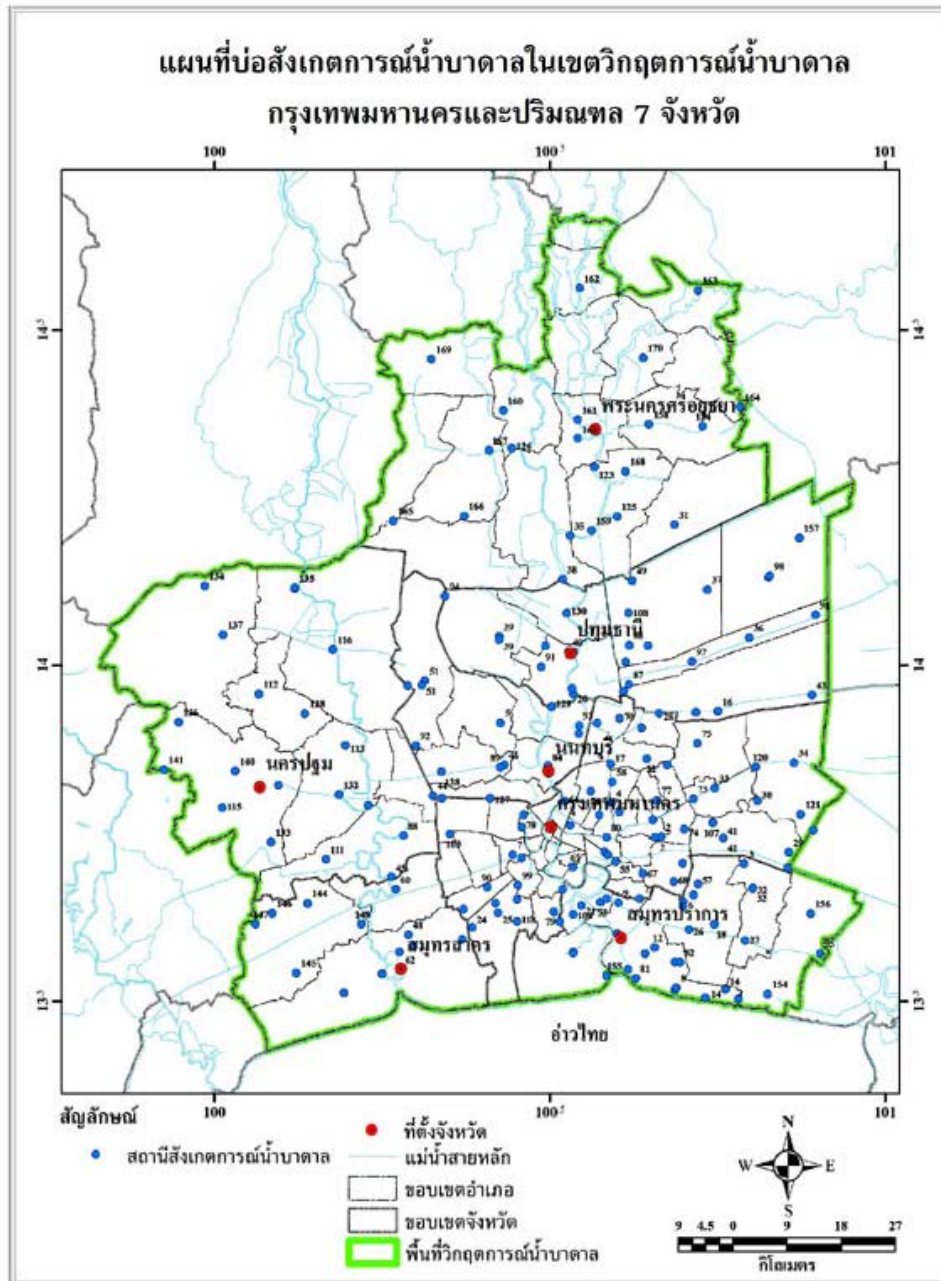
- ชั้นน้ำบาดาลบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาสามารถแบ่งออกเป็น 8 ชั้น ตามลำดับความลึก โดยแต่ละชั้นจะมีคุณภาพ และความลึกที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 2-9)

- ด้วยน้ำบาดาลในเขตพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล เป็นแหล่งน้ำบาดาลที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ และมีคุณภาพดี จึงมีการดึงน้ำบาดาลไปใช้กันเป็นจำนวนมาก ทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลง เกิดปัญหาน้ำเค็มเข้าแทรก สภาพน้ำไม่ได้คุณภาพ ผลกระทบทางเศรษฐกิจ และแผ่นดินทรุด (ภาพที่ 2.10 ถึง 2.13

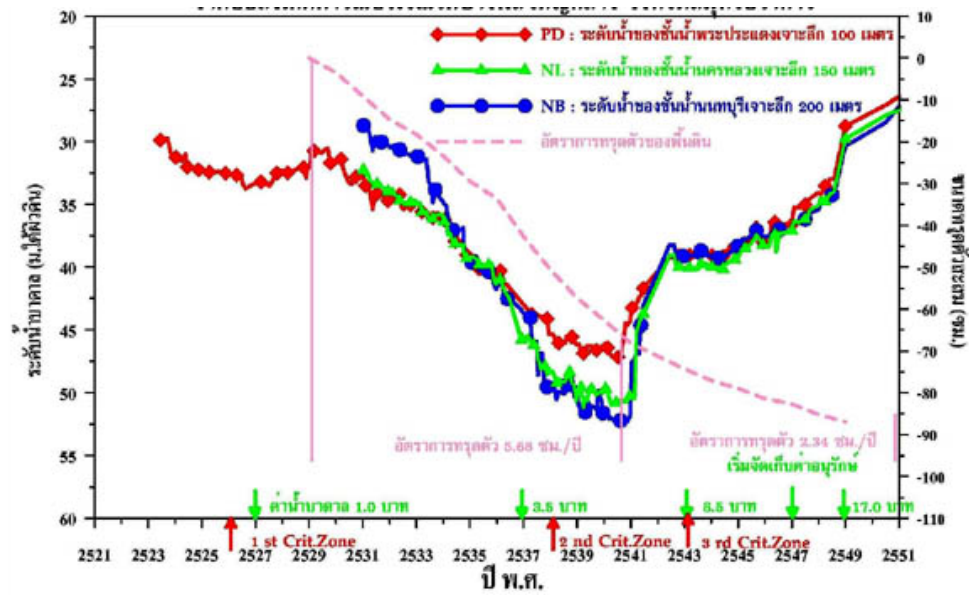
- ในการใช้น้ำบาดาลมากๆ ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมาจึงมีการใช้ข้อบังคับในพื้นที่วิกฤตต่างๆ เช่น กรุงเทพฯ สมุทรปราการ โดยให้มีการจ่ายค่าน้ำบาดาล การห้ามใช้ และวิธีการอื่นๆ ทำให้มีการเพิ่มขึ้นและพื้นตัวของน้ำบาดาล สาเหตุของความเค็มไม่ได้มีเพียงแค่สูบน้ำบาดาลไปใช้มากเพียงอย่างเดียว แต่รวมถึงรอยร้าวระหว่างชั้นที่มีน้ำเค็มอยู่แล้วกับน้ำจืด หรือการรั่วซึมของบ่อบาดาลที่เจาะแล้วไม่มีการอุดรอยรื้อรอบๆบ่อ เป็นต้น



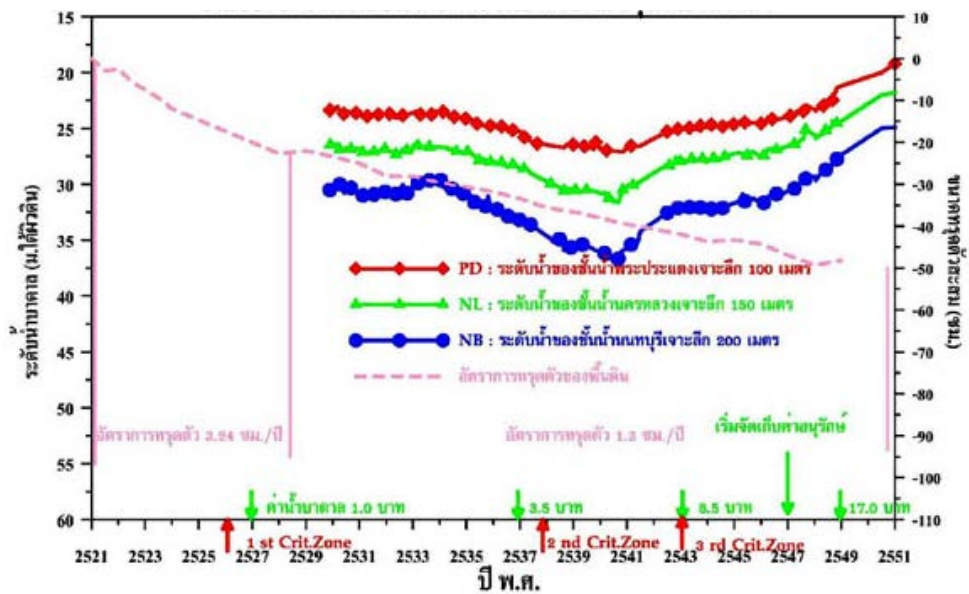
ภาพที่ 2.9 รูปชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง



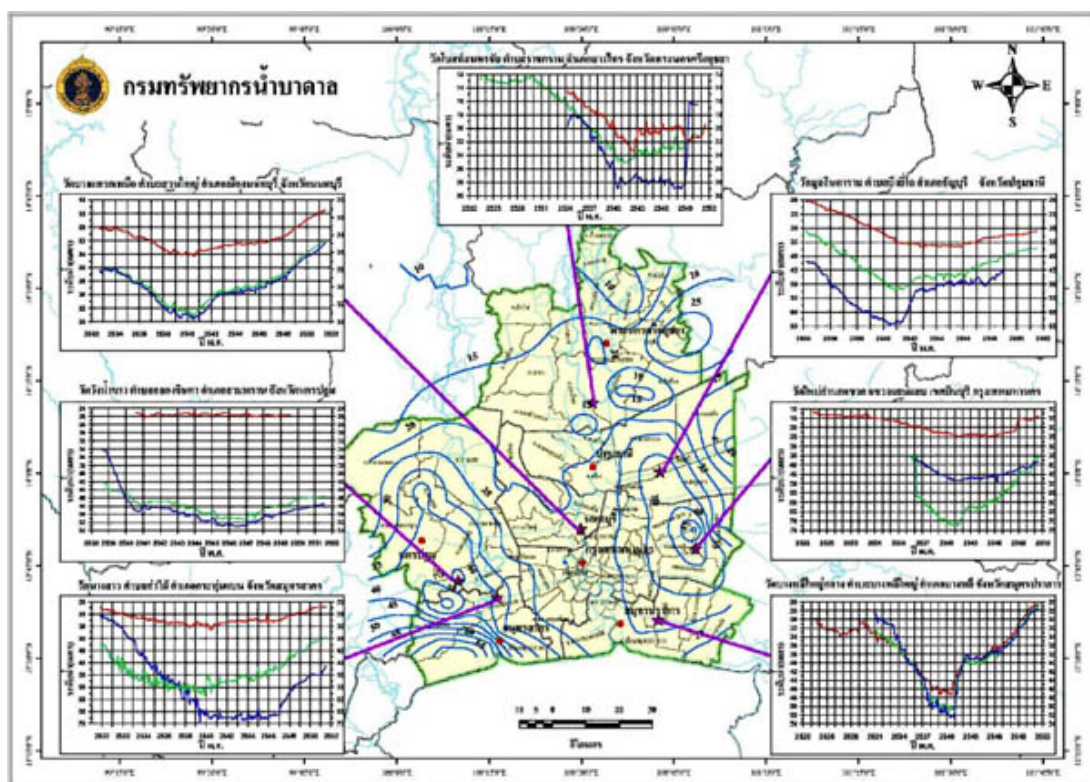
ภาพที่ 2.10 แผนที่บ่งชี้เหตุการณ์น้ำบาดาลในเขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล



ภาพที่ 2.11 กราฟแสดงการทรุดตัวของแผ่นดิน และระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตวัดบางพลีใหญ่กลาง จังหวัดสมุทรปราการ



ภาพที่ 2.12 กราฟแสดงการทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณคณะพาณิชยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตการณ์บริเวณกรมทรัพยากรธรณี กทม.



ภาพที่ 2.13 กราฟแสดงการทรุดตัวของแผ่นดิน และระดับน้ำบาดาลจากบ่อสังเกตโดยรวม

2.2.6 การแปรผันของปริมาณฝนเชิงพื้นที่และเวลาในประเทศไทย และความเชื่อมโยงกับความแปรปรวนของภูมิอากาศระดับภูมิภาคและระดับโลก(2552)ชนิชฐา กู้ศรีสกุล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฝนในประเทศไทย ในช่วงคาบเวลาแบบฤดูกาล ปีต่อปี และทศวรรษต่อทศวรรษ เพื่อหารูปแบบความแปรปรวนที่โดดเด่นของปริมาณฝนตกในประเทศไทย และเชื่อมโยงความแปรปรวนนี้กับมรสุมฤดูร้อน อินเดียโอเชียนไดโพล (IOD) และเอนโซ (ENSO) โดยใช้ข้อมูลระหว่างปีค.ศ.1979-2007 ของ Global Precipitation Climatology Project (GPCP) มาวิเคราะห์สถิติเชิงพหุ ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณฝนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมรสุมฤดูร้อน และมีความสัมพันธ์กับลมมรสุมที่พัดมาจากฝั่งมหาสมุทรแปซิฟิกมากกว่าที่มาจากฝั่งมหาสมุทรอินเดีย สำหรับความสัมพันธ์กับ IOD พบว่า ปีที่เป็น Positive IOD ปริมาณฝนในประเทศไทยจะมีค่าน้อยกว่าปกติ นอกจากนี้ยังพบว่า ในปีที่เกิด El Nino ปริมาณฝนที่ตกในประเทศไทยจะมีค่าน้อยกว่าปกติ แต่ในปีที่เกิด La Nina จะมีฝนมากกว่าปกติ ซึ่งส่วนใหญ่ตรงกับกรณีที่เกิด Positive IOD จากผลการศึกษารูปได้ว่า ความแปรปรวนของปริมาณฝนในประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับความผันแปรของมรสุมฤดูร้อน IOD และ ENSO แต่ผลการศึกษารูปนี้ยังไม่สามารถประเมินในเชิงปริมาณได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแปรปรวนที่เกิดเนื่องจาก IOD และ ENSO ดังนั้นจึงควรมีการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความละเอียดในเชิงพื้นที่และมีระยะเวลายาวนานกว่า 60 ปี เพื่อให้เข้าใจกลไกความเชื่อมโยงระหว่างความผันแปรของระบบภูมิอากาศ และสามารถประเมินระดับของผลกระทบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการน้ำในประเทศไทย

2.2.7 อิทธิพลของปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole ต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนของประเทศไทย (2007) ธณัฐ ภัทรสถาพรกุล มหาวิทยาลัยบูรพา

นอกเหนือจากปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาในมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศไทยยังได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) ซึ่งเป็นความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรอินเดีย เมื่อทำการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนรวมรายปีกับดัชนี Dipole Mode Index (DMI) โดยใช้สถิติปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาทั้ง 77 สถานีทั่วประเทศ ในช่วงระหว่างปี 1976-2006 นำมาวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ตัวประกอบหลัก (Principal Components Analysis) พบว่าสามารถสกัดหรือดึงรายละเอียดค่าความแปรปรวนออกมาในตัวประกอบอันดับที่ 1 ได้ถึง 88.45% เมื่อนำมาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลากับดัชนีความผิดปกติทางสมุทรศาสตร์ พบว่าตัวประกอบหลักของความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนมีแนวโน้มสอดคล้องอย่างเด่นชัดกับดัชนี DMI ที่ได้ปรับปรุงขึ้นใหม่โดยใช้เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน แสดงให้เห็นว่าปรากฏการณ์ IOD ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนของประเทศไทย โดยระดับของผลกระทบจะแปรผันไปตามรูปแบบของปรากฏการณ์ ENSO ที่เกิดในมหาสมุทรแปซิฟิก นอกจากนี้ ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธี Wavelet Spectrum ยังพบว่าคาบการอุบัติซ้ำของปรากฏการณ์ IOD มีการเปลี่ยนแปลงจากคาบ 4-8 ปีในอดีตเป็นคาบ 1-4 ปี นับตั้งแต่ช่วงปี 1990 เป็นต้นมา

อนึ่งทั้งปรากฏการณ์ IOD และ ENSO ต่างจัดว่าเป็นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในคาบระหว่างปี (Interannual variability) งานวิจัยชิ้นนี้จึงเป็นการศึกษาความแปรปรวนของสภาพอากาศที่มุ่งอธิบายความเชื่อมโยงที่อยู่ในคาบเวลาเดียวกัน โดยเลือกใช้ปริมาณน้ำฝนเป็นตัวแปรพื้นฐาน อย่างไรก็ตาม ยังคงมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อความแปรปรวนของสภาพอากาศในคาบเวลาที่ต่างกัน อาทิเช่น ความแปรผันเชิงฤดูกาล (Seasonal variation) ซึ่งขึ้นกับปัจจัยหลักคือ ระบบลมมรสุม (Monsoon system) นอกจากนี้ยังพบความแปรปรวนภายในฤดูกาล (Intraseasonal variability) เช่น ปรากฏการณ์ Madden Julian Oscillation (MJO) รวมไปถึงคลื่นพเนจร ดังนั้น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันของปรากฏการณ์ที่กล่าวถึงทั้งหมดนี้ ยังเป็นประเด็นวิจัยที่ควรต้องเร่งศึกษาต่อไปในอนาคต

2.2.8 Empirical evidence for Thailand surface air temperature change: Possible causal attributions and impacts (2004) Dr. Atsamon Limsakul. Environmental Research and Training Center, Department of Environmental Quality Promotion.

ความแปรปรวนหรือการเปลี่ยนแปลง เป็นสิ่งปกติที่เกิดขึ้นในระบบภูมิอากาศและสภาวะสมดุลแทบจะไม่เกิดขึ้นทุกคาบเวลา (Timescale) หรือแม้กระทั่งคาบเวลาใดเวลาหนึ่งในระบบดังกล่าว หลักฐานจาก palaeo-records ระบุชัดเจนว่า ภูมิอากาศของโลกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องทุกคาบเวลา โดยสภาวะเฉลี่ยของโลกอยู่ภายใต้ความแปรปรวนที่สูงของระบบภูมิอากาศในระดับภูมิภาค ความแปรปรวนของอุณหภูมิอากาศ จัดว่าเป็นดัชนีที่สำคัญของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกที่มีการศึกษาวิจัยกันมาก เนื่องจากอุณหภูมิมีบทบาทที่สำคัญในการควบคุมและกำหนดขอบเขตการระเหยและการคายน้ำของพืช ซึ่งมีการเชื่อมโยงโดยตรงกับวัฏจักรของน้ำและสมดุลของความร้อนที่พื้นผิว นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทั้งอัตรา ทิศทาง และความรุนแรงยังมีบทบาทและอิทธิพลอย่างสูงต่อหน้าที่พลวัตร และโครงสร้างของระบบนิเวศน์วิทยา ตลอดจนสุขภาพและความสะดวกสบายของมนุษย์ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) รายงานไว้ในปี ค.ศ 2001 ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในช่วงศตวรรษที่ 20 เพิ่มขึ้น 0.6 ± 0.2 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้นสูงสุดในช่วงทศวรรษที่ 1990 IPCC ยังยืนยันด้วยว่า "มีหลักฐานที่เชื่อได้ว่า กิจกรรมของมนุษย์ได้มีส่วนทำให้

ภูมิอากาศโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในภูมิภาคต่างๆ ของโลกที่เพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงศตวรรษที่ผ่านมา" ได้มีการคาดการณ์กันไว้ว่า ในปี ค.ศ.2100 . อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะสูงขึ้นประมาณ 1.4-5.8 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอัตราการเพิ่มที่สูงสุดตั้งแต่สมัยสึญยุคโลกน้ำแข็ง (Ice Age)^P นอกจากนี้ยังมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่บ่งชี้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในระยะสั้นและระยะยาว (ปีต่อปีถึงทศวรรษต่อทศวรรษ) ในหลายภูมิภาคของโลก เช่น ทวีปอเมริกาเหนือ-ใต้ ทวีปเอเชียและทวีปแอฟริกา ยังได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์เอนโซ (El Niño-Southern Oscillation; ENSO) หรือเอลนีโน-ความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้ ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติระดับโลกที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่าง การเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณเส้นศูนย์สูตรทางมหาสมุทรแปซิฟิก และความผันแปรที่ผิดปกติของระบบอากาศในซีกโลกใต้ ถึงแม้ว่าหลักฐานทางวิทยาศาสตร์บ่งชี้อย่างชัดเจนถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก การพยากรณ์ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ยังมีความไม่แน่นอนและมีข้อจำกัดค่อนข้างมากในช่วงที่ผ่านมา เนื่องจากยังขาดความรู้ความเข้าใจอย่างถ่องแท้ถึงกลไกการเชื่อมโยง ปัจจัยภายนอกที่บังคับ (Forcings) การตอบสนอง (Responses) และผลที่ตามมา (Consequences) ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ดังนั้น การศึกษาวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนแปลงในระดับภูมิภาค เป็นประเด็นที่ท้าทายและได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์เป็นจำนวนมาก รวมทั้งเป็นวัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยการเปลี่ยนแปลงของโลก (Global Change Research) สำหรับประเทศไทย ประเด็นดังกล่าวยังไม่ค่อยได้รับความสนใจและมีการศึกษามากนัก รวมทั้งไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศทั้งระยะสั้นและระยะยาว ตลอดจนกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น

ดังนั้น การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อศึกษา 1) รูปแบบความแปรปรวนในเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่มีลักษณะโดดเด่นของอุณหภูมิอากาศในประเทศไทย 2) กลไกการเชื่อมโยงทั้งในระยะสั้นและระยะยาวระหว่างความแปรปรวนดังกล่าวกับพฤติกรรมของความแปรปรวนตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศของโลก หรือความผันแปรของสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ 3) ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสภาพแวดล้อม นิเวศวิทยา สภาพเศรษฐกิจและสังคมรวมทั้งสุขภาพอนามัยและความเป็นอยู่ของมนุษย์ ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ทางสถิติในเชิงลึก ได้แก่ ข้อมูลรายเดือนของอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุด และต่ำสุด (TB_{meanB} , TB_{maxB} , TB_{minB}) และอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (TB_{dewB}) จากกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 33 สถานี ซึ่งครอบคลุมทั่วทุกภาคของประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 1951-2003 ตลอดจนอุณหภูมิปรากฏ (Apparent Temperature) เฉลี่ย สูงสุด และต่ำสุด (TB_{ameanB} , TB_{amaxB} , TB_{aminB}) ซึ่งคำนวณจากข้อมูลอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิจุดน้ำค้างดังกล่าวข้างต้น เทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย Empirical Orthogonal Functions (EOFs), ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average), การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Variance Analysis), การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis), และการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้น (Linear Regression Analysis) EOFs นับว่าเป็นเทคนิคทางสถิติเชิงตัวแปรพหุ (Multivariate) ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวแปรที่เกี่ยวกับภูมิอากาศบรรยากาศและมหาสมุทร ที่มีจุดเก็บตัวอย่างเป็นจำนวนมาก ความถี่ในการเก็บตัวอย่างสูงรวมทั้งระยะเวลาในการเก็บข้อมูลที่ยาวนาน ซึ่งทำให้มีชุดข้อมูลในเชิงพื้นที่และเชิงเวลาเป็นจำนวนมากยากต่อการจัดการและวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคอื่น ๆ ในกรณีข้อมูลอุณหภูมิอากาศในประเทศไทย ที่ทำการตรวจวัด

ทุกเดือนตลอดระยะเวลา 53 ปี ณ 33 สถานี จัดว่าเป็นชุดข้อมูลที่ค่อนข้างใหญ่ เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 20998 ชุดข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ EOFs สำหรับข้อมูลอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยในระหว่างปี ค.ศ. 1951-2003 ปรากฏว่า EOF โหมดที่ 1 ของอุณหภูมิอากาศทั้งเจ็ดตัวแปร (TB_{meanB} , TB_{maxB} , TB_{minB} , TB_{dewB} , TB_{ameanB} , TB_{amaxB} และ TB_{aminB}) สามารถอธิบายความแปรปรวนในข้อมูลเดิมได้ถึงร้อยละ 61.2 % ถึง 71.3% สำหรับ EOF โหมดที่เหลือ สามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลเดิมได้น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ EOF โหมดที่ 1 และร้อยละของความแปรปรวนที่อธิบายได้ในแต่ละ EOF โหมดมีค่าใกล้เคียงกัน จากลักษณะดังกล่าว แสดงว่าความแปรปรวนโดยส่วนใหญ่ของข้อมูลเดิมสามารถอธิบายได้จาก EOF โหมดที่ 1 ส่วนความแปรปรวนที่เหลือส่วนน้อยที่ถูกแยกตามสัดส่วนใน EOF โหมดที่เหลือ อาจเกิดจาก “noise” หรือความแปรปรวนปลีกย่อยของแต่ละสถานีในข้อมูลเดิม สำหรับแต่ละตัวแปรของอุณหภูมิอากาศ Component Loading ซึ่งแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูลในแต่ละสถานีกับ EOF โหมดที่ 1 มีค่าที่สูงและใกล้เคียงกันเกือบทุกสถานี ยกเว้นบางสถานีในภาคใต้ตอนล่างที่มีค่าค่อนข้างต่ำ นอกจากนี้ ชุดข้อมูลทุกสถานีมีความสัมพันธ์ทางสถิติในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับ EOF โหมดที่ 1 จากผลดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอากาศระหว่างสถานีมีค่าสูงและความแปรปรวนของอุณหภูมิอากาศทุกสถานีมีการกระจายตัวค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้น ความแปรปรวนเชิงพื้นที่ที่อธิบายได้จาก EOF โหมดที่ 1 ไม่ได้เกิดจากความแปรปรวนของข้อมูลอุณหภูมิอากาศเฉพาะสถานีใดสถานีหนึ่งหรือภาคใดภาคหนึ่งเท่านั้น แต่เกิดจากความแปรปรวนของข้อมูลอุณหภูมิอากาศเกือบทุกสถานีร่วมกัน โดยความแปรปรวนดังกล่าว อาจเกิดจากปรากฏการณ์หรือแหล่งกำเนิดเดียวกัน ที่มีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะสามารถมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิอากาศทั่วทุกภาคของประเทศไทย ดังนั้น เพียง EOF โหมดที่ 1 สามารถใช้เป็นตัวแทนที่เหมาะสม เพื่อนำไปอธิบายการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่และเชิงเวลาของอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่และภาพรวมได้

การเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาของ EOF โหมดที่ 1 ดังแสดงในอนุกรม TC จากการสังเกตพบว่า EOF โหมดที่ 1 ของอุณหภูมิอากาศทั้งเจ็ดตัวแปร มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาที่ค่อนข้างซับซ้อน ระยะเวลาของการแกว่งไปมาระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดไม่แน่นอนและไม่สม่ำเสมอ โดยที่การเปลี่ยนแปลงคาบเดือนต่อเดือนหรือการเปลี่ยนแปลงที่ความถี่สูงปรากฏโดดเด่นใน TC นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงที่ความถี่ปานกลางถึงต่ำ คือตั้งแต่ 2-3 ปี ถึงคาบ 10 ปี ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเปลี่ยนแปลงใน TC อีกด้วย เนื่องจาก TC คือ การเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลาของ EOF โหมดที่ 1 โดยภาพรวม ซึ่งประกอบด้วยการเปลี่ยนแปลงของทุกคาบเวลารวมกัน ดังนั้นจึงไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่า EOF โหมดที่ 1 มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนหรือโดดเด่นในช่วงคาบเวลาใดบ้าง นอกจากนี้ การหาความสัมพันธ์หรือการเชื่อมโยงของ EOF โหมดที่ 1 กับความผันแปรของสภาพภูมิอากาศของโลกทั้งในระยะสั้นหรือระยะยาว อนุกรม TC ดังกล่าวควรที่จะถูกจำแนกออกเป็น ช่วงคาบเวลาของการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงหรือสอดคล้องกับคาบเวลาที่โดดเด่นของความผันแปรของสภาพภูมิอากาศของโลก ด้วยเหตุผลดังกล่าว อนุกรม TC จึงถูกจำแนกออกเป็นสองคาบเวลาของการเปลี่ยนแปลง คือ น้อยกว่า 5 ปี และมากกว่า 5 ปี สาเหตุที่เลือกสองคาบเวลาดังกล่าว เพราะคาบเวลาน้อยกว่า 5 ปี แทนการเปลี่ยนแปลงระยะสั้นที่สอดคล้องกับวงจรของปรากฏการณ์เอนโซ (El Niño-Southern Oscillation; ENSO) หรือเอลนีโน-ความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้ ซึ่งวงจรการเกิดแต่ละครั้งจะมีช่วงระยะเวลาประมาณ 2 ถึง 6 ปี ปรากฏการณ์เอนโซเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติของความแปรปรวนของ

สภาพภูมิอากาศของโลก ที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่าง การเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล บริเวณเส้นศูนย์สูตรทางมหาสมุทรแปซิฟิก และความผันแปรที่ผิดปกติของระบบอากาศในซีกโลกใต้ เป็นที่ทราบกันดีว่าปรากฏการณ์เอนโซมีผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อมของโลกทั้งพื้นที่ใกล้เคียงและพื้นที่ห่างไกลในหลายทวีป โดยเฉพาะประเทศในเขตร้อน (Tropical) และกึ่งร้อน (Subtropical) ส่วนคาบเวลาที่มากกว่า 5 ปี แทนการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว (ทศวรรษต่อทศวรรษ) ที่อาจจะมีความสัมพันธ์หรือเชื่อมโยงกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลกที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ เช่น การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกหรือเกิดจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอื่น ๆ เทคนิคที่ใช้ในการแยกคาบเวลาของการเปลี่ยนแปลงของอนุกรม TC คือ ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ (Moving Average) โดยใช้ 60 เดือน อนุกรมเวลา สำหรับคาบเวลาที่มากกว่า 5 ปี ส่วนการหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่น้อยกว่า 5 ปี ทำได้โดยนำค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่มากกว่า 5 ปี ลบด้วย อนุกรม TC เดิม ซึ่งจะได้ผลลัพธ์คือ ค่าผิดปกติสภาพ (anomalies) ของอนุกรม TC จากอนุกรมของค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่มากกว่า 5 ปี หลังจากนั้นนำค่าผิดปกติสภาพดังกล่าวไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่โดยใช้ 10 เดือน อนุกรมเวลา

จากผลการวิเคราะห์เพิ่มเติม ปรากฏว่า อนุกรมของ TC ของอุณหภูมิอากาศทั้งเจ็ดตัวแปร สำหรับค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่น้อยกว่า 5 ปี แสดงการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้นที่ชัดเจน โดยระยะเวลาการแกว่งไปมาระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 1 ถึง 4 ปี เป็นลักษณะเด่นของอนุกรมดังกล่าว ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Variance Analysis) แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่า 5 ปีของอุณหภูมิอากาศทั้งเจ็ดตัวแปร มีเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนอยู่ในช่วงของ 17.6 ถึง 25.8 % ของความแปรปรวนทั้งหมดของอนุกรม TC โดยเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนของอุณหภูมิอากาศทั้งหกตัวแปร ยกเว้น TB_{minB} เป็นอันดับสองของความแปรปรวนทั้งหมดของอนุกรม TC รวมกัน ลักษณะโดดเด่นอีกอย่างหนึ่งของอนุกรมค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่น้อยกว่า 5 ปีของ TC คือ รูปแบบการเปลี่ยนแปลงมีลักษณะคล้ายกับดัชนีของปรากฏการณ์เอนโซ (Multiple ENSO Index) โดยที่ค่าผิดปกติบวก (ลบ) ของอนุกรม TC สำหรับค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่น้อยกว่า 5 ปี ตรงกับหรือสอดคล้องกับปรากฏการณ์เอลนีโญ (ลานีญา) โดยพบว่า อุณหภูมิอากาศในประเทศไทย สูง (ต่ำ) กว่าปกติ ในระหว่างที่เกิดเหตุการณ์เอลนีโญ (ลานีญา) เช่น ในระหว่าง 6 ครั้งที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญที่มีกำลังรุนแรงที่สุดในรอบ 53 ปี อุณหภูมิอากาศในประเทศไทยสูงกว่าปกติอย่างเด่นชัด เช่นเดียวกับอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยต่ำกว่าปกติอย่างชัดเจนในระหว่าง 8 ครั้งที่เกิดปรากฏการณ์ลานีญาที่มีกำลังรุนแรงที่สุดในรอบ 53 ปี นอกจากนี้ ในระหว่าง ค.ศ. 1998-1998 อุณหภูมิอากาศในประเทศไทยได้มีการแกว่งอยู่ในช่วงที่กว้างที่สุดในรอบ 53 ปี ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญและลานีญาที่มีกำลังรุนแรงอย่างต่อเนื่องภายในช่วงสองปี ดังกล่าว โดยปี ค.ศ. 1998 เป็นปีที่ร้อนที่สุดในประเทศไทยในรอบ 53 ปี ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ยืนยันเพิ่มเติมว่า อุณหภูมิอากาศทั้งเจ็ดตัวแปรมีความสัมพันธ์ทางสถิติในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับดัชนีของปรากฏการณ์เอนโซ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง TB_{meanB} , TB_{maxB} , TB_{ameanB} และ TB_{amaxB} ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ค่อนข้างสูง (มากกว่า 0.5) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าปรากฏการณ์เอนโซเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยในระยะสั้น และอาจสันนิษฐานได้ว่า ผลกระทบของปรากฏการณ์เอนโซต่อการเปลี่ยนแปลงปีต่อปีของอุณหภูมิอากาศในประเทศไทย น่าจะมาจากสาเหตุของการแผ่ขยายกว้างไกลออกไปของปริมาณความร้อนที่เกิดจากความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล และการเคลื่อนตัวของแอ่งน้ำอุ่นในบริเวณเส้นศูนย์สูตรทางมหาสมุทรแปซิฟิก โดยกลไกการเชื่อมโยงน่าจะผ่านทาง “Atmospheric Teleconnections” นอกจากนี้ ความผันแปรของระบบอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งการหมุนเวียนของอากาศแบบวอล์คเกอร์ (Walker

Circulation) ที่เกิดจากการเสียสมดุลของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างบรรยากาศและทะเล น่าจะเป็นปัจจัยเสริมในการนำพาความร้อนออกจากบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิกมาสู่ประเทศไทย

นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงในระยะยาว (ทศวรรษต่อทศวรรษ) ยังปรากฏชัดเจนในอนุกรมค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่มากกว่า 5 ปีของ TC ของ TB_{maxB} , TB_{amaxB} , TB_{minB} และ TB_{aminB} โดยอุณหภูมิอากาศทั้งสี่ตัวแปรนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หลังจากปลายทศวรรษที่ 1970 ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสอดคล้องกับช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของ ปรากฏการณ์เอนโซมีแนวโน้มผิดปกติในคาบเวลาที่ยาวนานมากกว่า 10 ปี โดยปรากฏการณ์เอลนีโญเกิดขึ้นเป็นระยะเวลาที่ยาวนานและบ่อยครั้งกว่าปกติรวมทั้งมีกำลังปานถึงรุนแรง ซึ่งรู้จักกันดีในนาม “Climatic Regime Shift” แต่ปรากฏการณ์ลานีญาแทบจะไม่เกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปรากฏการณ์เอลนีโญ หลังจากปลายทศวรรษที่ 1970 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ยังสนับสนุนความสอดคล้องดังกล่าวข้างต้น โดยพบว่าอนุกรมค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ที่มากกว่า 5 ปีของ TC ของอุณหภูมิอากาศทั้งสี่ตัวแปรมีความสัมพันธ์ทางสถิติในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับดัชนีของปรากฏการณ์เอนโซ เช่นเดียวกับที่พบในการเปลี่ยนแปลงระยะสั้นข้างต้น ภายหลังปี ค.ศ. 1990 เป็นช่วงทศวรรษที่อุณหภูมิอากาศในประเทศไทยสูงที่สุดในรอบ 53 ปี ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่สูงกว่าค่าปกติมากในช่วงเวลาเดียวกัน ผลการศึกษานี้ แสดงให้เห็นว่าปรากฏการณ์เอนโซ อาจจะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยในระยะยาวอีกด้วย นอกจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยที่สอดคล้องกับปรากฏการณ์เอนโซแล้ว ยังพบว่า TB_{minB} และ TB_{aminB} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในลักษณะเชิงเส้นตรงตั้งแต่กลางทศวรรษที่ 1950 และอัตราการเพิ่มขึ้นที่รวดเร็วและมากกว่า TB_{maxB} และ TB_{amaxB} รูปแบบการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของ TB_{minB} และ TB_{aminB} ดังกล่าว มีลักษณะเหมือนกับอุณหภูมิเฉลี่ยผิวพื้นโลกที่เพิ่มสูงขึ้นในศตวรรษที่ 20 จากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกผลสืบเนื่องมาจากกิจกรรมมนุษย์ ซึ่งรู้จักกันดีในนามสภาวะโลกร้อน (Global Warming) จากการเปรียบเทียบ พบว่า การเพิ่มขึ้นของ TB_{minB} และ TB_{aminB} ในประเทศไทย มีอัตราที่รวดเร็วและมากกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยผิวพื้นโลก ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของ TB_{minB} และ TB_{aminB} ในประเทศไทย น่าจะมีส่วนส่งเสริมในแง่บวกที่ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยผิวพื้นของโลกเห็นโดยรวมทั้งสภาวะโลกร้อนเพิ่มสูงขึ้น ถึงแม้ว่าการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวของอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยซึ่งมีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์เอนโซ และมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับสภาวะโลกร้อนอันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ปรากฏชัดเจนจากผลการศึกษาี้ ปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ยังไม่สามารถแยกแยะหรือสรุปได้ชัดเจน ว่าเกิดจากพฤติกรรมของความแปรปรวนตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศ เช่น ปรากฏการณ์เอนโซ หรือผลกระทบโดยตรงจากความผันแปรของสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยทั่วไป อาจจะเข้าใจว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความผิดปกติของพฤติกรรมของความแปรปรวนตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศ น่าจะมีรูปแบบหรือลักษณะในเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่แตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ แต่เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของระบบภูมิอากาศ ที่มีรูปแบบกลไกการเชื่อมโยงที่ซับซ้อนและการตอบสนองต่อปัจจัยภายนอกไม่เป็นในลักษณะเชิงเส้นตรง (Nonlinear) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้กับคำพังเพยที่ว่า “1 บวก 1 ไม่เท่ากับ 2” นักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ได้เสนอแนะไว้ว่า สภาวะโลกร้อนในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา อาจจะเกิดจากพฤติกรรมของความแปรปรวนตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศ ที่มีแนวโน้มผิดปกติทั้งในแง่ จำนวนครั้งที่เกิดขึ้น ทิศทาง ระยะเวลาและความรุนแรง โดยมีผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก มากกว่าผลกระทบโดยตรงจากปรากฏการณ์เรือนกระจก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน ได้แก่ พฤติกรรมของปรากฏการณ์เอนโซที่มีแนวโน้มผิดปกติในคาบเวลาที่ยาวนานหลังจากปลายทศวรรษที่

1970 ผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ยังระบุว่า การเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจกจะทำให้สภาวะเหมือนกับปรากฏการณ์เอลนีโญ (El Niño-like) เกิดขึ้นบ่อยและระยะเวลาที่นานขึ้นในอนาคต ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในประเทศไทยในระยะยาว จึงเป็นประเด็นที่ท้าทายที่ต้องศึกษาในรายละเอียดต่อไป เพื่ออธิบาย และสามารถแยกสัญญาณการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความผิดปกติของพฤติกรรมของความแปรปรวนตามธรรมชาติของสภาพภูมิอากาศ ออกจากความผันแปรของสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ถ้าไม่คำนึงถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ผลจากการศึกษานี้ ได้แสดงอย่างชัดเจน ว่า TB_{minB} และ TB_{aminB} ในประเทศไทย ในช่วง 53 ปีที่ผ่านมา เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่น่าตกใจ

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่า การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลกทั้งระยะสั้นและระยะยาว ไม่ว่าจะเกิดจากความผิดปกติของพฤติกรรมของความแปรปรวนตามธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบอย่างกว้างขวางและรุนแรงต่อสภาพแวดล้อมระบบนิเวศวิทยา สภาพเศรษฐกิจและสังคมรวมทั้งสุขภาพอนามัยและความเป็นอยู่ของมนุษย์ เนื่องจากความซับซ้อนของระบบสภาพแวดล้อมและนิเวศวิทยารวมทั้งความไวต่อปัจจัยภายนอกของระบบดังกล่าว การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก อาจก่อให้เกิดผลกระทบในลักษณะที่ไม่เป็นในเชิงเส้นตรง (Nonlinear)

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคทางสถิติตัวแปรพหุ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง EOFs ในการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ มีส่วนช่วยให้เข้าใจถึงแง่มุมที่สำคัญบางประการของการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย โดยหลักฐานจากการศึกษานี้ จะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในรายละเอียดของเรื่องกลไกการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การพยากรณ์ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นรวมทั้งการอนุรักษ์และการจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับภูมิภาคในอนาคต นอกจากนี้ หลักฐานดังกล่าวยังเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการสร้าง พัฒนา และปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นงานที่ท้าทายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกในอนาคตอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ยังมีหลายประเด็นที่สำคัญที่ต้องศึกษาในรายละเอียดและควรที่จะมุ่งเน้นในการศึกษาวิจัยในอนาคตอันใกล้ ประเด็นที่สำคัญอันดับต้น ๆ คือ “ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อสภาพแวดล้อม นิเวศวิทยา สภาพเศรษฐกิจและสังคมรวมทั้งสุขภาพอนามัยและความเป็นอยู่ของมนุษย์ จากสภาวะโลกร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและแนวโน้มผิดปกติทั้งในแง่ จำนวนครั้งที่เกิดขึ้น ทิศทาง ระยะเวลาและความรุนแรงของปรากฏการณ์เอลนีโญ” การตอบคำถามนี้ นับว่าเป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่สำคัญในการกำหนดยุทธศาสตร์การตั้งรับและการปรับตัวเข้ากับสภาพการเปลี่ยนแปลงที่อาจจะเกิดขึ้น เพื่อลดความรุนแรงแต่แสวงหาผลประโยชน์สูงสุดจากผลกระทบดังกล่าว เนื่องจากหลักฐานได้เสนอแนะว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั้งในระดับภูมิภาคและระดับโลก มีแนวโน้มเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและอาจจะทวีความรุนแรงภายในระยะเวลา 50-100 ปีข้างหน้า ดังนั้น ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ดังกล่าวข้างต้น นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งยวดในการลดความไม่แน่นอนในการประเมินผลกระทบ เพื่อให้ผู้บริหารระดับนโยบายมีความมั่นใจในการตอบสนองต่อผลกระทบ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก

บทที่ 3

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับน้ำบาดาล

3.1.1 ลักษณะของแหล่งน้ำใต้ดิน [กิริติ ลีวัจนกุล, 2543]

เขตสัมผัสอากาศ (Zone of Aeration)

เขตที่ปริมาณของน้ำใต้ดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เป็นชั้นที่อยู่ใต้ผิวดินในระดับตื้นบริเวณระหว่างผิวดินกับน้ำใต้ดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินมีทั้งอากาศและน้ำ ระดับน้ำจะแปรเปลี่ยนไปตามฤดูกาล เช่น ฤดูแล้งระดับน้ำจะลึกกว่าฤดูฝนเขตสัมผัสอากาศแบ่งได้เป็น 3-เขตย่อย คือ

1) เขตความชื้นในดิน (zone of soil moisture) คือ บริเวณที่รากพืชหยั่งราก พืชสามารถดูดซึมน้ำไปใช้ได้ โดยพืชดูดซึมความชื้นจากดิน แล้วปล่อยให้ระเหยกลายเป็นไอน้ำสู่บรรยากาศ หรือบางครั้งความชื้นในดินจะระเหยสู่บรรยากาศโดยตรง

2) เขตไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (intermediate zone) คือ บริเวณที่อยู่ระหว่างเขตน้ำใต้ดินกับเขตชั้นยกน้ำ เป็นเขตที่เป็นทางไหลผ่านของน้ำลงเพิ่มน้ำใต้ดิน ซึ่งบริเวณนี้พืชไม่สามารถนำน้ำไปใช้ได้

3) เขตชั้นยกน้ำ (capillary zone) คือ บริเวณที่อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน น้ำจากเขตที่อยู่ด้านล่างซึมขึ้นมาตามแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของดินหรือหินกับน้ำ ความสูงของเขตชั้นยกน้ำขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเม็ดดิน

เขตอิ่มตัวด้วยน้ำ (Zone of Saturation)

เขตที่มีน้ำอยู่เต็มทุกช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ถ้าระดับน้ำใต้ดินสูงกว่าระดับน้ำแหล่งน้ำผิวดิน น้ำใต้ดินจะไหลลงแหล่งน้ำผิวดิน แต่ถ้าหากระดับน้ำใต้ดินต่ำกว่าระดับน้ำแหล่งน้ำผิวดิน น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินจะไหลซึมลงเป็นน้ำใต้ดิน

3.1.2 ประเภทของชั้นหินหรือชั้นดินที่เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดิน [กิริติ ลีวัจนกุล, 2543]

ชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดัน (Unconfined Aquifer)

ชั้นหินอุ้มน้ำที่น้ำสัมผัสกับอากาศ มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ ไหลไปตามความดันน้ำและแรงดึงดูดของโลกซึ่งหากทำการเจาะบ่อบาดาลบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำไร้แรงดันนี้ น้ำจะไหลซึมเข้าบ่อบาดาลและจะมีระดับน้ำเท่ากับระดับน้ำใต้ดินที่อยู่บริเวณรอบๆ

ชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดัน (Confined Aquifer)

ชั้นหินอุ้มน้ำอยู่ระหว่างชั้นหินที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านหรือซึมผ่านได้ยากประกบอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่าง ไหลภายใต้ความดันคล้ายกับการไหลในท่อ มีความดันมากกว่าความดันบรรยากาศ ซึ่งหากทำการเจาะบ่อบาดาลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันที่ปากบ่ออยู่ต่ำกว่าระดับความดันของชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันนี้ จะเกิดเป็นน้ำพุพุ่งขึ้นมา

ชั้นหินอุ้มน้ำปลอม (Perch Aquifer)

ชั้นหินอุ้มน้ำที่อยู่ใต้ดินบนแอ่งของชั้นดินเหนียวหรือหินที่บ้น้ำ แต่เมื่อสูบน้ำขึ้นมาใช้นานน้ำจะหมดไปเพราะน้ำมีอยู่อย่างจำกัด ถ้าหากชั้นหินอุ้มน้ำปลอมนี้ติดกับผิวดินจะเกิดเป็นน้ำไหลซึมออกมาเป็นน้ำผิวดิน

3.1.3 คุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำใต้ดินที่มีผลต่อน้ำใต้ดิน [กิริติ ลีวัจนกุล, 2543]

ความพรุน (Porosity)

ความพรุน คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรช่องว่างของดินหรือหินต่อปริมาตรทั้งหมดของดินหรือหิน

$$\text{ความพรุน } \alpha = \frac{100w}{V} \quad (3.1)$$

โดยที่ α คือ ความพรุน (%)

w คือ ปริมาตรช่องว่างของดินหรือหินที่มีรอยแตก

และ V คือ ปริมาตรทั้งหมดของดินหรือหินที่พิจารณา

ปริมาณน้ำใต้ดินถูกสะสมอยู่ตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินหรือรอยแตกของหินเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และการวางตัวของเม็ดดินหรือหิน หินแข็งอาจมีค่าความพรุนสูงได้ หากชั้นหินนั้นเกิดรอยแตกกว้าง หรือส่วนประกอบบางส่วนสามารถละลายไปกับน้ำได้ ความพรุนสำหรับดินและหินประเภทต่างๆแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความพรุนของดินและหินชนิดต่างๆ

ดินและหินชนิดต่างๆ	ความพรุน (%)
ดินเหนียว	45 - 55
ดินตะกอน	40 - 50
ทรายปานกลางถึงทรายหยาบ	35 -40
ทรายละเอียดถึงทรายปานกลาง	30 -35
ทรายสม่ำเสมอ	30 - 40

(ต่อ)

กรวด (gravel)	30 - 40
กรวดผสมทราย	20 - 35
หินทราย (sandstone)	10 -20
หินปูน (limestone)	1 - 10

ที่มา [กิริติ สิวังกุล, 2543, อุทกวิทยา Hydrology พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรังสิต
อ้างอิง NED H.C. Hwang and Carlos E. Hita, Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems, University of Houston, Texas, Prentice Hall, 1987, 370 pp.]

3.1.4 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำใต้ดิน [กิริติ สิวังกุล, 2543]

อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำมีผลในด้านการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะส่งผลต่อการลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

ความเป็นกรด – ด่าง (Positive Potential of the Hydrogen Ions: pH)

หมายถึง ค่าไฮโดรเจนไอออน (H) และไฮดรอกซิลไอออน (OH) ในน้ำนั้นว่ามีมากน้อยเพียงไร pH จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0– 14 น้ำบริสุทธิ์หรือน้ำที่เป็นกลางจะมีค่า pH = 7.0 น้ำที่มี pH ต่ำกว่า 7 จะมีสภาพเป็นกรด น้ำที่มี pH สูงกว่า 7 จะมีสภาพเป็นด่าง ตามมาตรฐานน้ำดื่มกำหนดให้น้ำมีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ระหว่าง 7.0 – 8.5 แต่ไม่ควรน้อยกว่า 6.5 หรือมากกว่า 9.2

การนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC)

ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณสารละลายที่มีอยู่ในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า แปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิของน้ำ น้ำที่มีอุณหภูมิสูงจะสารละลายจะละลายได้ดีกว่าน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ ค่าการนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโมห์/ซม.(Mhos/cm)หรือไมโครซีเมน/ซม.($\mu\text{S}/\text{cm}$) โดยทั่วไปในน้ำที่มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่า 1,000 ไมโครซีเมน/ซม. จัดเป็นน้ำคุณภาพดี

ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด TDS (total dissolved solid)

ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด คำนวณจากการระเหยน้ำออกของแข็งละลายน้ำสามารถไหลผ่านกระดาษกรองใยแก้ว เมื่อกรองของแข็งแขวนลอยออก น้ำที่ผ่านกระดาษกรองใยแก้วไปทำการระเหยจะหาปริมาณของแข็งละลายน้ำได้

ความเค็มของน้ำ (Salinity)

การตรวจวัดความเค็ม เป็นการตรวจวัดปริมาณเกลือที่ละลายน้ำที่พบในน้ำเค็มหรือน้ำกร่อย โดยมีหน่วยเป็นส่วนในหนึ่งพันส่วน (ppt ย่อมาจาก part per thousand) ความเค็มของน้ำทะเล

ของโลกมีค่าเฉลี่ย 35 ppt น้ำจืดมีค่าไม่เกิน 0.5 ppt น้ำกร่อยมีค่า 0.5 - 25 ppt ค่าความเค็มจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณหยาดน้ำฟ้า น้ำจากหิมะละลาย หรือบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำเค็มกับน้ำจืด เช่น บริเวณปากแม่น้ำ ปริมาณของเกลือในน้ำเป็นตัวการสำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ชี้บ่งว่าจะพบสิ่งมีชีวิตชนิดใดในบริเวณแหล่งน้ำนั้น

3.1.5 การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน (Movement of Ground Water) [สายสุนีย์ พุทธาคุนเจริญ, 2546]

กฎของดาร์ซี (Darcy's Law)

$$V = kS \quad (3.2)$$

V คือความเร็วของการไหล

S คือ ความลาดเทของ hydraulic gradient

K คือค่าสัมประสิทธิ์ที่มีหน่วยเช่นเดียวกับความเร็ว

ประมาณการไหลของน้ำ q ก็คือ (ผลคูณของความเร็ว (v) และพื้นที่หน้าตัดสุทธิ) พื้นที่หน้าตัดสุทธิ (effective area) คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (gross area) คูณด้วยค่าของ porosity (p) ของตัวกลาง (media)

$$q = kpAS = KAS \quad (3.3)$$

K เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของความซึมผ่านได้ (coefficient of permeability) หรือความนำชลศาสตร์ (hydraulic conductivity) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำหรือของไหลและคุณสมบัติของตัวกลางที่ไหลผ่าน

$$K = K_i \frac{\gamma}{\mu} = C d^2 \frac{\gamma}{\mu} \quad (3.4)$$

K คือค่า intrinsic permeability คือ specific weight ของน้ำหรือของไหล

μ คือ absolute viscosity

C เป็นแฟกเตอร์เกี่ยวกับรูปร่าง (shape) การเรียงตัว (packing) ความพรุน และลักษณะอย่างอื่นของตัวกลาง

d คือค่าเฉลี่ยของขนาดช่องว่างของตัวกลาง

ค่าสัมประสิทธิ์ของการผ่าน (transmissibility) คือผลคูณระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของความซึมผ่านและความหนา y ของ aquifer

$$T = Ky \quad (3.5)$$

ถ้าให้ B เป็นความกว้างของ aquifer จะได้

$$q = KByS = TBS \quad (3.6)$$

3.1.6 กระบวนการซึมลงดิน (Infiltration Process) [สายสุนีย์ พุทธาคณเจริญ, 2546]

กระบวนการซึมลงดินเริ่มต้นขึ้นเมื่อมีน้ำตกลงสู่ผิวดินน้ำจะซึมผ่านผิวดินและแพร่ลงไปในดินตามแรงดึงดูดความชื้นจนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำจากนั้นแรงดึงดูดของโลกจะทำให้น้ำไหลลึกซึมลงไปในดินสามารถพิจารณาแยกปริมาณความชื้นในดินได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. ส่วนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (saturation zone) ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ใกล้กับผิวดิน
2. ส่วนที่น้ำแพร่ผ่าน (transmission zone) เป็นส่วนที่น้ำไหลผ่านชั้นดินขณะที่ดินยังไม่อิ่มตัวโดยปริมาณความชื้นตลอดหน้าตัดใกล้เคียงกัน
3. ส่วนที่กำลังเปียก (wetting zone) เป็นส่วนที่ความชื้นกำลังเพิ่มขึ้นโดยในชั้นดินที่ลึกลงไปจะมีความชื้นน้อย
4. หน้าตัดที่กำลังเปียก (wetting front) เป็นหน้าตัดที่เริ่มเปียกน้ำและกำลังมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งบริเวณนี้ ดินจะมีความชื้นแตกต่างกันมาก จนสามารถแยกแหว่งดินเปียกกับดินแห้งได้อย่างชัดเจน

3.1.7 บ่อน้ำบาดาล

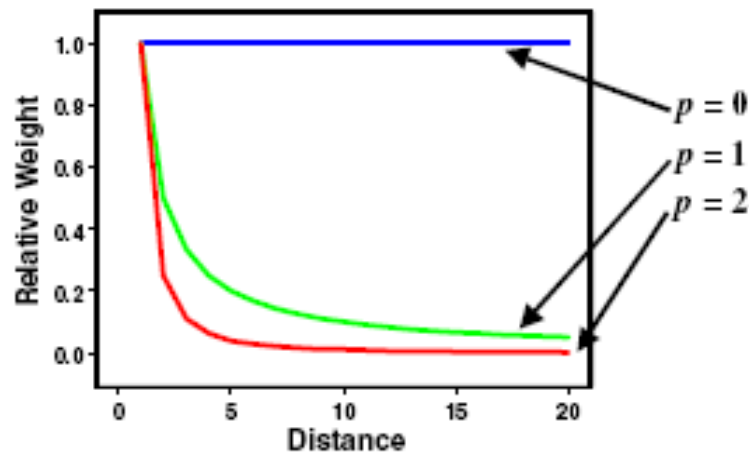
บ่อน้ำบาดาล (Groundwater well) หรือเรียกโดยย่อว่า บ่อน้ำ คือบ่อที่ขุดลงไปได้ผิวดินและมีรูเปิดให้น้ำบาดาลไหลเข้ามาซึ่งภายในบ่อ ความรู้พื้นฐานที่ต้องเข้าใจก่อนศึกษารายละเอียดของบ่อได้แก่ ชนิดของบ่อน้ำ การใช้ประโยชน์จากบ่อน้ำ ส่วนประกอบของบ่อน้ำและขั้นตอนโดยสรุปของการก่อสร้างบ่อน้ำ

วัตถุประสงค์ของการก่อสร้างบ่อน้ำบาดาล คือ มีไว้เพื่อใช้อุปโภคบริโภค ทั้งในครัวเรือน ธุรกิจ และอุตสาหกรรม บ่อที่ใช้บริโภคน้ำบาดาลเรียกว่า บ่อน้ำดื่ม (drinking well) บ่อที่ใช้อุปโภคน้ำบาดาล เรียกว่า บ่อน้ำใช้ และยังสามารถใช้สังเกตการณ์น้ำบาดาล การสังเกตการณ์ (observation) หรือการเฝ้าระวัง (monitoring) คือ การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสิ่งใดสิ่งหนึ่งตามเวลาที่ผ่านไปเรียกว่า บ่อสังเกตการณ์ (monitoring well) เช่น ใช้วัดระดับน้ำบาดาลที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล เพื่อคำนวณทิศทางการไหลของน้ำบาดาลและทิศทางที่มวลสารจะเคลื่อนที่ไป หรือใช้เก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เป็นต้น บ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำบาดาลเพื่อวัดระดับแรงดันน้ำมักมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก เช่น 1.5-2 นิ้ว เรียกว่า ไพเอโซมิเตอร์ (piezometer) ซึ่งคนอเมริกันนิยมออกเสียงว่า พิชโซมิเตอร์ สังเกตจากรูปนี้ว่า ไพเอโซมิเตอร์ควรมีความสูงของปากบ่อที่ระดับเอวเพื่อสะดวกในการตรวจวัดระดับแรงดันน้ำหรือเก็บตัวอย่างน้ำเพราะไม่ต้องก้มตัว จากชื่อไพเอโซมิเตอร์ นี้เองที่ทำให้นักอุทกธรณีวิทยาในอดีตเรียกชื่อระนาบที่เชื่อมต่อระหว่างระดับแรงดันน้ำในบ่อชนิดนี้จำนวนหลายบ่อว่า piezometer surface ซึ่งในปัจจุบันนี้นิยม

เรียกชื่อใหม่ว่า potentiometric surface ถ้าหลีกเลี่ยงได้ก็ไม่ควรใช้บ่อสังเกตการณ์เพื่อการอุปโภคบริโภค เพราะระดับน้ำบาดาลจะลดลง ไม่เป็นไปตามธรรมชาติ แต่บ่อสังเกตการณ์คุณภาพน้ำบาดาลต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่พอที่เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำจะใส่เข้าไปได้ เช่น 3-4 นิ้ว

3.2 ทฤษฎีการ Interpolation ข้อมูล

การ Interpolate ข้อมูล คือ การสร้างเส้นแนวโน้มเพื่อประมาณค่าในอดีตและอนาคต โดยเลือกใช้วิธี Inverse Distance Weight (IDW) วิธี IDW ทำการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่จะใช้จุดที่ทราบค่าข้อมูลที่อยู่ใกล้มาประมาณค่ามากกว่าใช้จุดที่อยู่ไกลออกไปโดยใช้ค่าถ่วงน้ำหนักคือส่วนกลับของระยะทางระหว่างจุดยกกำลัง K กล่าวได้ว่าถ้าระยะทางเพิ่มขึ้นค่าถ่วงน้ำหนักจะลดลงอย่างรวดเร็วการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าถ่วงน้ำหนักขึ้นอยู่กับค่ายกกำลัง K ถ้า K=0 แสดงถึงไม่มีการลดลงของระยะทางจะใช้ทุกๆจุดที่ทราบค่าข้อมูลมาใช้ในการคาดหมายค่าข้อมูลที่ไม่ทราบค่าถ้า K เพิ่มขึ้นค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับระยะห่างระหว่างจุดจะลดลงอย่างรวดเร็วดังรูป 3-1



ภาพที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางระหว่างจุดที่ทราบค่าข้อมูลกับค่าถ่วงน้ำหนัก

ในการประมาณข้อมูลเชิงพื้นที่แบบ IDW นั้นถ้า K มีค่ามากขึ้นจะมีเพียงบางจุดที่อยู่ใกล้เคียงใช้ในการคาดหมายจุดที่ไม่ทราบค่าข้อมูลโดยมีสมการทั่วไปสำหรับกระบวนการ Inverse Distance Weighted Method คือ

$$z_o = \frac{\sum_{i=1}^s z_i \frac{1}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{d_i^k}} \quad (3.7)$$

โดยที่ z_o คือ ค่าที่ถูกประมาณที่จุด o

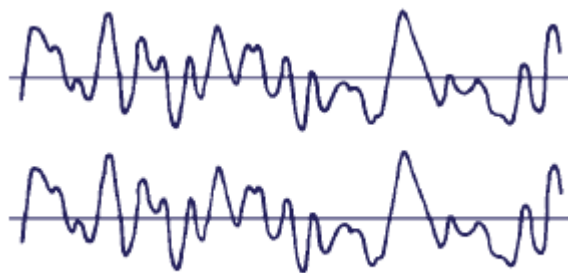
z_i คือ ค่าข้อมูลของจุดที่ทราบค่าข้อมูล (ค่าของ control point)

d_i คือ ระยะทางระหว่างจุดที่ทราบค่าข้อมูล ณ จุด i กับจุดที่ไม่ทราบค่าข้อมูลจุด o

s คือ จำนวนจุดที่ทราบข้อมูล ที่ใช้ในการประมาณค่าข้อมูล

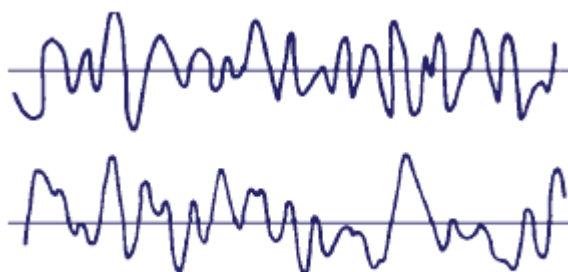
3.3 ทฤษฎีการหาความสัมพันธ์ด้วย Autocorrelation และ Pearson correlation

Correlation (similarity) คือการวัดความเหมือนกันของรูปคลื่นสัญญาณสองรูปคลื่น ซึ่งพิจารณาจากผลลัพธ์การคูณของขนาดของทั้งสองรูปคลื่น ณ ช่วงเวลาเดียวกัน แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดมาบวกรวมกัน ถ้ารูปคลื่นสองรูปคลื่นดังภาพที่ 3.2 ที่มีลักษณะเหมือนกัน ผลลัพธ์จากการคูณรูปคลื่นทั้งสองเข้าด้วยกัน แล้วนำมาบวกรวมกัน จะทำให้ได้ผลลัพธ์มีค่าเป็นบวกและมีค่าสูง



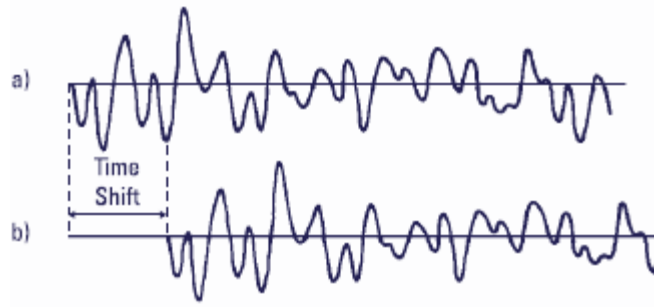
ภาพที่ 3.2 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณที่มีลักษณะเหมือนกัน

อย่างไรก็ตามเมื่อรูปคลื่นทั้งสองมีลักษณะที่ต่างกัันดังภาพที่ 3.3 ผลลัพธ์จากการคูณบางเวลาอาจมีค่าเป็นบวกและบางเวลาอาจมีค่าเป็นลบทำให้ผลรวมมีทั้งบวกและหักล้างกันทำให้ผลลัพธ์มีค่าเข้าใกล้ศูนย์



ภาพที่ 3.3 แสดงรูปคลื่นของสัญญาณที่มีลักษณะต่างกััน

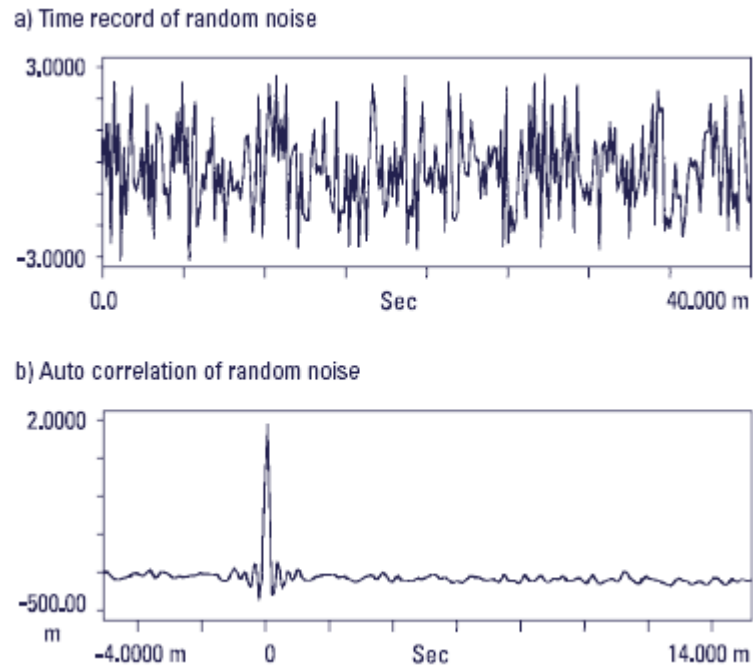
คราวนี้เรามาลองพิจารณาสัญญาณที่มีลักษณะเหมือนกันแต่มีเวลาที่เหลื่อมล้ำกันหรือ Time shift ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงรูปคลื่นที่เหมือนกันแต่ต่างเวลากัน (time shift)

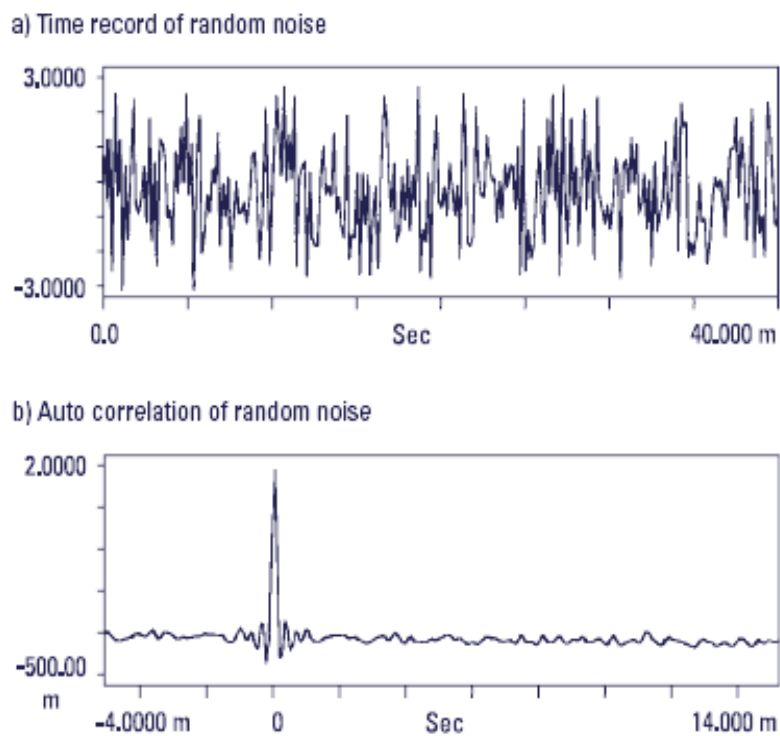
จากภาพที่ 3.4 ถ้าทั้งสองรูปคลื่นมีเวลาที่แตกต่าง time shift เป็นศูนย์ ผลลัพธ์ของผลรวมของผลคูณจากรูปคลื่นทั้งสองที่ได้ก็จะมีค่าเป็นบวกและมีค่าสูงเหมือนกับรูปคลื่นสัญญาณในภาพที่ 3.2 เพราะสัญญาณทั้งสองมีเฟสตรงกัน แต่ในกรณีถ้า time shift หรือเวลาแตกต่างกันมาก จะทำให้รูปคลื่นทั้งสองมีลักษณะที่แตกต่างกันผลลัพธ์จากการรวมกันของผลคูณจะมีค่าน้อยเข้าใกล้ศูนย์ เราสามารถหาค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ในแต่ละช่วง time shift ได้โดยการหารผลรวมนั้นด้วยจำนวนค่าของผลคูณ ถ้าเรานำค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์มาพล็อตในฟังก์ชันของ time shift โดยแกนนอนแสดงเวลา time shift และแกนตั้งแสดงค่าเฉลี่ยของผลรวม ในการพิจารณานี้จะพิจารณาหาผลรวมของผลคูณจากรูปคลื่นของสัญญาณเดียวกัน ในเวลาหนึ่งกับในอีกเวลาหนึ่งที่มีเวลาต่างกัน (time shift) เราก็จะได้เส้นกราฟที่มีค่าสูง (ยกกำลังสอง) เมื่อ time shift เป็นศูนย์ และมีค่าน้อยเข้าใกล้ศูนย์เมื่อ time shift เพิ่มขึ้น เส้นกราฟที่ได้เราจะเรียกว่า auto-correlation function ของรูปคลื่น เป็นกราฟที่แสดงความเหมือน หรือ correlation ระหว่างรูปคลื่นรูปคลื่นเดียวกันที่กำหนด time shift ต่างๆกัน กล่าวคือนำผลรวมของผลคูณระหว่างรูปคลื่นเดียวกันแต่ต่างเวลากันมาพล็อตในฟังก์ชันของ time shift ที่ต่างกัน

พิจารณาภาพที่ 3.5 แสดงสัญญาณของ random noise แบบหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะไม่เหมือนกันเลยเมื่อเปรียบเทียบ สัญญาณในช่วงเวลาต่างๆกัน หรือ time shift ต่างๆกัน ดังนั้นลักษณะกราฟ auto-correlation function ที่ได้จึงมีลักษณะมียอดสูงสุดในลักษณะ spike ในช่วงเวลา time shift เป็นศูนย์



ภาพที่ 3.5 แสดงรูปคลื่นที่มีลักษณะไม่มีคาบเวลาแน่นอน (random noise)

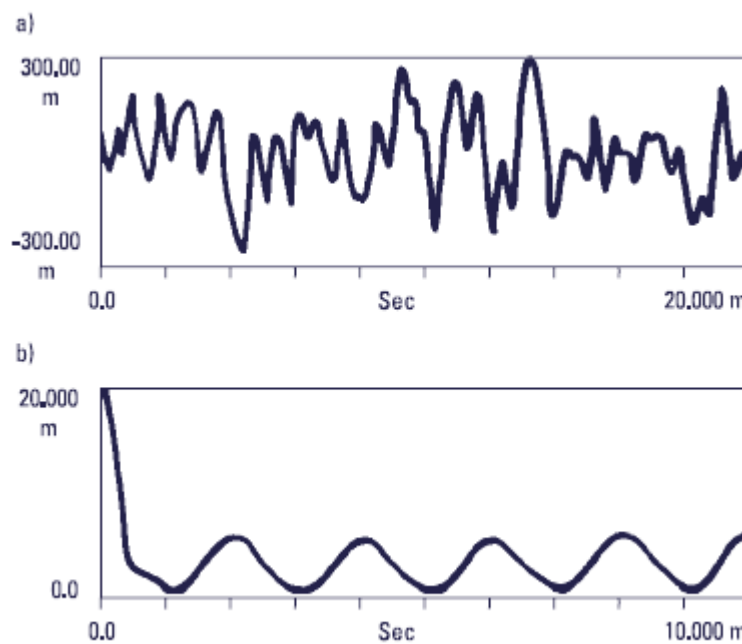
เมื่อพิจารณากรณีสัญญาณเทียมอย่าง Pseudo random noise ซึ่งมีลักษณะมีการซ้ำกันของคาบเวลาเป็นช่วงๆ และเมื่อ time shift เท่ากับคาบเวลาที่ซ้ำกันนั้น เส้นกราฟของ auto-correlation จะปรากฏ peak ซ้ำเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แสดง auto correlation ของสัญญาณแบบ pseudo random noise

จากกรณีสองตัวอย่างของ Auto-correlation ที่กล่าวมา ซึ่งยังมีรูปคลื่นลักษณะอื่นๆ ที่แตกต่างกันออกไปที่ยังไม่ได้พูดถึง แต่ทั้งสองกรณีทำให้เราทราบว่า กราฟ auto-correlation จะมีลักษณะมีคาบเวลาเกิดซ้ำในทำนองเดียวกันและมีคาบเวลาเท่ากันกับการเกิดคาบเวลาซ้ำของรูปคลื่นที่พิจารณา

ประโยชน์ของ auto-correlation คือการแยกสัญญาณออกจากสัญญาณใดๆ ที่ถูกรบกวนหรือกลบทับด้วย noise หรือสัญญาณรบกวน ภาพที่ 3.7 แสดงรูปคลื่นที่ดูเหมือน random noise แต่มีสัญญาณรูปคลื่นซายน์ซึ่งมีแอมพลิจูดต่ำๆ ถูกกลบรวมอยู่ในภาพที่ 3.7 ได้ทำการหาค่าเฉลี่ยจำนวน 100 ค่าของสัญญาณในการสร้างกราฟ auto-correlate ขึ้นมา จะเห็นว่าที่เวลา time shift เป็นศูนย์ กราฟจะเป็นลักษณะ spike ในขณะที่ที่เวลา time shift อื่นๆ เส้นกราฟจะมีลักษณะแสดงเป็นคาบเวลาคลายรูปคลื่นซายน์ที่ถูกกลบอยู่สัญญาณจริงอย่างชัดเจน



ภาพที่ 3.7 แสดง auto-correlation ของสัญญาณรูปคลื่นซายน์ที่ถูกสัญญาณรบกวนกลบทับ

Auto-correlation สามารถนำไปใช้ได้ดีกับงานวิเคราะห์การสั่นสะเทือน กับความถี่ที่มีลักษณะอิมพัลส์ซึ่งเกิดในช่วงสั้นๆ ซึ่งอาจถูกกลบด้วยความถี่อื่นๆ เช่นความถี่เสียหายของตลับลูกปืน ฟันเฟือง ต่างๆ ยังมีเทคนิคการวัดสัญญาณอีกแบบหนึ่งคือ Cross Correlation ซึ่งใช้เทคนิคเดียวกับ auto-correlation ซึ่งพิจารณารูปคลื่นรูปคลื่นเดียวซึ่งมี time shift ต่างๆ กัน แต่ cross correlation เป็นการพิจารณาหาความเหมือนกันของสองสัญญาณที่มีลักษณะรูปคลื่นแตกต่างกัน

3.4 ทฤษฎี Fourier series expansion

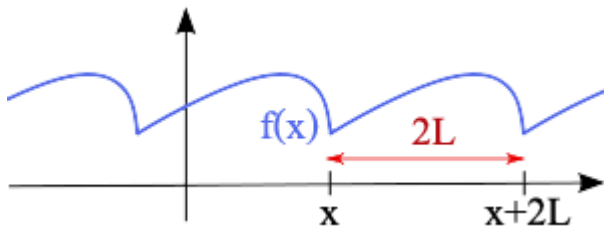
การแปรปรวนของสัญญาณที่วัดที่มีลักษณะไม่เป็นรายคาบ(random noise) และสัญญาณที่มีขนาดแอมพลิจูดสูงช่วงสั้นๆ หรืออิมพัลส์(impulse) ซึ่งการวินิจฉัยความถี่ของสัญญาณดังกล่าวด้วยเทคนิค FFT (Fast Fourier Transform) นั้นทำได้ยาก จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากรูปคลื่นสัญญาณประกอบการวินิจฉัยด้วยเทคนิค Fast Fourier Transform (FFT)

FFT เป็นเทคนิคที่เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่สามารถแยกความถี่ได้ (spectrum analyser) นำมาใช้ในการแยกความถี่จากสัญญาณสั่นสะเทือนที่วัดได้ โดย FFT เป็นแค่เทคนิคในการคำนวณกระบวนการแปลง DFT เพื่อลดเวลาในการแปลง DFT

DFT (Discrete Fourier Transform) คือ กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้พิจารณาฮาร์โมนิกส์ หรือความถี่ และองค์ประกอบทางต่างๆ ของลำดับหรือกลุ่มสัญญาณแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete time signal) ซึ่งสัญญาณไม่ต่อเนื่องนี้จะได้มาจากกระบวนการสุ่มสัญญาณที่มีความต่อเนื่องในช่วงคาบเวลาใดๆ (sampling)

DFS (Discrete Fourier Series) เป็นกระบวนการแปลงสัญญาณในโดเมนเวลาที่ไม่ต่อเนื่องกัน (discrete) และเป็นคาบ ไปเป็นสัญญาณในโดเมนความถี่ ที่ไม่ต่อเนื่องและเป็นคาบเช่นกัน แต่ในทางปฏิบัติเราอาจพบสัญญาณที่ไม่มีคาบเวลาก็ได้ เช่นสัญญาณอิมพัลส์ และสัญญาณแรนดอม ในการวิเคราะห์จึงต้องเลือกพิจารณาโดยตัดสัญญาณนั้นมาช่วงหนึ่ง และหา DFS ของสัญญาณช่วงดังกล่าว โดยสมมติให้เป็นช่วงเวลาหนึ่งคาบ โดยกระบวนการแปลงสัญญาณโดยกระบวนการ DFS เพียงช่วงหนึ่งคาบนี้ เราจะเรียกว่า DFT

สมมติว่า เรามีฟังก์ชัน $f(x)$ ที่มีลักษณะเป็นคาบ $2L$ ทุกๆเวลาผ่านไป $2L$ วินาทีค่าของฟังก์ชัน $f(x)$ จะกลับมาอยู่ที่ค่าเดิม



เขียนเป็นสมการว่า $f(x) = f(x+2L)$

สามารถ เขียนฟังก์ชัน $f(x)$ ให้อยู่ในรูปของผลบวกของ sin และ cos ได้ ดังนี้

$$f(x) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right).$$

โดยที่

$$a_0 = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx$$

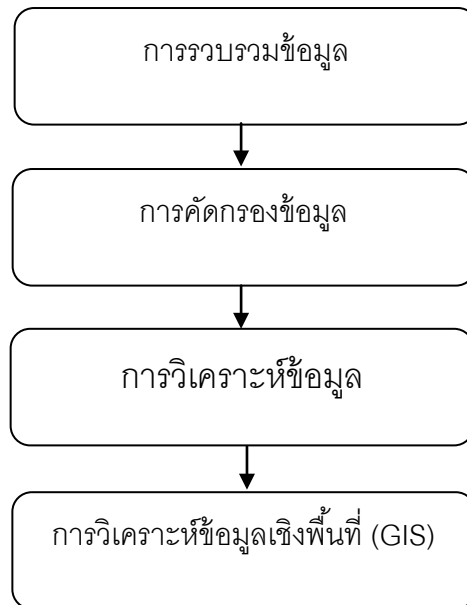
$$b_n = \frac{1}{L} \int_{-L}^L f(x) \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) dx.$$

นั่นก็คือ มี $f(x)$ อยู่ แล้วก็เอาไปเขียนใหม่ ให้อยู่ในรูปผลบวกของ $\cos$ กับ $\sin$ ได้ โดยที่สัมประสิทธิ์ $(a_n$ และ $b_n)$ ของแต่ละพจน์ก็หาได้จากสูตรข้างบน

บทที่ 4

ขั้นตอนการดำเนินการ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลในพื้นที่วิกฤตน้ำบาดาล มีความก้าวหน้าของขั้นตอนการศึกษา ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความก้าวหน้าของขั้นตอนการศึกษา

4.1 การเก็บรวบรวมและคัดกรองข้อมูล

ระดับน้ำบาดาลจากปากบ่อโดยเก็บจาก 618 สถานี ในเขต 7 จังหวัด ซึ่งจะเป็นประจำทุกเดือน ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2521 ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2554 ในแต่ละช่องตารางจะสังเกตเห็นว่ามีช่องว่างที่ไม่มีข้อมูลของระดับน้ำอยู่ นั้นหมายถึง ณ เวลานั้น ไม่มีการเก็บข้อมูล และอาจข้ามไปเป็นช่วงระยะเวลา (จากตารางที่ 4.1)

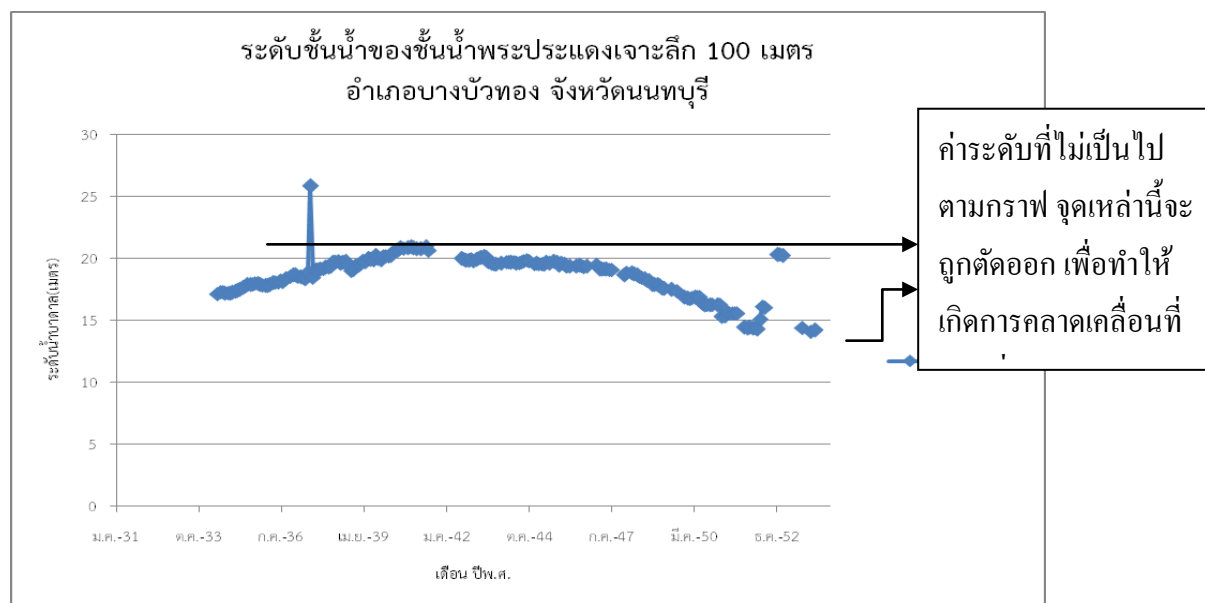
เนื่องจากข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมมีจำนวนมาก จึงต้องมีการคัดกรองข้อมูล จำแนกข้อมูลตามระดับชั้นน้ำบาดาล ความถูกต้องและความต่อเนื่องของข้อมูล ความสอดคล้องของตำแหน่งบ่อบาดาลในกราฟแสดงระดับน้ำบาดาลนั้น (ภาพที่ 4-2) จะมีเส้นระดับน้ำที่ต่อเนื่องกัน แต่จะมีบางจุดข้อมูลที่มีข้อมูลไม่ต่อเนื่องกับช่วงเวลารอบข้าง นั้นหมายถึงการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลจะเกิดการคลาดเคลื่อนหากใช้ข้อมูล ณ เวลานั้น จึงจะต้องทำการคัดข้อมูลออกเพื่อลดการคลาดเคลื่อนที่จะเกิดขึ้น

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงช่วงเวลาที่มีการเก็บข้อมูล

ม.ค.-21	ก.พ.-21	มี.ค.-21	เม.ย.-21	พ.ค.-21	มิ.ย.-21	ก.ค.-21	ส.ค.-21	ก.ย.-21	ต.ค.-21	พ.ย.-21	ธ.ค.-21	ม.ค.-22	ก.พ.-22
	28.02	28.71	29.46	28.80	29.98	30.18	29.92		29.52	29.09	29.06	29.04	28.93

- ช่วงเวลาที่ทำการสำรวจระดับน้ำจากปากบ่อ โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆเดือน
- ค่าระดับน้ำบาดาลที่วัดจากปากบ่อ ข้อมูลส่วนใหญ่จะมีการเพิ่มหรือลดไปในทิศทางเดียวกัน แต่ก็มีข้อมูลบางจุดที่ไม่เป็นไปตามแนวโน้ม ทำให้การคาดคะเนคลาดเคลื่อน หรือ การสำรวจที่ไม่ต่อเนื่อง อาจมีผลในการวิเคราะห์

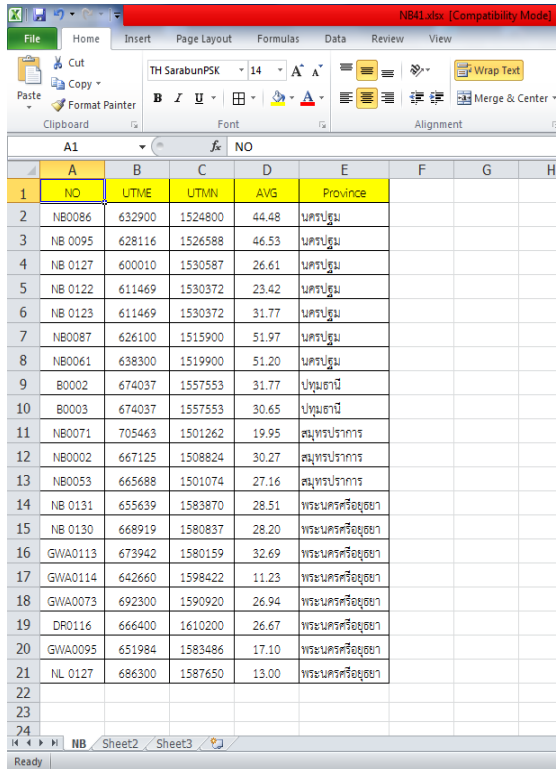
มิ.ย.-21	ก.ค.-21	ส.ค.-21	ก.ย.-21	ต.ค.-21	พ.ย.-21	ธ.ค.-21	ม.ค.-22	ก.พ.-22	มี.ค.-22	เม.ย.-22	พ.ค.-22	มิ.ย.-22	ก.ค.-22
26.47	26.45	26.49	26.42	26.31	25.75	25.14	26.27	26.01	26.11		25.43	26.04	26.61



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงระดับน้ำบาดาลวัดจากปากบ่อ (จากตารางที่ 4.1)

4.2. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ คือ การวิเคราะห์ถึงสถานการณ์ปัจจุบัน โดยการนำมาข้อมูลมาสร้างเส้นแนวโน้มเพื่อประมาณการ โดย Plot ข้อมูลลง GIS

- 1) คัดกรองข้อมูลจากแหล่งชั้นน้ำคือ พระประแดง นครหลวง และ นนทบุรีโดยใช้ข้อมูลเพียงหมายเลขบ่อ พิกัดบ่อ ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำที่วัดจากปากบ่อ และจังหวัดพื้นที่ศึกษา

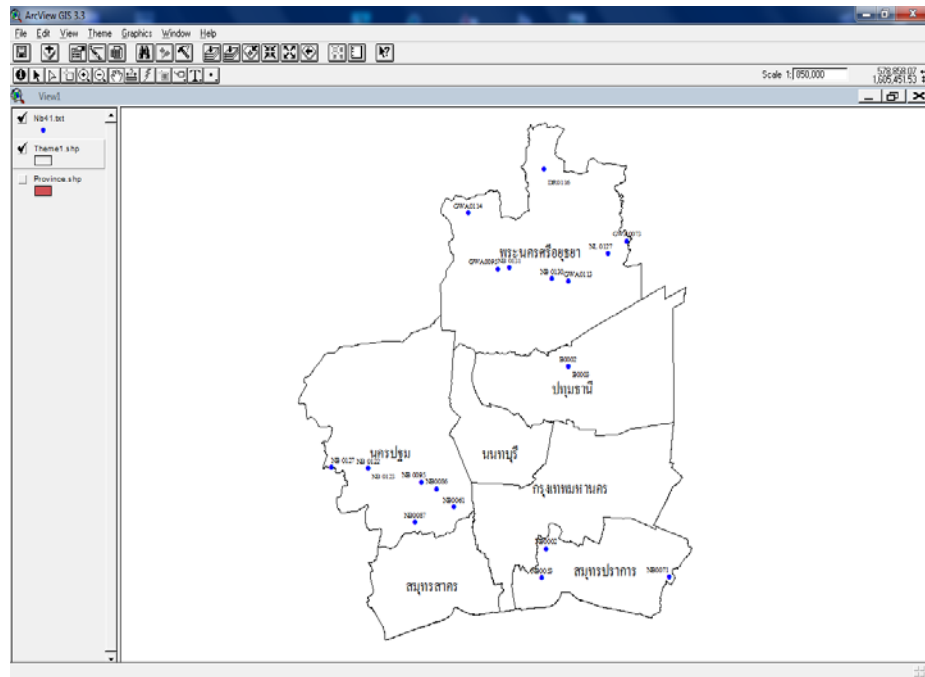


	A	B	C	D	E	F	G	H
	NO	UTME	UTMN	AVG	Province			
2	NB0086	632900	1524800	44.48	นครปฐม			
3	NB 0095	628116	1526588	46.53	นครปฐม			
4	NB 0127	600010	1530587	26.61	นครปฐม			
5	NB 0122	611469	1530372	23.42	นครปฐม			
6	NB 0123	611469	1530372	31.77	นครปฐม			
7	NB0087	626100	1515900	51.97	นครปฐม			
8	NB0061	638300	1519900	51.20	นครปฐม			
9	B0002	674037	1557553	31.77	ปทุมธานี			
10	B0003	674037	1557553	30.65	ปทุมธานี			
11	NB0071	705463	1501262	19.95	สมุทรปราการ			
12	NB0002	667125	1508824	30.27	สมุทรปราการ			
13	NB0053	665688	1501074	27.16	สมุทรปราการ			
14	NB 0131	655639	1583870	28.51	พระนครศรีอยุธยา			
15	NB 0130	668919	1580837	28.20	พระนครศรีอยุธยา			
16	GWA0113	673942	1580159	32.69	พระนครศรีอยุธยา			
17	GWA0114	642660	1598422	11.23	พระนครศรีอยุธยา			
18	GWA0073	692300	1590920	26.94	พระนครศรีอยุธยา			
19	DP0116	666400	1610200	26.67	พระนครศรีอยุธยา			
20	GWA0095	651984	1583486	17.10	พระนครศรีอยุธยา			
21	NL 0127	686300	1587650	13.00	พระนครศรีอยุธยา			
22								
23								
24								

No คือ หมายเลขของบ่ออาดา
UTME คือ พิกัดในแนวแกนX
UTMN คือ พิกัดในแนวแกนY
AVG คือ พิกัดในแนวตั้ง เฉลี่ยตาม

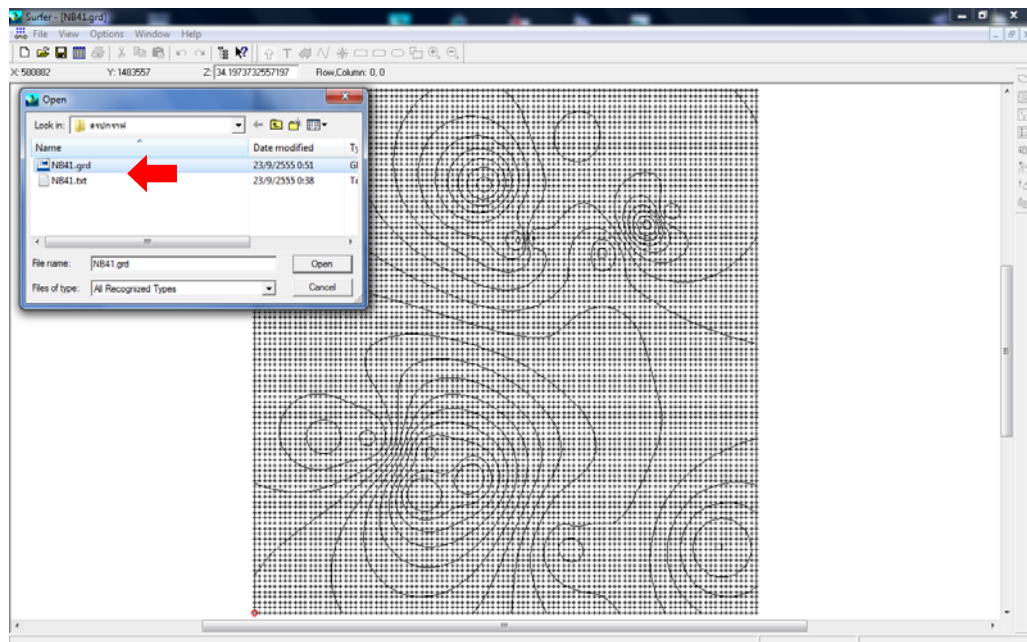
ภาพที่ 4.3 ตารางแสดงพิกัด ระดับ และพื้นที่ของบ่อ

- 2) นำข้อมูลที่คัดกรองลงตารางในโปรแกรม Arcview เพื่อฝึกดบ่อออกมา และสร้างภาพขอบเขตที่ศึกษา



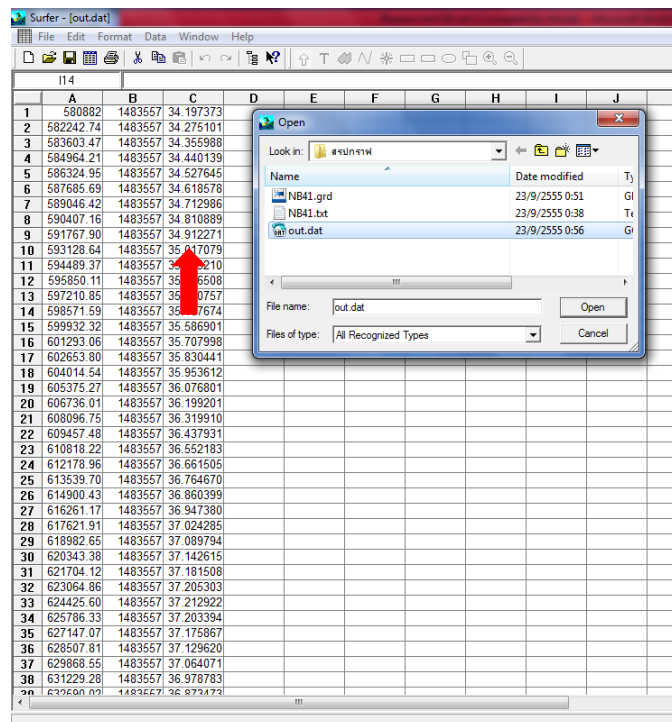
ภาพที่ 4.4 บ่อสังเกตที่ปรากฏในพื้นที่ทำการศึกษา จากโปรแกรม Arcview

- 3) ทำการInterpolate ข้อมูลจากข้อที่ 1) โดยใช้โปรแกรม surfer



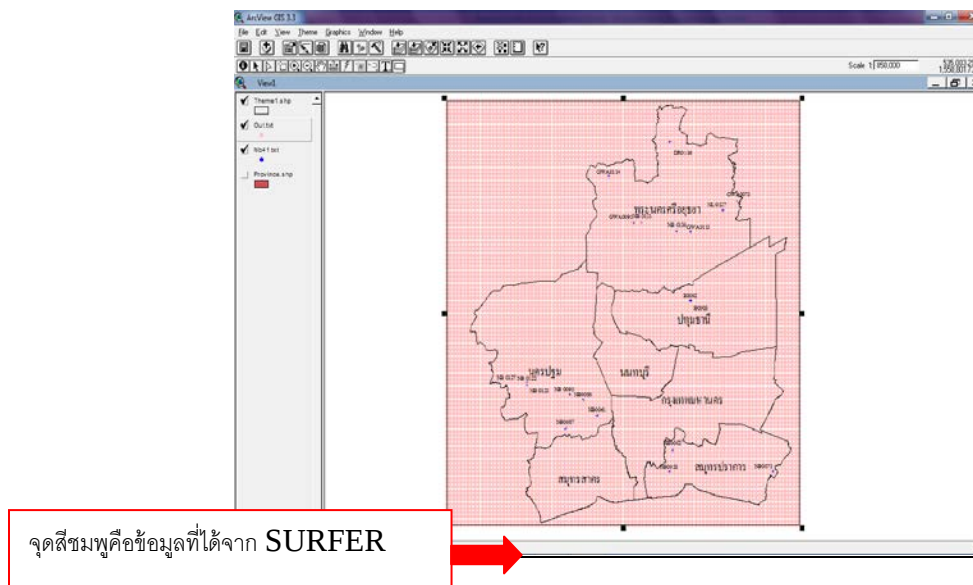
ภาพที่ 4.5 การ Interpolate ข้อมูลจากโปรแกรม Surfer

4) จะได้ข้อมูลที่ Interpolate ออกมา 10000 จุด



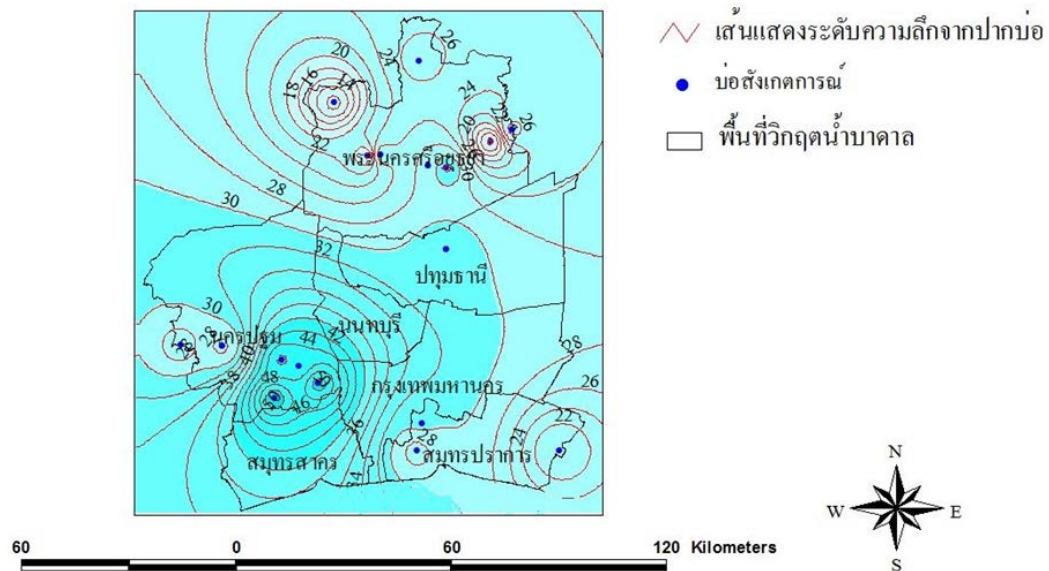
ภาพที่ 4.6 ข้อมูล Interpolate

5) นำข้อมูลที่ได้จากการ Interpolate มาใส่ในโปรแกรม Arcview อีกครั้ง เพื่อทำการคำนวณ พิกัดให้มีความแม่นยำมากขึ้น



ภาพที่ 4.7 การรวมข้อมูล Interpolate และ พื้นที่ศึกษา

6) ทำการสร้างเส้น contours ของระดับน้ำ



ภาพที่ 4.8 เส้นระดับแสดงความลึกของชั้นน้ำบาดาลจากปากบ่อ

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำโดยใช้ Fourier Theory Expansion

ในการวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎี Fourier Series Expansion จะแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ การหาเส้นแนวโน้มหรือ Trendline ของระดับน้ำบาดาลก่อน เรียกเส้นแนวโน้มนี้ว่า Interpolated groundwater หลังจากนั้นหาค่าความแตกต่างระหว่างค่าข้อมูลระดับน้ำจริงและค่า Interpolated groundwater แล้วนำค่าความแตกต่างนี้ไปหาคาบการเกิดซ้ำ (Period) โดยใช้ทฤษฎี Fourier Series Expansion

4.3.1 การหาค่า Interpolated groundwater

รูปลักษณะของอนุกรมเวลาส่วนมากแล้วสามารถอธิบายได้ด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน 2 ส่วนคือ แนวโน้ม (Trend) และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (Seasonality) ในองค์ประกอบแรกแสดงการเปลี่ยนแปลงของทั้งระบบตามเวลาในลักษณะของเส้นตรงหรือไม่ใช่เส้นตรงซึ่งพบบ่อยกว่า แต่การเปลี่ยนแปลงจะต้องไม่มีการซ้ำรูปลักษณะเดิม หรืออย่างน้อยจะต้องไม่ซ้ำในช่วงระยะเวลาที่เก็บข้อมูล ในขณะที่องค์ประกอบหลังคือการเปลี่ยนแปลงตามฤดูจะแสดงการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะคล้ายๆเดิม คือมีวงรอบของการกลับมาซ้ำแบบเดิม ในความเป็นจริงแล้วองค์ประกอบทั้งสองของอนุกรมเวลามักจะพบอยู่ด้วยกันเสมอ ตัวอย่างทางเศรษฐศาสตร์ เช่น ยอดการขายของบริษัทแห่งหนึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี แต่จะแสดงลักษณะที่คล้ายๆกันในแต่ละปี คือ ยอดขายในช่วงเดือนธันวาคมจะสูงประมาณร้อยละ 25 ของยอดขายเฉลี่ยทั้งปี แต่ในเดือนมีนาคมจะต่ำประมาณร้อยละ 4 เป็นต้น

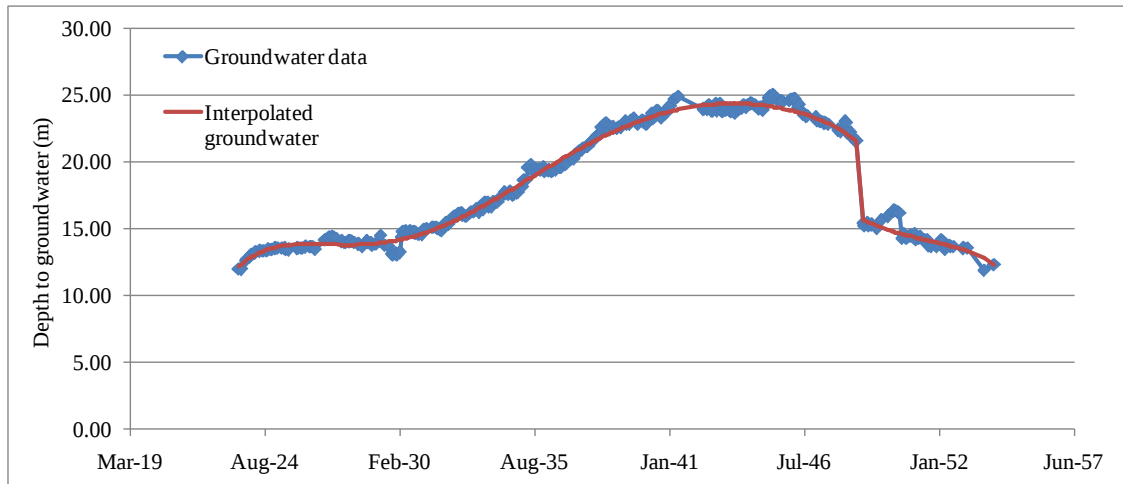
การหาค่า Interpolated groundwater จะใช้สมการ polynomial ดังสมการที่ 4.1 ตั้งแต่ 2 สมการขึ้นไปขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลน้ำบาดาลที่มีความต่อเนื่องเพียงใด โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้เส้นสมการจำนวน 2 สมการ

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + a_4x^4 + a_5x^5 \quad (4.1)$$

หลักการคือการหาสัมประสิทธิ์ a_i ที่ทำให้ค่าแนวโน้มและข้อมูลน้ำบาดาลมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุดและมีค่าความแตกต่างยกกำลังสองต่ำที่สุด ตารางที่ 4-2 แสดงการหาค่าแนวโน้มและความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงและค่าที่คำนวณได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงในภาพที่ 4-8 หลักจากนั้นทำการคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลและค่าที่คำนวณได้ เพื่อส่งผลลัพธ์ไปในการคำนวณหาค่าบการเกิดซ้ำในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.2 การหา Interpolated groundwater และค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้จริงและ Interpolated groundwater

Date	GW Data	Trend Interp	Data - Trend interp	Abs Error
May-23	11.58	11.71879879	-0.14	0.019265
Jun-23	12.60	11.88443379	0.72	0.512035
Aug-23	12.05	12.18351071	-0.13	0.017825
Sep-23	11.98	12.32252121	-0.34	0.117321
Nov-23	12.67	12.57209579	0.10	0.009585
Dec-23	12.72	12.68377331	0.04	0.001312
Jan-24	12.90	12.79190894	0.11	0.011684
Feb-24	13.00	12.89295867	0.11	0.011458
Mar-24	13.17	12.98133485	0.19	0.035595
Apr-24	13.20	13.06949977	0.13	0.01703
Jun-24	13.32	13.2250209	0.09	0.009021
Jul-24	13.36	13.29327402	0.07	0.004452
Aug-24	13.38	13.35844026	0.02	0.000465
Sep-24	13.37	13.41840998	-0.05	0.002344
Oct-24	13.42	13.47173293	-0.05	0.002676
Nov-24	13.45	13.52220145	-0.07	0.005213
Dec-24	13.50	13.56678128	-0.07	0.00446
Jan-25	13.53	13.60867045	-0.08	0.006189



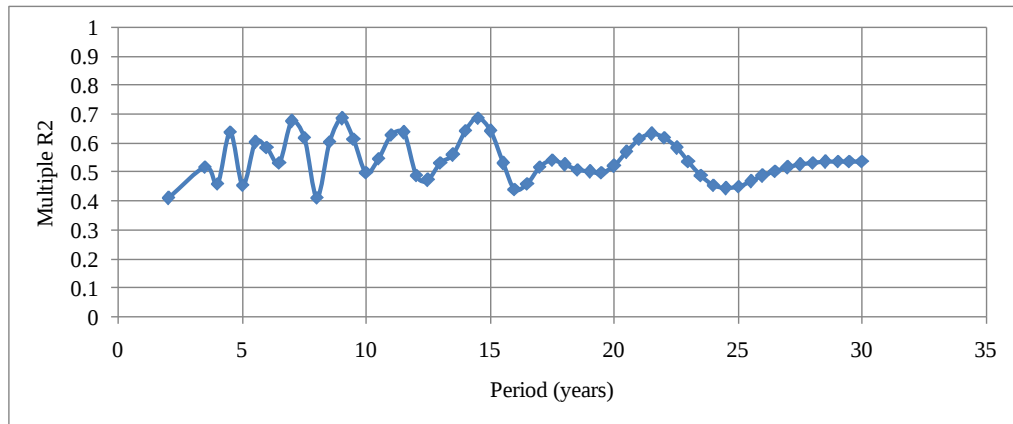
ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลน้ำบาดาลและค่า Interpolated groundwater

4.3.2 การหาคาบการเกิดซ้ำ (Period)

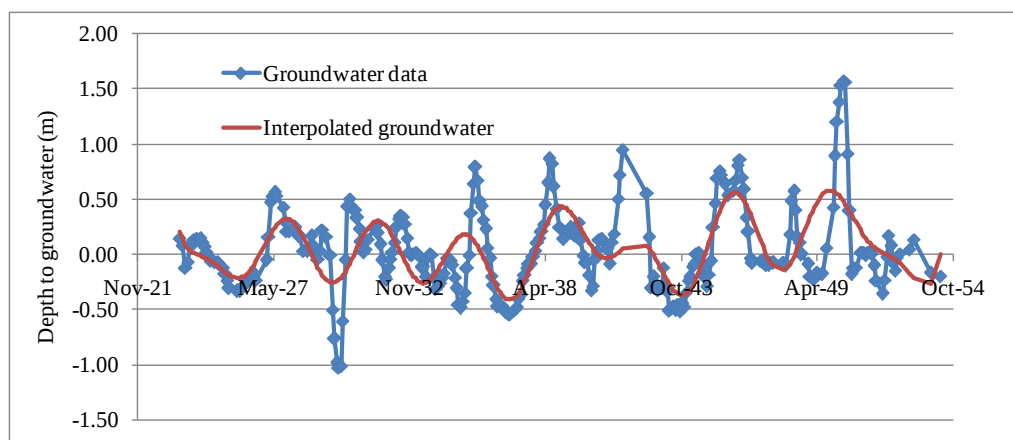
การหาคาบการเกิดซ้ำหรือ Period อาศัยทฤษฎี Fourier Series Expansion ดังที่ได้ อธิบายในทฤษฎีแล้วในบทที่ 3 หลักการคือการหาสัมประสิทธิ์ของแต่ละเทอมที่ทำให้ค่าที่คำนวณได้ ใกล้เคียงกับค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลน้ำบาดาลและค่า Interpolated groundwater ที่ส่งผ่านมาจากขั้นตอนที่แล้ว โดยให้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยที่สุด ตารางที่ 4-3 แสดงขั้นตอนการหา ค่าที่คำนวณได้โดย Fourier Series Expansion ทำการเปลี่ยนคาบการเกิดซ้ำไปเรื่อยๆในครอบคลุม คาบการเกิดซ้ำให้กว้างที่สุดคือประมาณตั้งแต่ 1 ปี จนถึง 25 หรือ 30 ปี แล้วให้คำนวณหาค่า R^2 ที่เกิดขึ้นจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าน้ำบาดาลที่ส่งมาจากขั้นตอนที่ 1 และค่าที่ได้จาก Fourier series expansion หากค่า R^2 มีค่าใกล้เคียงกับ 1 แสดงว่ามีความใกล้เคียงกันมากระหว่างข้อมูลทั้งสองชุด

ตารางที่ 4.3 ค่าที่คำนวณได้ในขั้นตอนการหาคาบโดย Fourier series Expansion

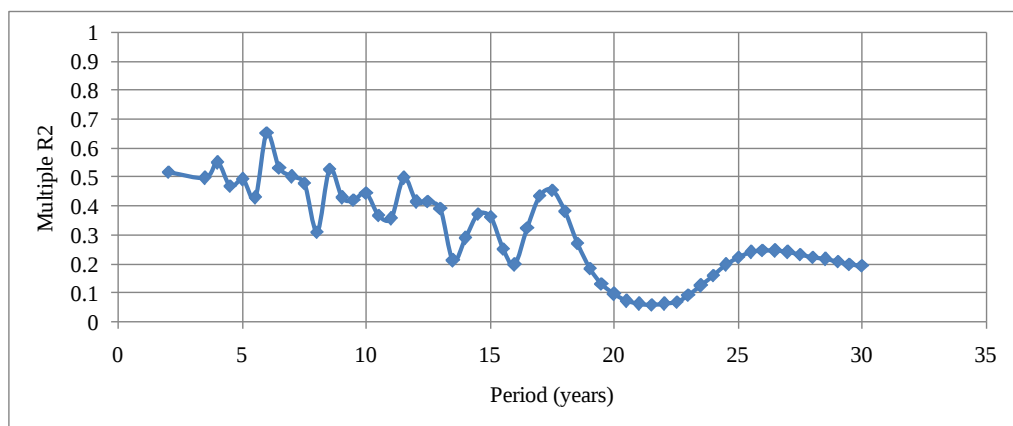
GW	Date	E=2 π Pix/365	y	cos(E)	sin(E)	cos(1.25E)	sin(1.25E)	cos(1.5E)	sin(1.5E)	cos(2E)	sin(2E)	cos(2.5E)	sin(2.5E)	cos(3E)	sin(3E)	cos(4E)	sin(4E)	cos(6E)	sin(6E)	sol	Error
	Aug-23	0.15	0.170540742	0.9854931	0.1697153	0.9773639	0.211565	0.9674584	0.2530302	0.9423935	0.3345065	0.9104805	0.413552	0.8719514	0.4895924	0.7762108	0.6304734	0.5205986	0.8538016	0.2077723	-0.06
	Sep-23	0.08	0.195361225	0.9809776	0.1941209	0.9703307	0.2417816	0.9573696	0.2888657	0.9246342	0.3808565	0.8830833	0.4692163	0.8331132	0.5531025	0.7090966	0.7043059	0.3881552	0.921594	0.1555273	-0.08
	Nov-23	-0.13	0.244201532	0.9703307	0.2417816	0.9537713	0.3005335	0.9336581	0.3581655	0.8830833	0.4692163	0.8193593	0.5732803	0.743435	0.6688082	0.5596722	0.8287141	0.1053911	0.9944309	0.0811594	-0.21
	Dec-23	-0.07	0.268221354	0.9642438	0.2650168	0.9443193	0.3290365	0.9201504	0.3915652	0.8595322	0.5110826	0.7834779	0.6214196	0.6933533	0.7205978	0.6775911	0.8278582	-0.0385228	0.9992577	0.0557409	-0.13
	Jan-24	0.08	0.293041838	0.9573696	0.2888657	0.9336581	0.3581655	0.9049378	0.4255438	0.833132	0.5531026	0.743435	0.6688082	0.6378242	0.7701814	0.3881552	0.921594	-0.1863568	0.9824818	0.0354241	0.01
	Feb-24	0.08	0.317061661	0.9501556	0.311776	0.9224851	0.3860327	0.8890216	0.4578653	0.8055914	0.5924715	0.7019575	0.7122189	0.5807188	0.8141042	0.297955	0.9545799	-0.3255314	0.9455312	0.020318	0.06
	Mar-24	0.13	0.340280823	0.942661	0.3337518	0.9108939	0.4126406	0.8725388	0.4885448	0.7772194	0.6292926	0.6594555	0.7517436	0.5226479	0.8525486	0.2081401	0.9780099	-0.4536784	0.8911655	0.0089407	0.13
	Apr-24	0.14	0.365101306	0.9340876	0.3570439	0.8976552	0.4406985	0.8537495	0.520684	0.7450393	0.6670206	0.6115697	0.7911906	0.4577763	0.8890674	0.110167	0.9939131	-0.5800817	0.813988	-0.0007402	0.14
	Jun-24	0.14	0.413941612	0.9155425	0.4022212	0.8690948	0.4946456	0.813348	0.5817775	0.6764363	0.7365012	0.5106514	0.8597878	0.3230698	0.9463751	-0.0848679	0.9963922	-0.7912518	0.6114905	-0.0158932	0.15
	Jul-24	0.10	0.437961435	0.9056181	0.4240942	0.8538537	0.5205131	0.7918634	0.6106983	0.6402882	0.681347	0.4581322	0.8888841	0.2540951	0.9671792	-0.1800619	0.9836553	-0.8708713	0.4915111	-0.0229062	0.12
	Aug-24	0.06	0.462781919	0.894814	0.4464391	0.8372961	0.5467497	0.7685831	0.6397499	0.6013842	0.79896	0.4021295	0.9155828	0.18144	0.983402	-0.2766741	0.9609638	-0.934159	0.3568569	-0.0306323	0.09
	Sep-24	0.01	0.487602402	0.8834587	0.4685091	0.8199326	0.57246	0.7442376	0.6679149	0.5609985	0.8287168	0.344579	0.9387573	0.107794	0.9941748	-0.3705613	0.928808	-0.9767672	0.214303	-0.0392704	0.05
	Oct-24	-0.03	0.511622225	0.8719514	0.4895924	0.8023777	0.5968166	0.719695	0.6942903	0.5205986	0.8538016	0.2876199	0.9577446	0.0359219	0.9993546	-0.4579542	0.8889758	-0.9974192	0.0717975	-0.0487697	0.02
	Nov-24	-0.06	0.536442709	0.8595322	0.5110816	0.7834779	0.6214196	0.6933533	0.7205978	0.4775911	0.8785822	0.2276752	0.9737371	-0.0385223	0.9992577	-0.5438134	0.8392062	-0.9970321	-0.0769873	-0.059991	0.00
	Dec-24	-0.06	0.560462531	0.8470093	0.531578	0.7644696	0.6446598	0.666946	0.7926572	0.3434513	0.905031	0.168875	0.9856456	-0.110366	0.993891	-0.6218116	0.7831668	-0.9756387	-0.2193835	-0.071992	0.01
	Jan-25	-0.07	0.585283015	0.8335558	0.5524353	0.7441039	0.6680639	0.6387494	0.7694148	0.3896304	0.9209713	0.1073813	0.9942179	-0.1839984	0.9829266	-0.6963762	0.7176769	-0.9322892	-0.3617137	-0.0857244	0.01
	Feb-25	-0.08	0.610103498	0.8195887	0.5729523	0.7230221	0.6908249	0.6096675	0.7926572	0.3434513	0.9391705	0.0455218	0.9989633	-0.256611	0.9665148	-0.7640823	0.6451187	-0.8683016	-0.4960367	-0.1005183	0.02
	Mar-25	-0.09	0.632522	0.8065391	0.591807	0.7033817	0.7108124	0.5826726	0.8121707	0.3010107	0.9536208	-0.0105085	0.9999448	-0.3209853	0.9470842	-0.8187851	0.5741001	-0.7939369	-0.6080002	-0.1145418	0.03
	May-25	-0.12	0.681362306	0.7767154	0.6298517	0.6587028	0.7524032	0.5216236	0.8531757	0.2065736	0.9794311	-0.1322211	0.9112202	-0.4581676	0.8900732	-0.9146547	0.404236	-0.5844006	-0.8114221	-0.1458191	0.02
	Jun-25	-0.17	0.70618279	0.7608445	0.6489342	0.6350458	0.7724745	0.4895051	0.8720004	0.1577688	0.9874761	-0.1934336	0.9811134	-0.5207695	0.8536973	-0.950218	0.3115858	-0.4575983	-0.889159	-0.1612023	-0.01
	Jul-25	-0.24	0.730202612	0.7450393	0.6670206	0.6115697	0.7911906	0.4577763	0.8890674	0.110167	0.9939131	-0.251965	0.9677364	-0.5808817	0.813988	-0.9757265	0.2189929	-0.3251528	-0.9456615	-0.1751241	-0.07
	Aug-25	-0.31	0.755023096	0.7282557	0.6853055	0.5867322	0.8097811	0.4243661	0.9054907	0.0607128	0.9981553	-0.1342049	0.9502492	-0.6398269	0.7685191	-0.9926279	0.1212016	-0.1812432	-0.9834383	-0.1880001	-0.12
	Dec-25	-0.34	0.852703708	0.6579495	0.7530621	0.4837345	0.8752148	0.2876199	0.9577446	-0.1342049	0.9909353	-0.5320018	0.8467432	-0.8345496	0.5509328	-0.9639781	0.3929461	-0.9195615	-0.2143113	-0.2143113	-0.12
	Jan-26	-0.33	0.878324853	0.6384414	0.7696705	0.4554613	0.8902556	0.2506088	0.9680884	-0.1847853	0.9827789	-0.5851101	0.8109539	-0.8743905	0.4852229	-0.9317088	0.5291174	-0.8485486	-0.2126547	-0.12	
	Feb-26	-0.30	0.903145336	0.6191431	0.7852782	0.4276258	0.9039559	0.2144008	0.9767458	-0.2333237	0.9723991	-0.6342724	0.7731096	-0.9080646	0.4188301	-0.8911201	-0.4537675	0.6491626	-0.7606497	-0.2070542	-0.09
	Mar-26	-0.28	0.925563838	0.6013842	0.79896	0.4021295	0.9155828	0.18144	0.983402	-0.2766741	0.9609638	-0.6765837	0.7363657	-0.934159	0.3568569	-0.8469029	-0.5317476	0.7453062	-0.6667223	-0.1984884	-0.09
	Apr-26	-0.26	0.950384321	0.5813704	0.813639	0.373534	0.9276165	0.14471	0.9894741	-0.3240168	0.9460513	-0.7209446	0.6929927	-0.9581181	0.2863735	-0.7900262	-0.6130731	0.8355804	-0.5487593	-0.1850714	-0.08



ภาพที่ 4.10 คาบที่ใช้ในการคำนวณ Fourier series expansion และ R^2 ครั้งที่ 1

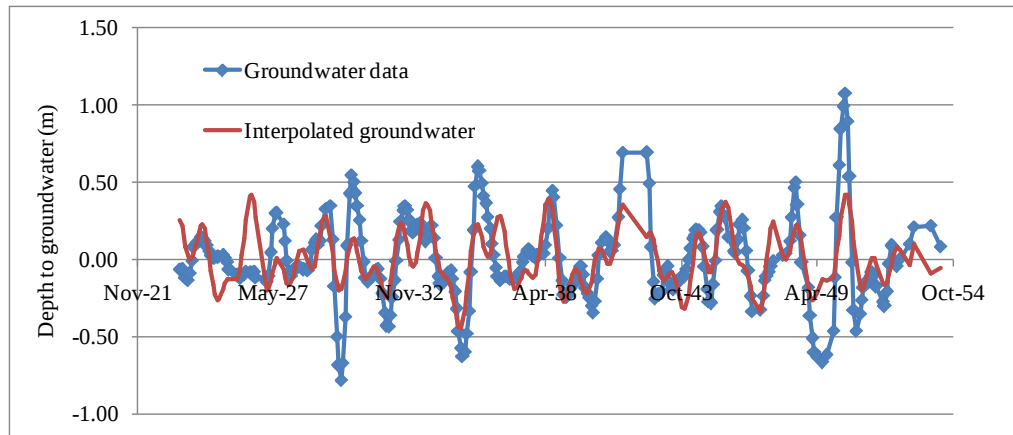


ภาพที่ 4.11 เปรียบเทียบข้อมูลน้ำบาดาลที่ส่งจากขั้นตอนแรกและ Interpolated groundwater จาก Fourier series expansion ครั้งที่ 1

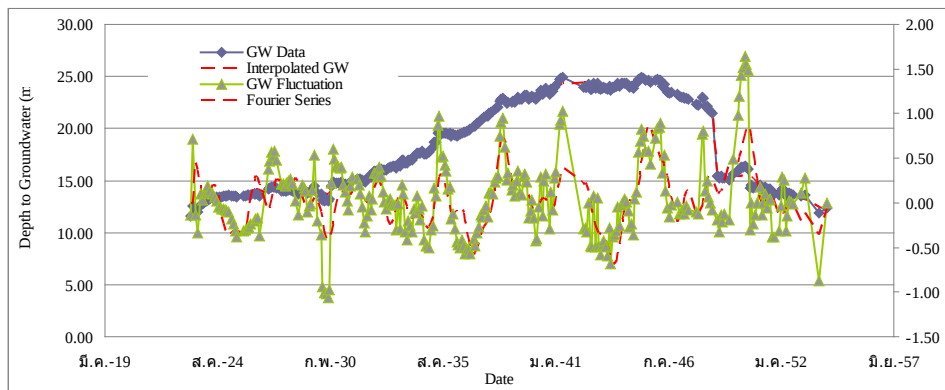


ภาพที่ 4.12 คาบที่ใช้ในการคำนวณ Fourier series expansion และ R^2 ครั้งที่ 2

โดยจะทำการหาคาบดังขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว 2 ครั้ง เปรียบเทียบเพื่อหาคาบการเกิดซ้ำที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 4.12 และภาพที่ 4.13 นำค่า Interpolated groundwater ที่ได้จากทั้งสองครั้งมารวมกัน ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบ Interpolated groundwater จากการหาเส้นแนวโน้มโดยฟังก์ชัน Polynomial ข้อมูลน้ำบาดาล ค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลและค่าที่คำนวณได้ และค่า Interpolated groundwater ที่ได้จากวิธี Fourier series expansion ทั้ง 2 ครั้ง



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบข้อมูลน้ำบาดาลที่ส่งจากขั้นตอนแรกและ Interpolated groundwater จาก Fourier series expansion ครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลน้ำบาดาล ค่าแนวโน้ม ค่าความแตกต่างระหว่างเส้นแนวโน้ม และข้อมูลน้ำบาดาล และค่าที่ได้จาก Fourier series expansion

บทที่ 5

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการคัดกรองข้อมูลค่าระดับน้ำบาดาลที่วัดจากปากบ่อในพื้นที่ศึกษาทั้ง 7 จังหวัด การวิเคราะห์ข้อมูลความสัมพันธ์ของระดับน้ำโดยคัดเลือกจากข้อมูลระดับน้ำที่มีความต่อเนื่องกัน และการวิเคราะห์ค่าการแปรปรวนของระดับน้ำบาดาลเพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

5.2 วิเคราะห์ค่าระดับความลึกของน้ำบาดาลเฉลี่ยจากปากบ่อและค่าต่ำสุดในรอบช่วงปีที่ศึกษา

จากการศึกษาระดับความลึกของน้ำบาดาลเฉลี่ยจากปากบ่อ ผู้ศึกษาได้ทำการแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 5 ช่วง ช่วงที่ 1 ปี 2521 – 2528 ช่วงที่ 2 ปี 2529 – 2537 ช่วงที่ 3 ปี 2538 – 2543 ช่วงปีที่ 4 ปี 2544 – 2547 ช่วงปีที่ 5 ปี 2548 – 2553 และในแต่ละปียังทำการเฉลี่ยค่าระดับความลึกน้ำบาดาล และแบ่งตามชั้นน้ำ เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงของชั้นน้ำ แต่ละชั้น ในแต่ละช่วงปี

ช่วงที่ 1 ปี 2521 – 2528 เป็นช่วงปีเริ่มแรกที่มีการเก็บข้อมูลระดับความลึก จากตารางที่ 5.1 จะแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความลึกและจากการคัดข้อมูล จุดต่ำสุดของชั้นน้ำพระประแดงจะอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 35.17 เมตร ในปี 2523 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนครหลวงจะอยู่ที่กรุงเทพมหานคร ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 49.28 เมตร ในปี 2527 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนนทบุรีจะอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 32.07 เมตร ในปี 2527

ตารางที่ 5.1 ค่าระดับความลึกเฉลี่ยจากปากบ่อของบ่อน้ำบาดาล (2521-2528)

ชั้นน้ำ	นครปฐม	กรุงเทพ	นนทบุรี	ปทุมธานี	สมุทรปราการ	สมุทรสาคร	อยุธยา
PD	-	21.71	-	-	27.78	-	-
NL	25.81	34.79	26.50	-	-	29.24	9.66
NB	-	-	-	-	29.46	-	-

หมายเหตุ

จุดต่ำสุด PD PD0010 วัดรวกต.บางพิง อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ ระยะ 35.17 เมตร(2523)
จุดต่ำสุด NL NL0016วัดแสนสุขต.มีนบุรี อ.มีนบุรี จ.กรุงเทพฯ ระยะ 49.28 เมตร (2527)
จุดต่ำสุด NBNB0002วัดบางหญ้าแพรกต.บางหญ้าแพรก อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ ระยะ 32.07 เมตร(2527)

ช่วงที่ 2 ปี 2529 – 2537 จากตารางที่ 5.2 จะแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความลึก และจากการคัดข้อมูล จุดต่ำสุดของชั้นน้ำพระประแดงจะอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่

58.26 เมตร ในปี 2537 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนครหลวงจะอยู่ที่กรุงเทพมหานคร ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 62.77 เมตร ในปี 2537 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนทบุรีจะอยู่ที่จังหวัดนครปฐม ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 45.84 เมตร ในปี 2537

ตารางที่ 5.2 ค่าระดับความลึกเฉลี่ยจากปากบ่อของบ่อน้ำบาดาล (2529-2537)

ชั้นน้ำ	นครปฐม	กรุงเทพ	นทบุรี	ปทุมธานี	สมุทรปราการ	สมุทรสาคร	อยุธยา
PD	23.94	23.54	18.26	24.43	28.19	19.82	16.98
NL	33.99	36.66	25.05	22.00	31.47	44.74	12.82
NB	41.62	-	-	-	23.79	-	-

หมายเหตุ

จุดต่ำสุด PD PD0038 วัดห้วยคู่นาราม ต.ศรีชะจรเข้ น้อย อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ ระยะ 58.26 เมตร (2537)
จุดต่ำสุด NL NL0084 วัดใหม่ลำนกแขวก ต.แสนแสบ อ.มีนบุรี จ.กรุงเทพฯ ระยะ 62.77 เมตร (2537)
จุดต่ำสุด NBNB0061 วัดท่าพุทไธสง อ.สามพราน จ.นครปฐม ระยะ 45.84 เมตร (2537)

ช่วงที่ 3 ปี 2538 – 2543 จากตารางที่ 5-3 จะแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความลึก และจากการคัดข้อมูล จุดต่ำสุดของชั้นน้ำพระประแดงจะอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 65.9 เมตร ในปี 2540 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนครหลวงจะอยู่ที่กรุงเทพมหานคร ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 72.20 เมตร ในปี 2541 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนทบุรีจะอยู่ที่จังหวัดนครปฐม ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 55.05 เมตร ในปี 2540

ตารางที่ 5.3 ค่าระดับความลึกเฉลี่ยจากปากบ่อของบ่อน้ำบาดาล (2529-2537)

ชั้นน้ำ	นครปฐม	กรุงเทพ	นทบุรี	ปทุมธานี	สมุทรปราการ	สมุทรสาคร	อยุธยา
PD	22.91	26.52	21.97	21.37	35.81	19.91	21.58
NL	33.68	43.13	29.43	25.65	36.80	40.85	18.90
NB	48.08	-	-	35.89	25.89	-	-

หมายเหตุ

จุดต่ำสุด PD PD0038 วัดห้วยคู่นาราม ต.ศรีชะจรเข้ น้อย อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ ระยะ 65.9 เมตร (2540)
จุดต่ำสุด NL NL0084 วัดใหม่ลำนกแขวก ต.แสนแสบ อ.มีนบุรี จ.กรุงเทพฯ ระยะ 72.20 เมตร (2541)
จุดต่ำสุด NBNB0061 วัดท่าพุทไธสง อ.สามพราน จ.นครปฐม ระยะ 55.05 เมตร (2540)

ช่วงที่ 4 ปี 2544 – 2547 จากตารางที่ 5-4 จะแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความลึก และจากการคัดข้อมูล จุดต่ำสุดของชั้นน้ำพระประแดงจะอยู่ที่จังหวัดสมุทรปราการ ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 53.36 เมตร ในปี 2544 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนครหลวงจะอยู่ที่กรุงเทพมหานคร ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 63.08 เมตร ในปี 2544 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนทบุรีจะอยู่ที่จังหวัดนครปฐม ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 54.50 เมตร ในปี 2545

ตารางที่ 5.4 ค่าระดับความลึกเฉลี่ยจากปากบ่อของบ่อน้ำบาดาล (2544 – 2547)

ชั้นน้ำ	นครปฐม	กรุงเทพ	นนทบุรี	ปทุมธานี	สมุทรปราการ	สมุทรสาคร	อยุธยา
PD	23.72	24.82	21.13	23.15	32.26	21.15	16.19
NL	36.11	38.57	27.36	24.93	32.95	32.99	21.58
NB	49.52	-	-	31.32	25.82	-	17.00

หมายเหตุ

จุดต่ำสุด PD PD0038 วัดห้วยคู่นารามต.ศรีษะจรเข้ น้อยอ.บางเสาธงจ.สมุทรปราการระยะ 53.36 เมตร (2544)

จุดต่ำสุด NL NL0084วัดใหม่ลำนกแขวกต.แสนแสบ อ.มีนบุรี จ.กรุงเทพฯระยะ 63.08 เมตร (2544)

จุดต่ำสุด NBNB0061วัดท่าพุดต.ไร่ขิง อ.สามพราน จ.นครปฐม ระยะ 54.50 เมตร (2545)

ช่วงที่ 5 ปี 2548 – 2553 จากตารางที่ 5-5 จะแสดงค่าเฉลี่ยของระดับความลึก และจากการคัดข้อมูล จุดต่ำสุดของชั้นน้ำพระประแดงจะอยู่ที่จังหวัดสมุทรสาคร ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 85.26 เมตร ในปี 2548 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนครหลวงจะอยู่ที่สมุทรสาคร ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 74.87 เมตร ในปี 2548 จุดต่ำสุดของชั้นน้ำนนทบุรีจะอยู่ที่จังหวัดสมุทรสาคร ระดับความลึกจากปากบ่ออยู่ที่ 94.69 เมตร ในปี 2548

ตารางที่ 5.5 ค่าระดับความลึกเฉลี่ยจากปากบ่อของบ่อน้ำบาดาล (2548 – 2553)

ชั้นน้ำ	นครปฐม	กรุงเทพ	นนทบุรี	ปทุมธานี	สมุทรปราการ	สมุทรสาคร	อยุธยา
PD	23.91	22.69	19.00	22.50	22.27	29.28	17.66
NL	31.44	30.23	24.73	22.95	26.89	41.59	17.36
NB	31.11	33.98	21.85	26.22	22.55	56.95	21.42

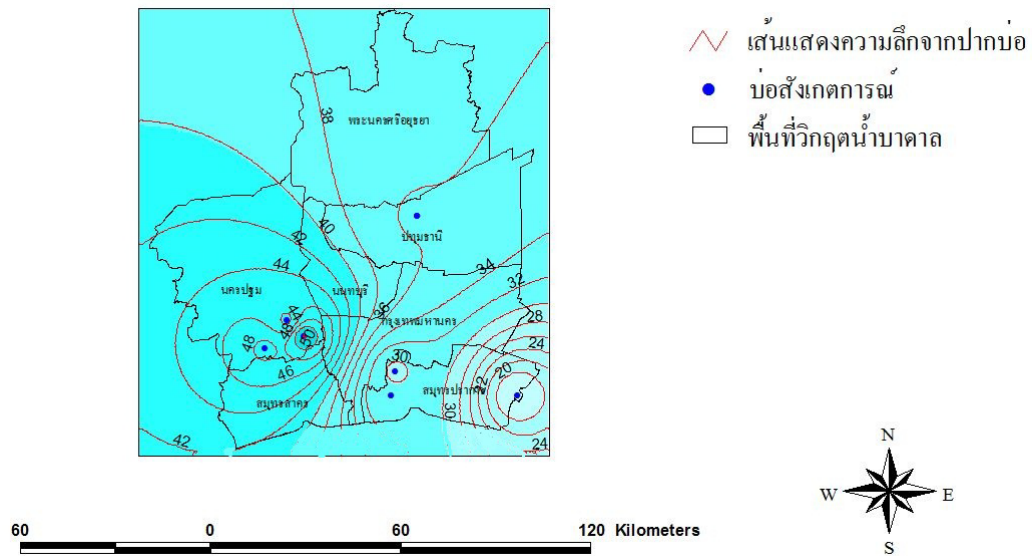
หมายเหตุ

จุดต่ำสุด PD PD0132 วัดใหญ่จอมปราสาทต.ท่าจีน อ.เมือง จ.สมุทรสาครระยะ 85.26เมตร(2548)

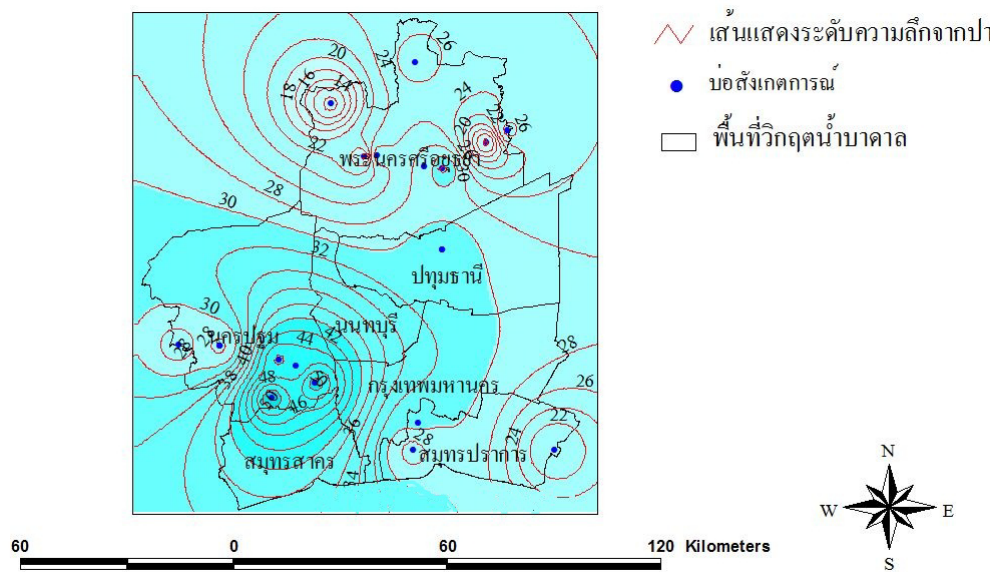
จุดต่ำสุด NL NL0109วัดไ้บ้านบ่อต.บ้านบ่อ อ.เมือง จ.สมุทรสาคร ระยะ 74.87 เมตร(2548)

จุดต่ำสุด NB NB0112วัดเทพนพรัตน์ ม.4ต.นาดี อ.เมือง จ.สมุทรสาคร ระยะ94.69เมตร(2548)

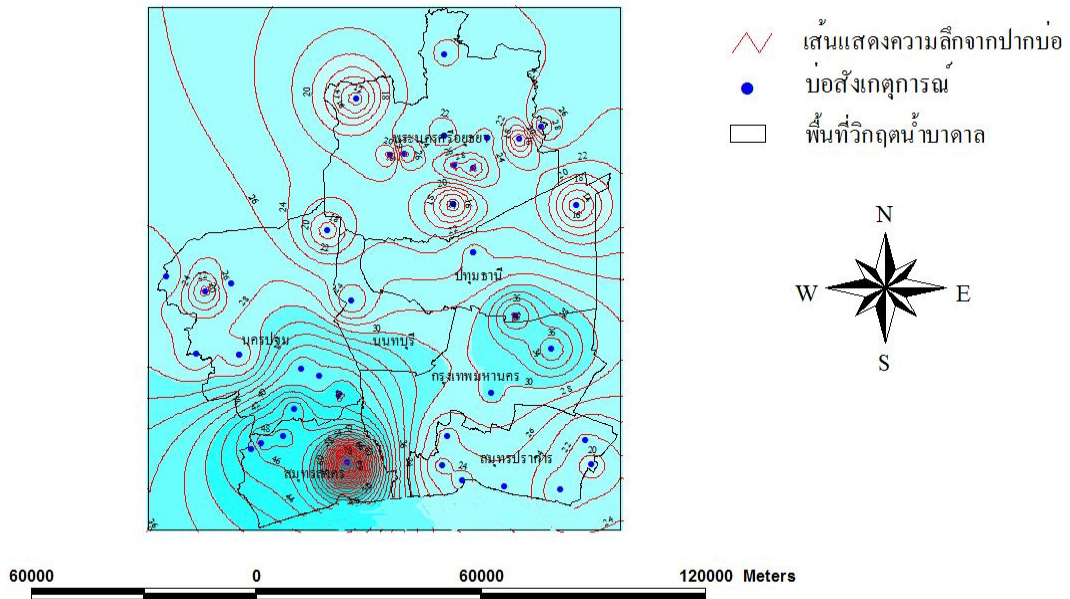
5.3 การวิเคราะห์ข้อมูลระดับความลึกน้ำบาดาลจากปากบ่อของชั้นน้ำและแบ่งตามช่วงเวลา



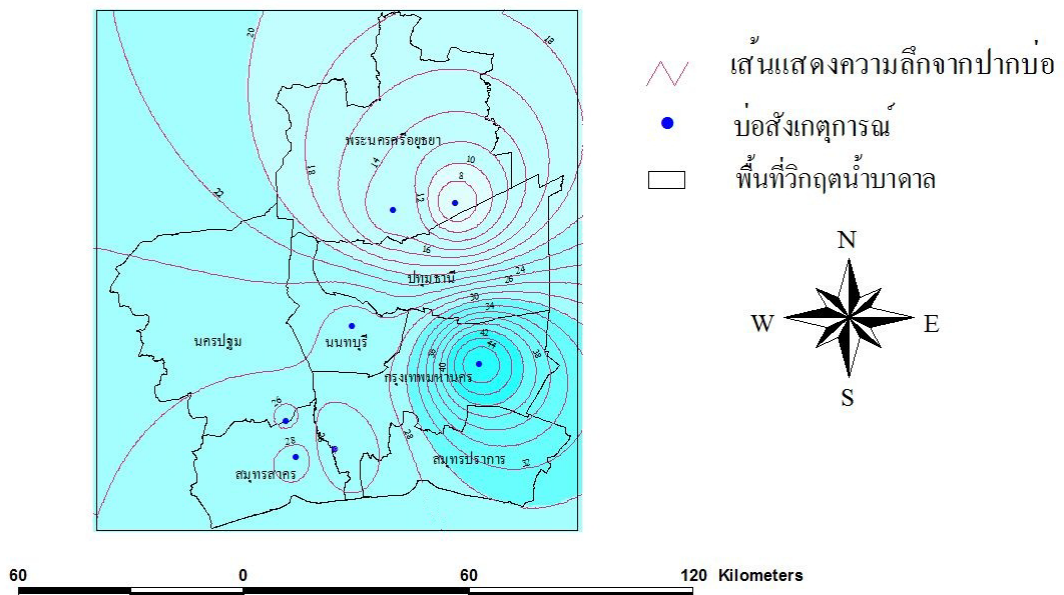
ภาพที่ 5.1 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำนันทบุรี ในช่วงปี 2538 - 2543



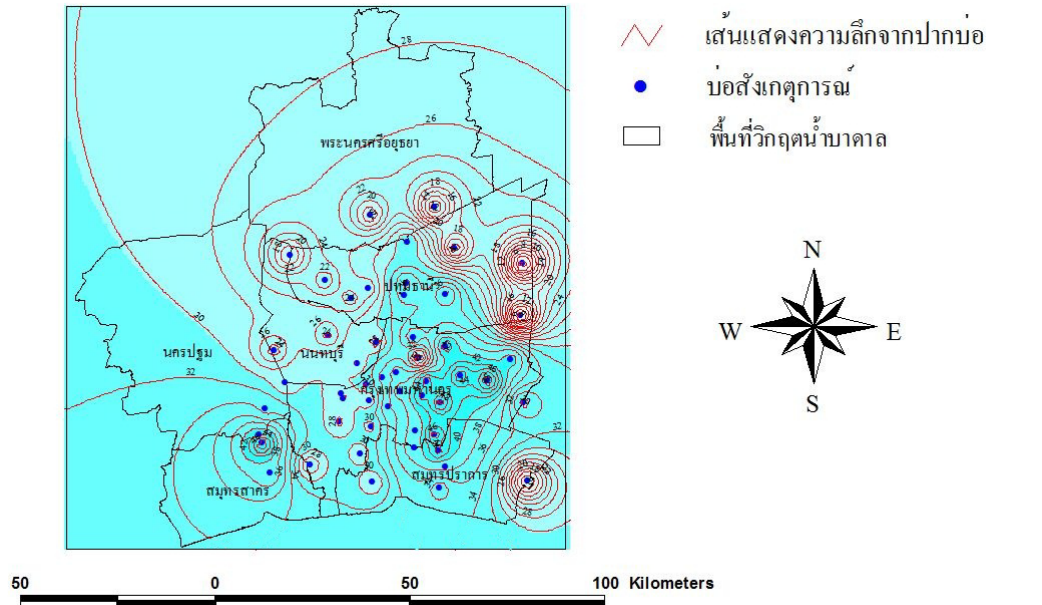
ภาพที่ 5.2 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำนันทบุรี ในช่วงปี 2544 - 2547



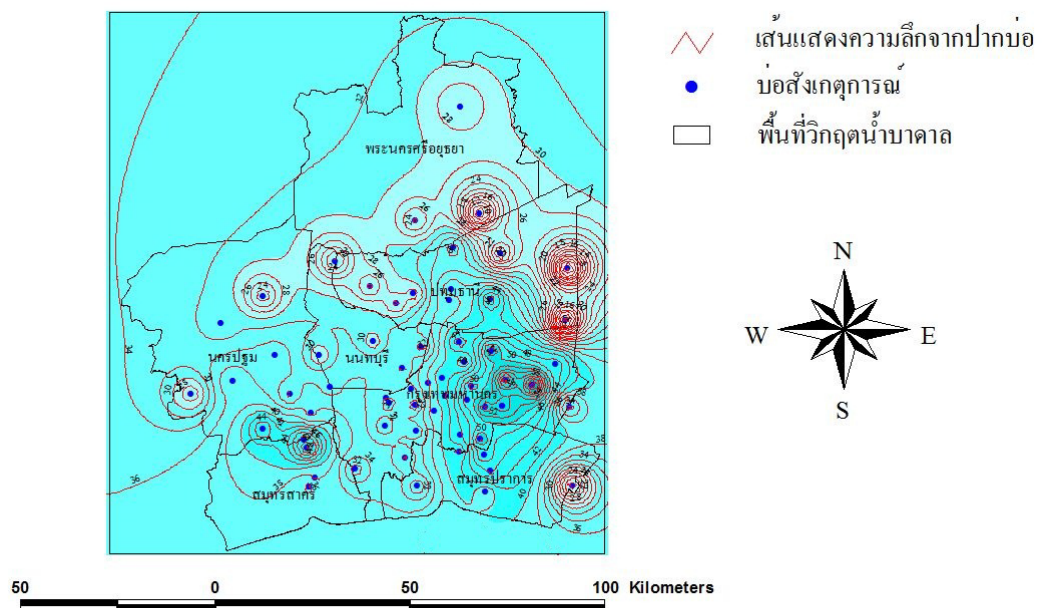
ภาพที่ 5.3 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำนนทบุรี ในช่วงปี 2548 - 2553



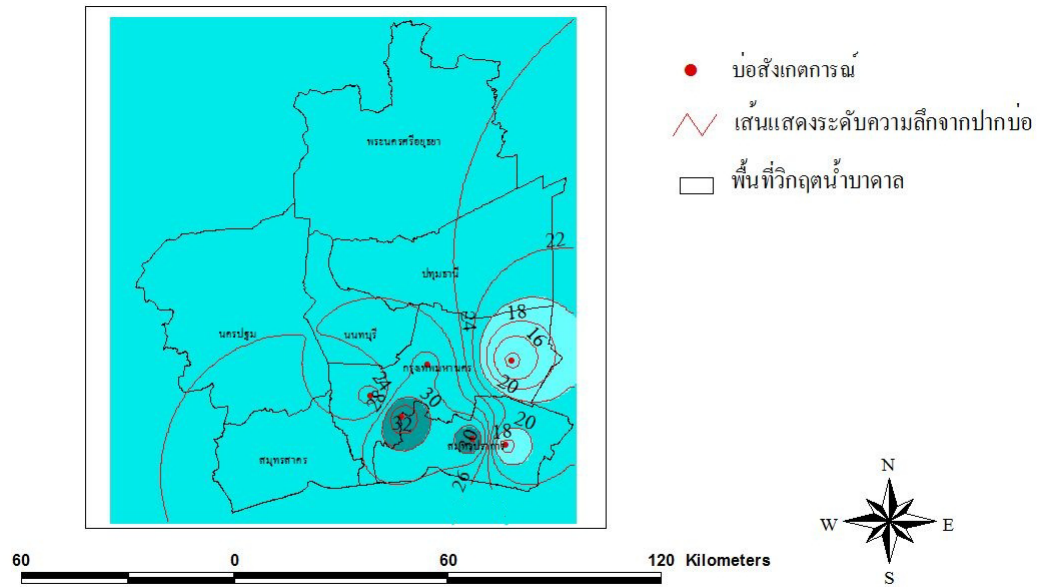
ภาพที่ 5.4 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำนครหลวง ในช่วงปี 2521 - 2528



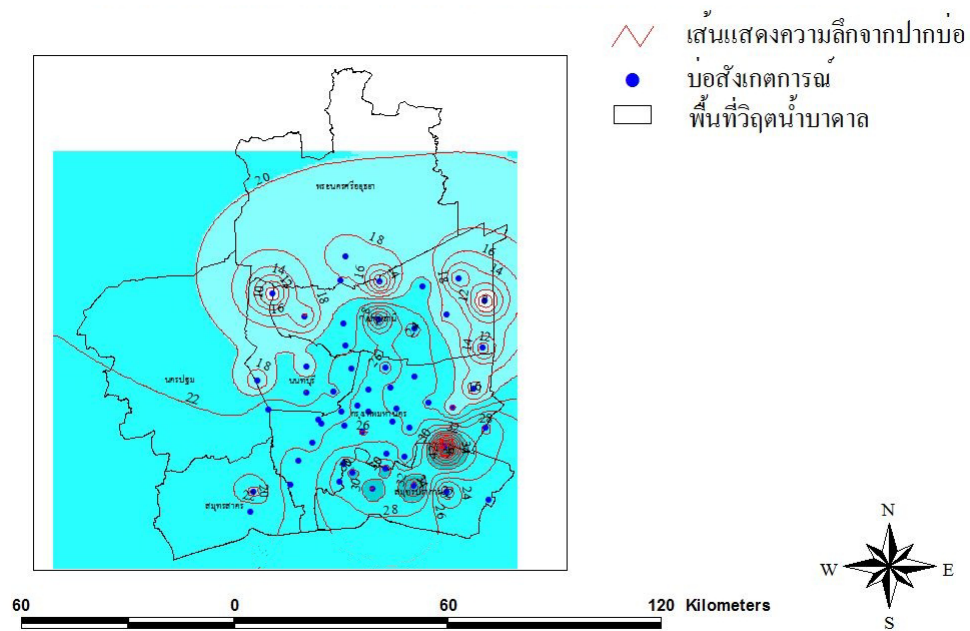
ภาพที่ 5.5 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำนํ้าครหลวง ในช่วงปี 2529 - 2537



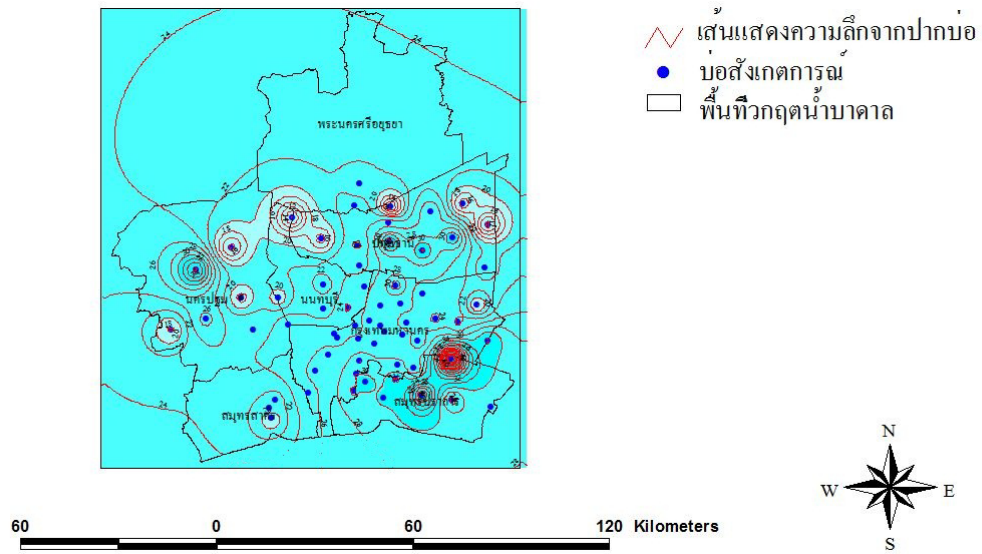
ภาพที่ 5.6 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำนํ้าครหลวง ในช่วงปี 2538 - 2543



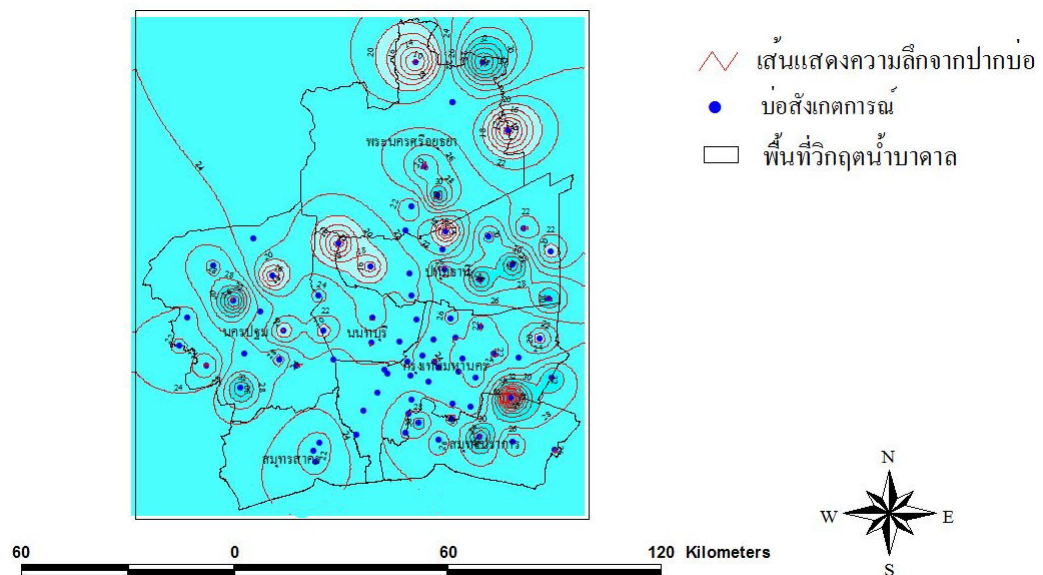
ภาพที่ 5.9 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำพระประแดง ในช่วงปี 2521 - 2528



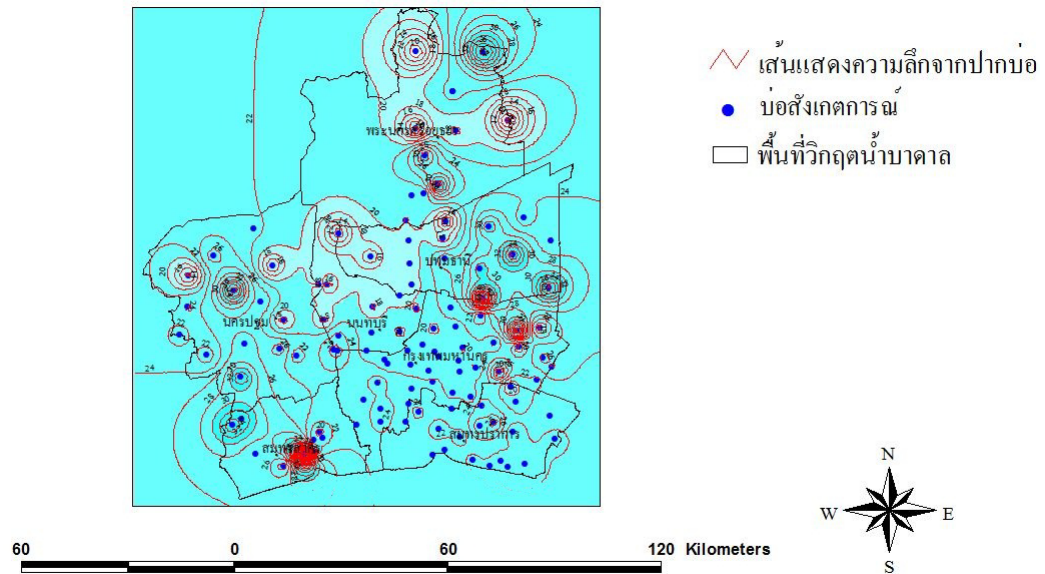
ภาพที่ 5.10 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำพระประแดง ในช่วงปี 2529 - 2537



ภาพที่ 5.11 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของเขื่อนน้ำพระประแดง ในช่วงปี 2538 - 2543



ภาพที่ 5.12 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของเขื่อนน้ำพระประแดง ในช่วงปี 2544 - 2547

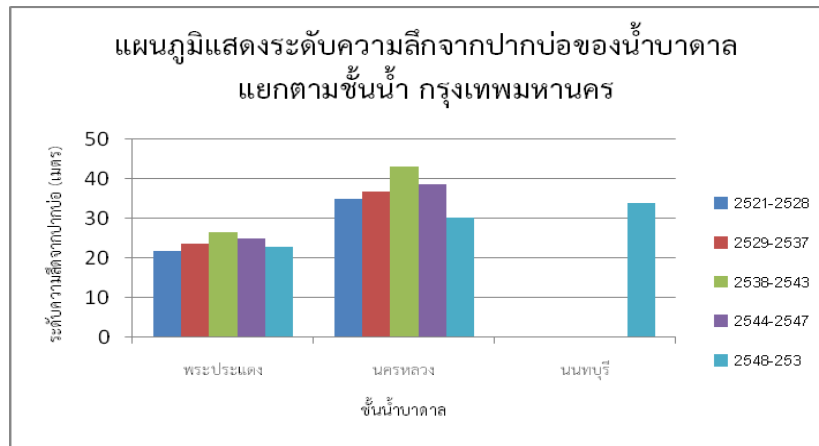


ภาพที่ 5.13 เส้นระดับความลึกจากปากบ่อของชั้นน้ำพระประแดง ในช่วงปี 2547 - 2553

5.4 วิเคราะห์ค่าระดับความลึกน้ำบาดาลในชั้นน้ำและพื้นที่เดียวกัน เทียบตามช่วงเวลา

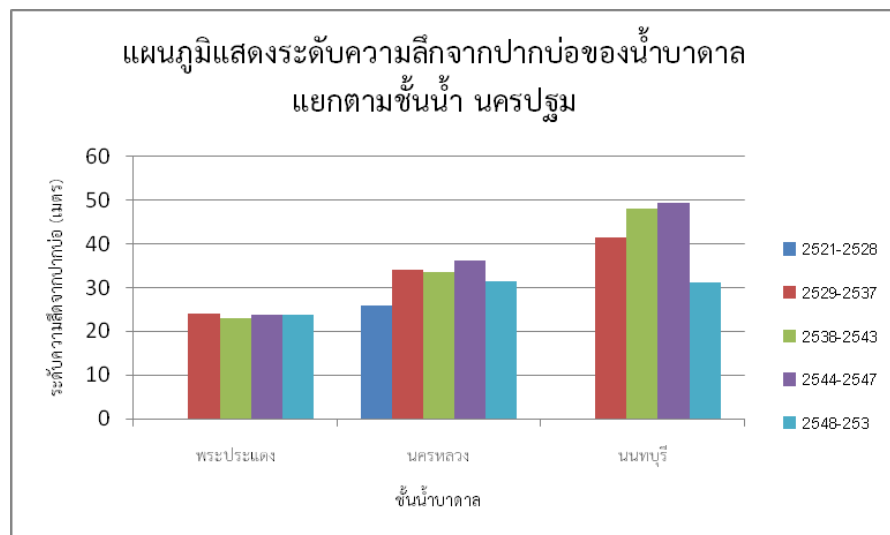
จากแผนภูมิแสดงระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลแยกตามชั้นน้ำบาดาลแยกตามของแต่ละจังหวัดทั้งหมด 7 จังหวัด แสดงให้เห็นว่าค่าระดับความลึกจากปากบ่อ ชั้นน้ำของน้ำบาดาลมีค่าสอดคล้องกับกฎหมายพระราชบัญญัติ พ.ศ. 2520 เรื่อง การเก็บค่าใช้น้ำบาดาล 1 บาท/ลูกบาศก์เมตร จากนั้นในพ.ศ. 2537 มีการเรียกเก็บค่าใช้น้ำบาดาลเพิ่มจาก 1 บาท เป็น 3.50 บาท และในพ.ศ. 2543 ถึงปัจจุบันมีการเรียกเก็บค่าใช้น้ำบาดาลเพิ่มเป็น 8.50 บาท/ลูกบาศก์เมตร และยังมีการเรียกเก็บค่าอนุรักษ์เพิ่มในปี 2547 อีก 8.50 บาท/ลูกบาศก์เมตร จึงส่งผลให้ระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลมีแนวโน้มปรับตัวตามกฎหมาย

จากภาพที่ 5.14 ในพื้นที่กรุงเทพมหานครในชั้นพระประแดงระดับความลึกจากปากบ่อเฉลี่ยในปี 2529 - 2537 มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับค่าระดับความลึกจากปากบ่อเฉลี่ยในปี 2521 - 2528 ที่มีการเรียกเก็บค่าน้ำบาดาล 1 บาท/ลูกบาศก์เมตร ในปีพ.ศ. 2521 จากนั้นในปี พ.ศ. 2544 มีการเรียกเก็บเพิ่มขึ้นจาก 3.5 บาทในปีพ.ศ. 2537 เป็น 8.5 บาท/ลูกบาศก์เมตร ในปีพ.ศ. 2544 และเก็บค่าอนุรักษ์ในปีพ.ศ. 2547 อีก 8.5 บาท ทำให้ระดับน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในชั้นนครหลวง



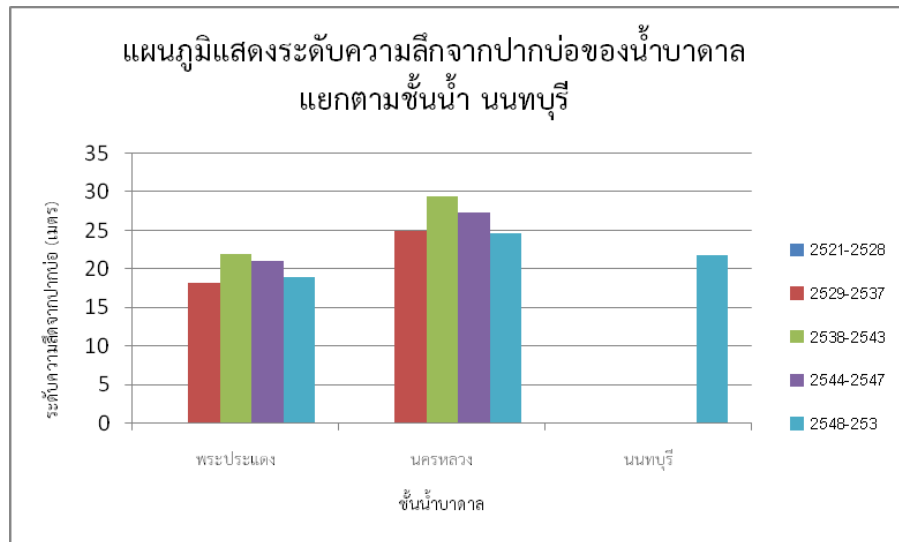
ภาพที่ 5.14 ระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลแยกตามชั้นน้ำของพื้นที่กรุงเทพมหานคร

จากภาพที่ 5.15 ในพื้นที่จังหวัดนครปฐม ชั้นน้ำบาดาลนนทบุรีมีการเปลี่ยนแปลงการใช้
บาดาลที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน ถึงแม้จะมีการเก็บค่าน้ำบาดาล ในปี 2521 – 2547 แต่เมื่อเข้าในปี
2548 การใช้น้ำลดลงอย่างมาก เพราะ มีการเก็บค่าน้ำบาดาล 8.5 บาทต่อลูกบาศก์เมตร รวมกับค่า
อนุรักษ์น้ำบาดาล



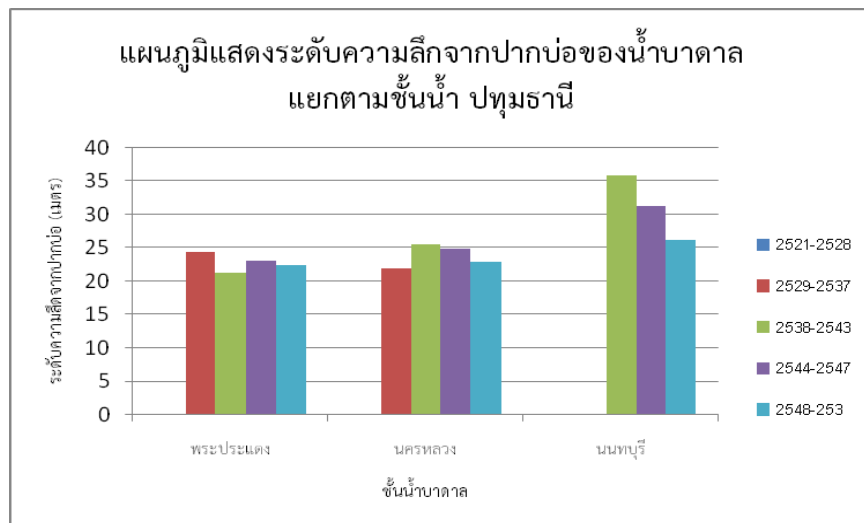
ภาพที่ 5.15 ระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลแยกตามชั้นน้ำของพื้นที่จังหวัดนครปฐม

จากภาพที่ 5.16 พื้นที่จังหวัดนนทบุรี ในชั้นน้ำพระประแดงและนครหลวง มีการ
เปลี่ยนแปลงของระดับความลึกจากปากบ่อที่ลดลง เพราะมีการเพิ่มอัตราค่าใช้น้ำบาดาล และเพิ่มค่า
อนุรักษ์น้ำบาดาลเข้ามาในปี 2547



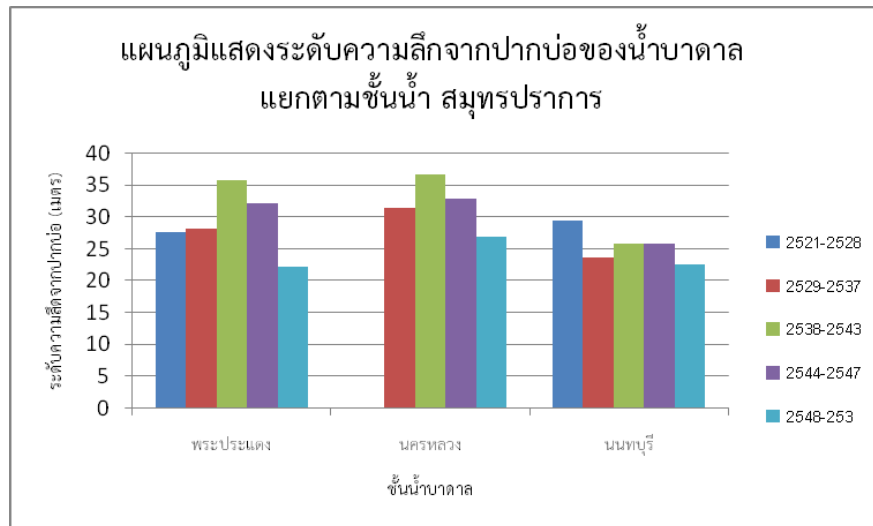
ภาพที่ 5.16 ระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลแยกตามชั้นน้ำของพื้นที่จังหวัดนนทบุรี

จากภาพ 5.17 พื้นที่จังหวัดปทุมธานีในชั้นน้ำบาดาลนนทบุรีมีการลดลงของระดับความลึกจากปากบ่อเป็นอย่างมาก เพราะ ในปี 2547 มีการเพิ่มเก็บค่าใช้น้ำบาดาล และค่าอนุรักษ์น้ำบาดาล แต่ในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง นั้น การเปลี่ยนแปลงมีไม่มาก ในชั้นน้ำบาดาลนครหลวง ก็มีระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลที่ลดลงในช่วงปี 2529 – 2553 เช่นกัน



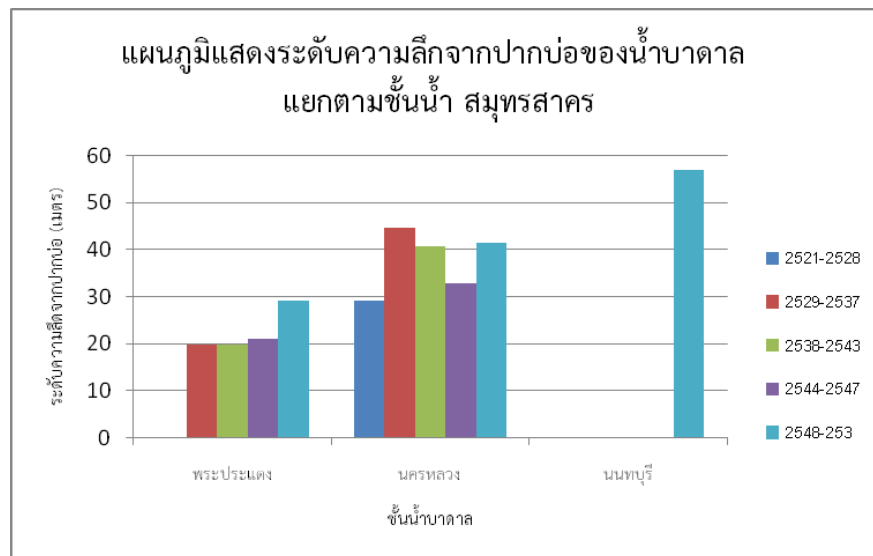
ภาพที่ 5.17 ระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลแยกตามชั้นน้ำของพื้นที่จังหวัดปทุมธานี

จากภาพ 5.18 พื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ ในชั้นน้ำบาดาลพระประแดง และชั้นน้ำบาดาลนครหลวง มีค่าระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลลดลงในช่วงปี 2538 – 2553 นั้นอาจเป็นเพราะมีการเรียกเก็บค่าใช้น้ำบาดาลและค่าอนุรักษ์เพิ่มขึ้น



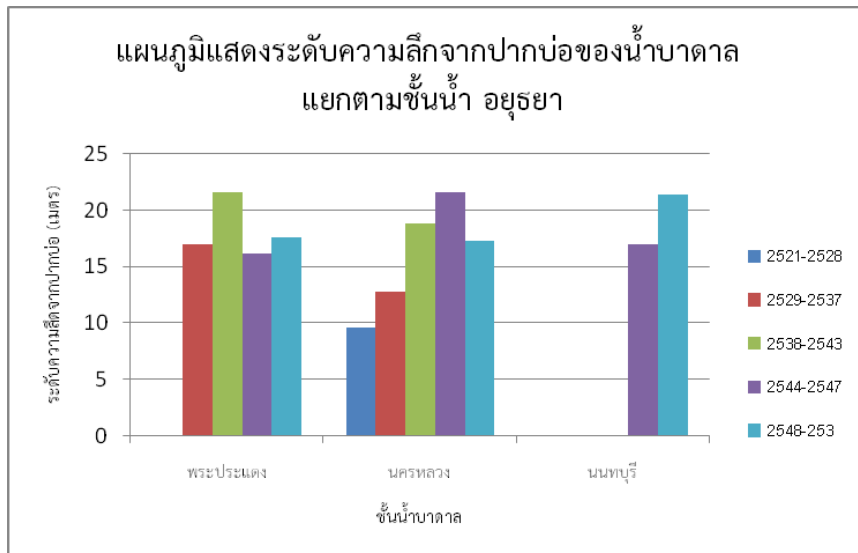
ภาพที่ 5.18 ระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลแยกตามชั้นน้ำของพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ

จากภาพที่ 5.19 ในชั้นน้ำพระประแดงมีค่าระดับความลึกน้ำบาดาลวัดจากปากบ่อมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงปี 258 – 2553 ซึ่งการเรียกเก็บค่าน้ำบาดาลและค่าอนุรักษ์อาจไม่มีผลมากนัก แต่ในชั้นน้ำบาดาลนครหลวง มีการเพิ่มขึ้นในช่วงปี 2521 และ 2529 แม้มีการเพิ่มเก็บค่าน้ำบาดาลทุกพื้นที่ก็ตาม และค่อยๆ ลดลงต่ำสุดในช่วงปี 2544 – 2547 ที่มีการเก็บค่าน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นถึง 8.5 บาท/ลูกบาศก์เมตร



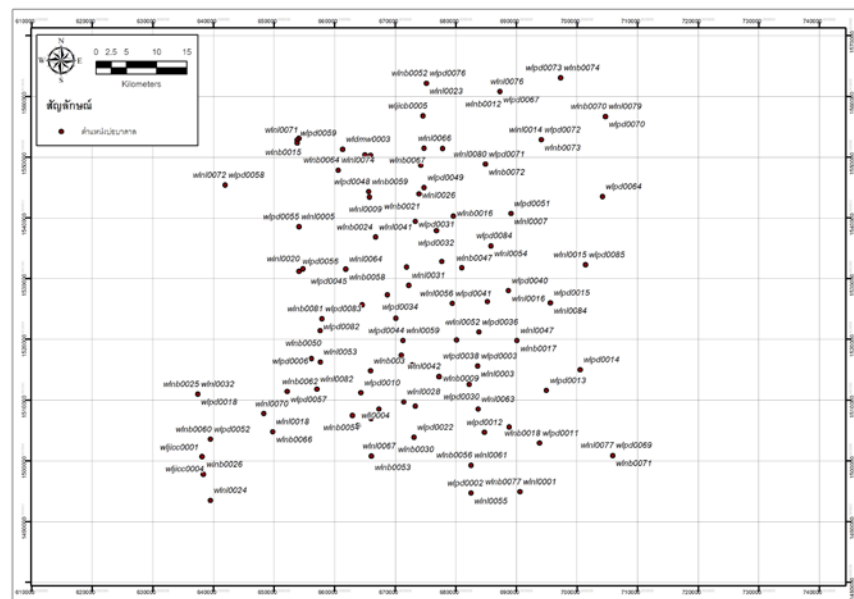
ภาพที่ 5.19 ระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลแยกตามชั้นน้ำของพื้นที่จังหวัดสมุทรสาคร

จากภาพที่ 5.20 ในพื้นที่จังหวัดอยุธยา มีระดับความลึกจากปากบ่อมากที่สุดเมื่อเทียบกับแผนภูมิในพื้นที่อื่นๆ อาจเนื่องมาจากอยุธยาเป็นนิคมอุตสาหกรรมอยู่หลายแห่ง และชั้นน้ำบาดาลพระประแดงมีค่าระดับความลึกน้ำบาดาลวัดจากปากบ่อมากที่สุด ในช่วงปี 2538 – 2543 ในชั้นน้ำบาดาลนครหลวง มีค่าระดับความลึกน้ำบาดาลวัดจากปากบ่อเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงปี 2529 -2538 และลดลง และในชั้นน้ำบาดาลนครหลวงมีการเพิ่มขึ้นของค่าระดับความลึกจากปากบ่อเพิ่มขึ้นอย่างมากเช่นกัน แต่มีอัตราการเพิ่มที่เป็นลำดับและลดลงในช่วงปี 2548 - 2553



ภาพที่ 5.20 ระดับความลึกจากปากบ่อของน้ำบาดาลแยกตามชั้นน้ำของพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

5.5 ผลการคัดเลือกข้อมูลระดับน้ำบาดาลสำหรับวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



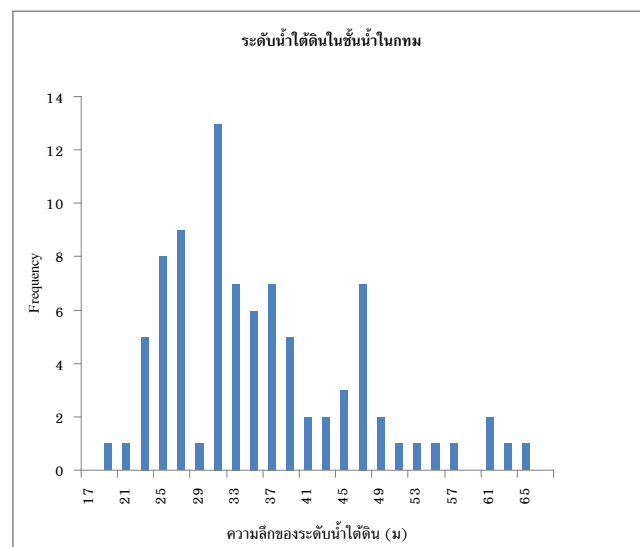
ภาพที่ 5.21 ตำแหน่งบ่อสังเกตการณ์ในแอ่งบาดาลเจ้าพระยาตอนล่าง

รวบรวมข้อมูลระดับน้ำใต้ดินเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลโดยเฉพาะข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในแอ่งน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ทำการวิเคราะห์ข้อมูลระดับน้ำใต้ดินในเบื้องต้นในแต่ละจังหวัด ข้อมูลในบางจังหวัดมีจำนวนมาก เช่น กรุงเทพฯ แต่ในบางจังหวัดมีข้อมูลจำนวนจำกัด ตัวอย่างข้อมูลทางสถิติของระดับน้ำใต้ดินในกรุงเทพฯ ดังตารางที่ 2.3 คือ มีข้อมูลบ่อบาดาลทั้งสิ้นจำนวน 88 บ่อ และมีการตรวจวัดต่อเนื่องเป็นระยะเวลาโดยเฉลี่ย 10 – 11 ปี และมีการวัดทุก 38 วันโดยเฉลี่ย ซึ่งเป็นข้อมูลที่ถือว่ามีความถี่ต่ำ ตารางที่ 5-6 ค่าทางสถิติของระยะเวลาในการตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินในกรุงเทพฯ และค่าทางสถิติความถี่ในการตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินในกรุงเทพฯ

ตารางที่ 5.6 ค่าทางสถิติของระยะเวลาและความถี่ในการตรวจวัดระดับน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ศึกษา

ระยะเวลาในการวัด		ความถี่ในการวัด	
Mean	10.41675	Mean	38.33223
Standard Error	0.421933	Standard Error	0.269107
Median	9.468493	Median	37.64131
Mode	9.468493	Mode	36.76596
Standard Deviation	3.958084	Standard Deviation	2.524445
Sample Variance	15.66643	Sample Variance	6.372824
Kurtosis	10.2594	Kurtosis	4.072581
Skewness	3.439473	Skewness	0.423236
Range	18.59726	Range	18.84873
Minimum	7.076712	Minimum	29.01238
Maximum	25.67397	Maximum	47.86111
Sum	916.6736	Sum	3373.237
Count	88	Count	88

ภาพที่ 5.21 แสดงค่าทางสถิติของระดับน้ำใต้ดินในชั้นน้ำนทบุรี ชั้นน้ำนครหลวง และชั้นน้ำพระประแดง โดยชั้นน้ำพระประแดงมีระดับน้ำสูงที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 26 เมตร ในขณะที่ระดับน้ำใต้ดินในชั้นน้ำนทบุรีและชั้นน้ำนครหลวงมีความลึกประมาณ 35 และ 41 เมตรตามลำดับ



ภาพที่ 5.22 การกระจายตัวของระดับน้ำใต้ดินในเขตกรุงเทพฯ

ตารางที่ 5.7 สถานี หมายเลขบ่อ ตำแหน่งของบ่อสังเกตการณ์ และความลึกในการพัฒนาของบ่อสังเกตการณ์ที่ทำการศึกษาในเขตกทม.

สถานี	หมายเลขบ่อ	พิกัด		อำเภอ	ความลึกเจาะ (เมตร)	ความลึกพัฒนา (เมตร)	ความลึกปี 53 (เมตร)	ระดับน้ำปกติหลังเจาะเสร็จ (เมตร)	ระยะวางท่อกรอง (เมตร)
CT63/3	NB0028	678440	1523165	บางกะปิ	237.00	220	220	-	211.00-217.00
CT131/1	PD0138	678804	1520122	บางกะปิ	110.00			-	96.00-104.00
CT24/2	NL0018	649787	1505439	บางขุนเทียน	173.70	173	172	21.53	164.7-170.7
CT24/3	NB0066	649742	1505389	บางขุนเทียน	238.00	217	170	-	208.00-214.00
CT22/3	NB0036	677598	1533043	บางเขน	232.90	229	229	37.82	220.00-226.00
CT105	DMW0002	649123	1509285	บางบอน	600.00	581	-	1.00	572.00-578.00
CT7/1	PD0006	655798	1517151	ภาษีเจริญ	119.50	97	93	21.14	88.60-94.6
CT7/2	NB0001	655798	1517151	ภาษีเจริญ	228.60	204	72	27.19	192.00-198.00
CT33/2	NL0016	688318	1528358	มีนบุรี	144.50	217	217	40.92	131.29-137.29
CT30/1	PD0015	695328	1527159	มีนบุรี	103.60	88.41	85	15.36	79.41-85.41
CT34/1	PD0085	701161	1532536	หนองจอก	90.00	85	85		70.00-76.00
CT102/3	NB0084	704600	1521499	หนองจอก	237.00	214.9		-	205.00-210.00
CT4	PD0007	671676	1525913	ห้วยขวาง	105.15	104	97		92.15-98.15

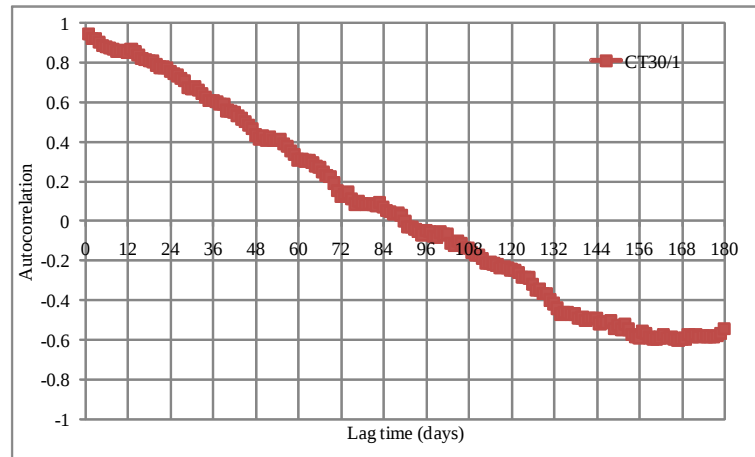
ตารางที่ 5-7 แสดงบ่อสังเกตการณ์ที่ได้รับการคัดเลือกมาเพื่อแสดงเป็นตัวอย่างการหาความสัมพันธ์และการหาคาบที่เกิดซ้ำ หรือ Period โดยวิธี Fourier series expansion โดยข้อมูลน้ำบาดาลที่ตรวจวัด ณ บ่อสังเกตการณ์เหล่านี้มีการตรวจวัดอย่างต่อเนื่องและเป็นข้อมูลที่มีระดับน้ำบาดาลที่มีคุณภาพดี

5.6 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลระดับน้ำบาดาลแต่ละบ่อโดยใช้ Autocorrelation

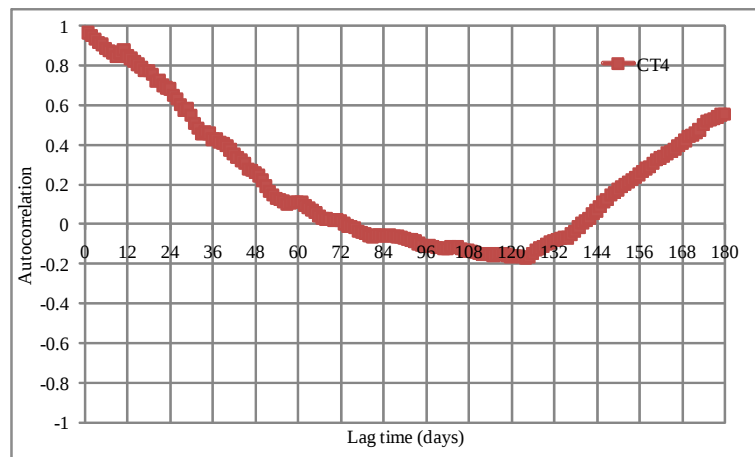
ภาพที่ 5.22 ถึง 5.28 แสดงค่า Autocorrelation ของข้อมูลระดับน้ำบาดาลในบ่อสังเกตการณ์ตัวแทนในพื้นที่ศึกษา กรณีที่ข้อมูลที่เป็นอนุกรมเวลาหรือ Time series นั้นเป็นไปได้ว่าข้อมูลในแต่ละเวลานั้นอาจมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน Autocorrelation แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัวเดียวกันที่ lag ต่างๆ เหตุผลของการเกิด Autocorrelation ของข้อมูลที่สำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลของทางอุทกวิทยาคือ ความเฉื่อย (Inertia) หรือที่เรียกว่า Sluggishness ซึ่งหมายถึง ความเคลื่อนไหวอย่างช้าๆ ทำให้ข้อมูลของช่วงเวลาก่อนหน้าอาจจะส่งผลในช่วงเวลาถัดไป จึงทำให้ข้อมูลสองช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกันมีความสัมพันธ์กันได้

การพิจารณา Correlogram ของค่า Autocorrelation ของอนุกรมเวลากรณีที่อนุกรมเวลามีความนิ่ง (Stationary) ค่าของ Correlogram จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อ lag time เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการที่ Autocorrelation มีค่าลดลงอย่างช้าๆ และมีค่าค่อยข้างสูง จะอธิบายได้ว่าอนุกรมเวลาเหล่านี้มีแนวโน้มและอิทธิพลของฤดูกาล ดังภาพที่ 5.22 ถึง 5.28 โดยรวมคือ ชั้นน้ำบาดาลระดับตื้น แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาลเป็นเวลาประมาณ 80-90 วันหรือประมาณเกือบ 3 เดือน ในขณะที่

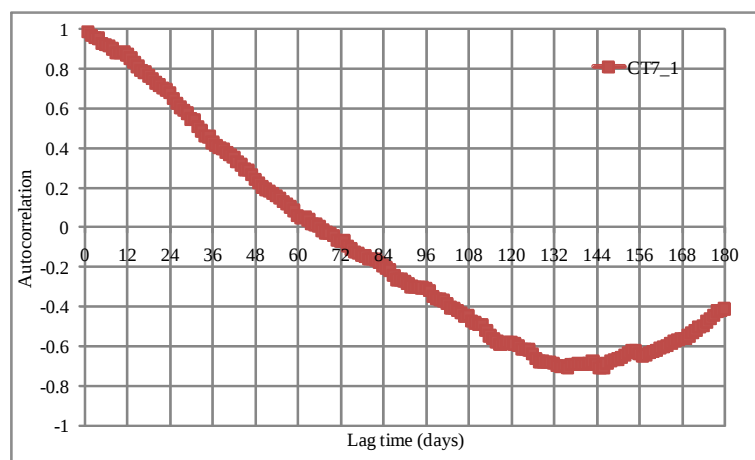
น้ำบาดาลระดับลึกกว่ามีความสัมพันธ์สั้นกว่าคือประมาณ 2 เดือนหรือ 60 วันเท่านั้น ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากน้ำบาดาลระดับตื้นได้รับอิทธิพลจากปริมาณฝนตกและการเติมน้ำจากน้ำผิวดินสูงกว่าก็เป็นได้



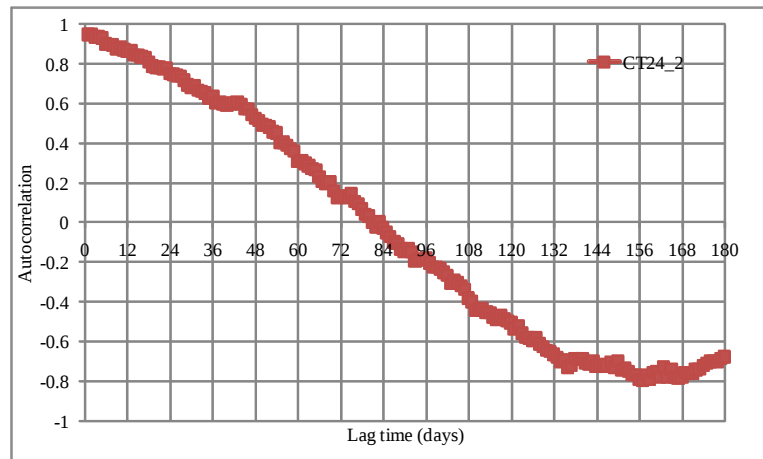
ภาพที่ 5.23 Autocorrelation บ่อ CT 30/1



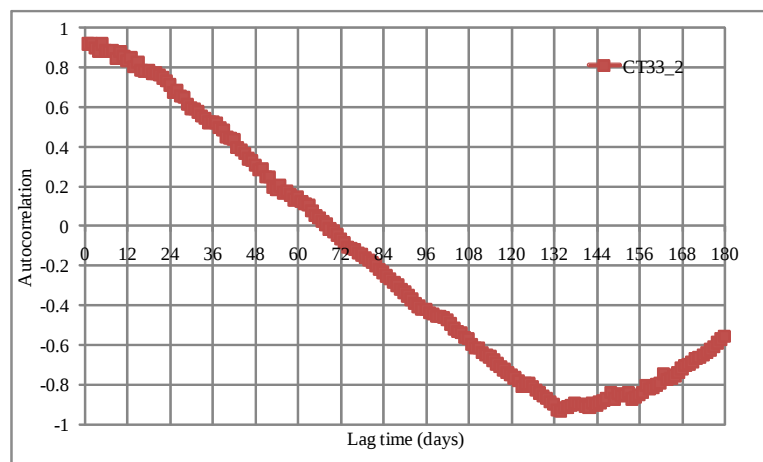
ภาพที่ 5.24 Autocorrelation บ่อ CT 4



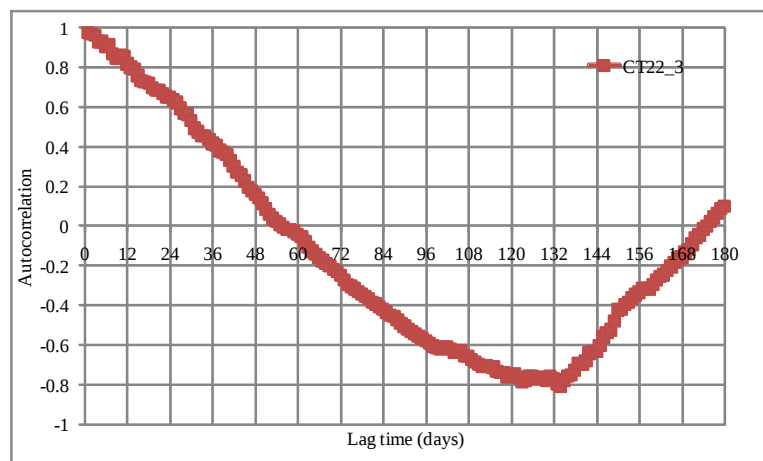
ภาพที่ 5.25 Autocorrelation บ่อ CT 7/1



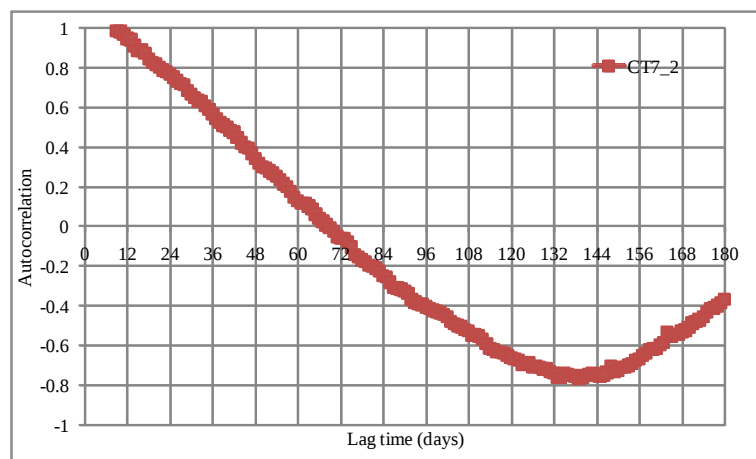
ภาพที่ 5.26 Autocorrelation บ่อ CT 24/2



ภาพที่ 5.27 Autocorrelation บ่อ CT 33/2



ภาพที่ 5.28 Autocorrelation บ่อ CT 22/3



ภาพที่ 5.29 Autocorrelation บ่อ CT 17/2

5.7 ผลการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลระดับน้ำบาดาลแต่ละบ่อโดยใช้ Pearson correlation

ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) เป็นสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร เช่น หาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเกรดคณิตศาสตร์ กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หาความสัมพันธ์ระหว่างขวัญและกำลังใจในการทำงานกับประสิทธิภาพในการทำงาน เป็นต้น ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) ซึ่งสถิติสำหรับการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้แบบใดนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลายประการ

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว (Bivariate Correlation) บางครั้งเราเรียกว่าตัวแปรอิสระว่า ตัวแปรทำนาย (Predictor variable) และเรียกตัวแปรอีกตัวว่าตัวแปร เกณฑ์ (Criterion variable) ซึ่งโดยปกติจะเป็นตัวแปรตาม อย่างไรก็ตามการที่จะทราบว่าตัวแปรทำนายตัวแปรใดเป็นตัวแปรเกณฑ์ ขึ้นอยู่กับงานวิจัยนั้นๆ ในการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ถ้าหากทั้งสองตัวแปรมีการวัดอันตรภาค (Interval scale) หรืออัตราส่วน (Ratio scale) จะเรียกว่าการวิเคราะห์โดยใช้พารามเมตริก (Parametric procedure) แต่ถ้ามีการวัดมาตรานามบัญญัติ (Nominal scale) หรือมาตราเรียงอันดับ (Ordinal scale) จะเรียกว่า การวิเคราะห์แบบไม่ใช้พารามเมตริก (Nonparametric procedure)

การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน หรือบางครั้งเรียกว่า สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) โดยใช้สัญลักษณ์ r ข้อมูลหรือระดับการวัดของตัวแปรแต่มาตราอันตรภาคถึง มาตราอัตราส่วน โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นมักจะใช้สัญลักษณ์ของตัวแปรเป็นตัวแปร X และ Y โดยค่าสหสัมพันธ์เพียร์สัน (r) จะมีคุณสมบัติดังนี้

- ถ้า r เป็นการวัดความสัมพันธ์เชิงเส้น
- ถ้า r จะอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1
- ถ้า r จะมีลักษณะเหมือนความชันของเส้นการถดถอย
- ถ้า r จะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) เปลี่ยนไปแบบเดียวกัน

- ถ้า r จะไม่เปลี่ยนแปลงถ้าค่าสเกล (scale) ของตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนไป (ค่าของตัวแปร X หรือ Y)
- ถ้า r มีการแจกแจงแบบเดียวกันกับที่ (Student t distribution)

ตารางที่ 5.8 สหสัมพันธ์เพียร์สันระหว่างระดับน้ำบาดาลตรวจวัดที่บ่อสังเกตการณ์ตัวแทนในพื้นที่

	CT131/1	CT24/2	CT24/3	CT22/3	CT105	CT68/3	CT7/1	CT7/2	CT33/2	CT30/1	CT34/1	CT102/3	CT4
CT131/1	1.000												
CT24/2	0.084	1.000											
CT24/3	0.083	0.706	1.000										
CT22/3	0.148	0.680	0.572	1.000									
CT105	0.148	-0.372	0.126	-0.584	1.000								
CT68/3	-0.237	0.144	0.426	0.091	0.198	1.000							
CT7/1	0.034	0.827	0.692	0.824	-0.366	0.156	1.000						
CT7/2	0.109	0.916	0.710	0.824	-0.398	0.157	0.905	1.000					
CT33/2	0.952	0.823	0.567	0.930	-0.571	0.086	0.884	0.877	1.000				
CT30/1	0.818	0.926	0.820	0.585	-0.158	0.249	0.788	0.861	0.766	1.000			
CT34/1	0.920	0.549	0.901	0.413	0.118	0.503	0.489	0.603	0.404	0.682	1.000		
CT102/3	0.190	-0.625	-0.242	-0.796	0.784	-0.057	-0.645	-0.681	-0.789	-0.469	-0.122	1.000	
CT4	0.077	0.245	0.583	0.768	-0.549	0.106	0.453	0.462	0.583	0.109	0.337	-0.800	1.000

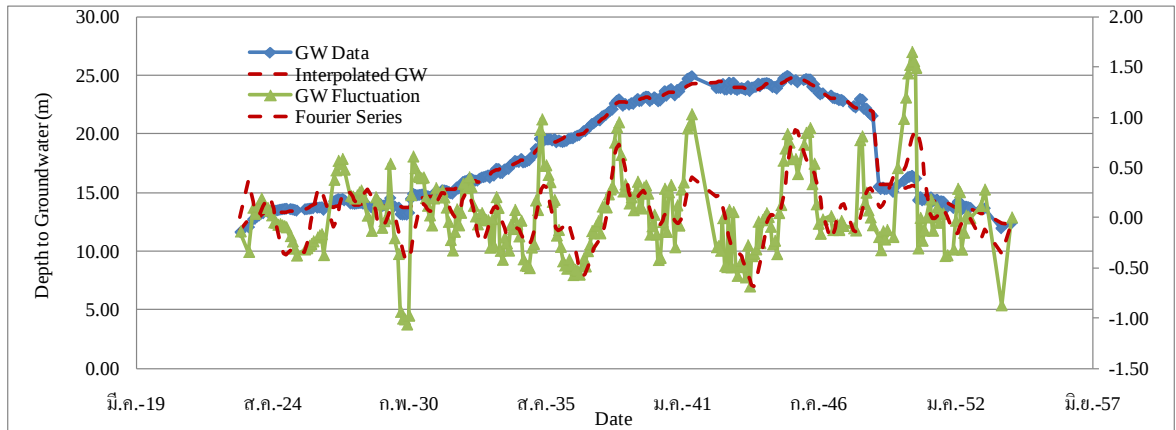
5.8 ผลการวิเคราะห์คาบการเกิดซ้ำของระดับน้ำบาดาลโดยใช้ Fourier series Expansion

หลังจากที่กรองเอาเส้นแนวโน้ม (Trend) ของข้อมูลระดับน้ำบาดาลออกไปแล้ว ที่เหลืออยู่คือคาบของระดับน้ำบาดาลที่อาจจะเกิดจากฤดูกาลในแต่ละปีในกรณีที่คาบการเกิดมีระยะไม่กี่เดือน ในกรณีที่คาบการเกิดซ้ำมีระยะเวลาหลายปีถึงหลายสิบปีน่าจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศ การที่ข้อมูลแสดงแนวโน้มไม่ได้หมายความว่าข้อมูลมีการแสดงการเพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่หมายความว่ามีความถี่ไม่คงที่ นั่นคือ ข้อมูลระดับน้ำบาดาลในแต่ละช่วงมีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

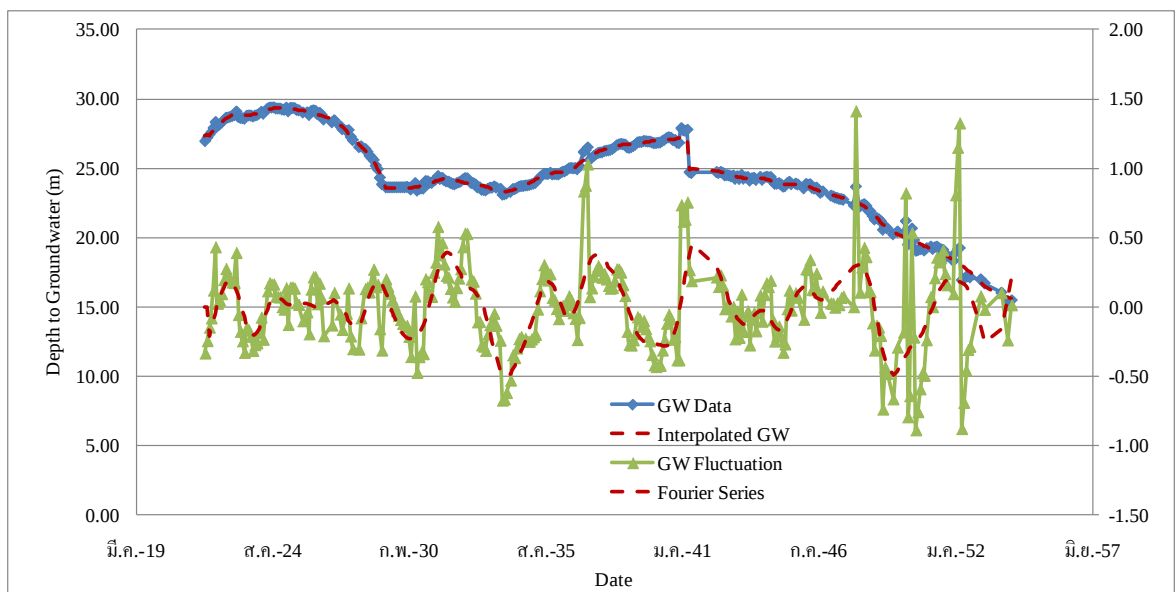
จากตารางที่ 5.9 พบว่าคาบการเกิดซ้ำของระดับน้ำบาดาลคือ 19.5 และ 6 ปี ซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของโลก ในระดับ Interannual และ Interdecadal variability ภาพที่ 5.29 ถึง 5.33 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลน้ำบาดาลและค่าที่คำนวณได้โดยวิธี Fourier series expansion

ตารางที่ 5.9 คาบการเกิดซ้ำ (Period) ของระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำบาดาลต่างๆ

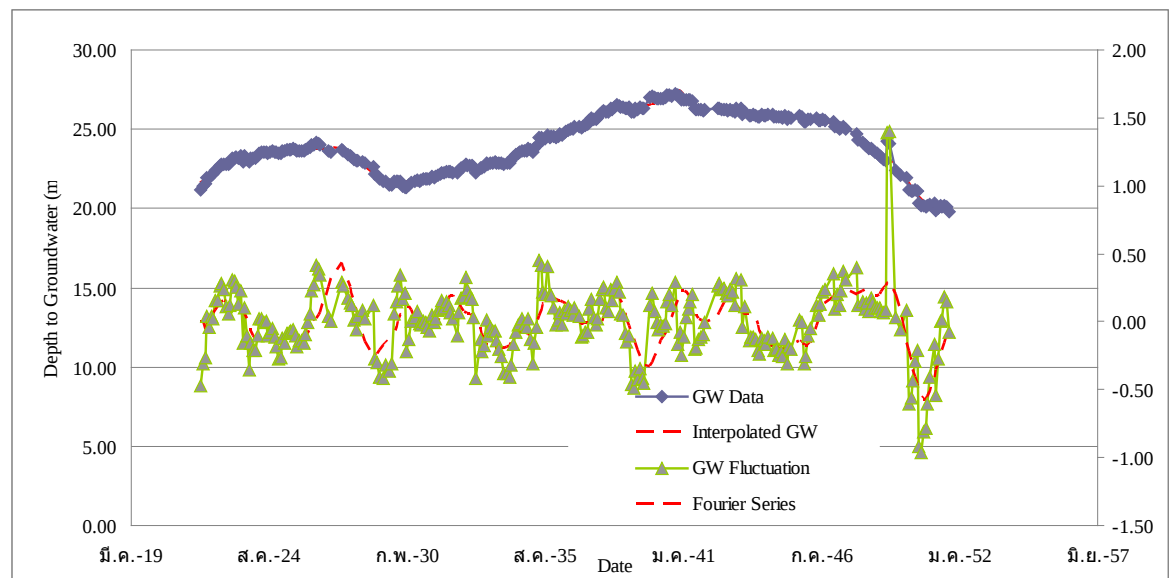
สถานี	หมายเลขบ่อ	อำเภอ	ความลึก (เมตร)	คาบการเกิดซ้ำ (Period) ปี	
CT24/2	NB0066	บางขุนเทียน	238.00	22.5	5.5
CT22/3	NB0036	บางเขน	232.90	19.5	6
CT7/2	NB0001	ภาษีเจริญ	228.60	17	5
CT7/1	PD0006	ภาษีเจริญ	119.50	16.5	6
CT33/2	NL0016	มีนบุรี	144.50	20	6
CT30/1	PD0015	มีนบุรี	103.60	21.5	6
CT4	PD0007	ห้วยขวาง	105.15	19.5	8.5



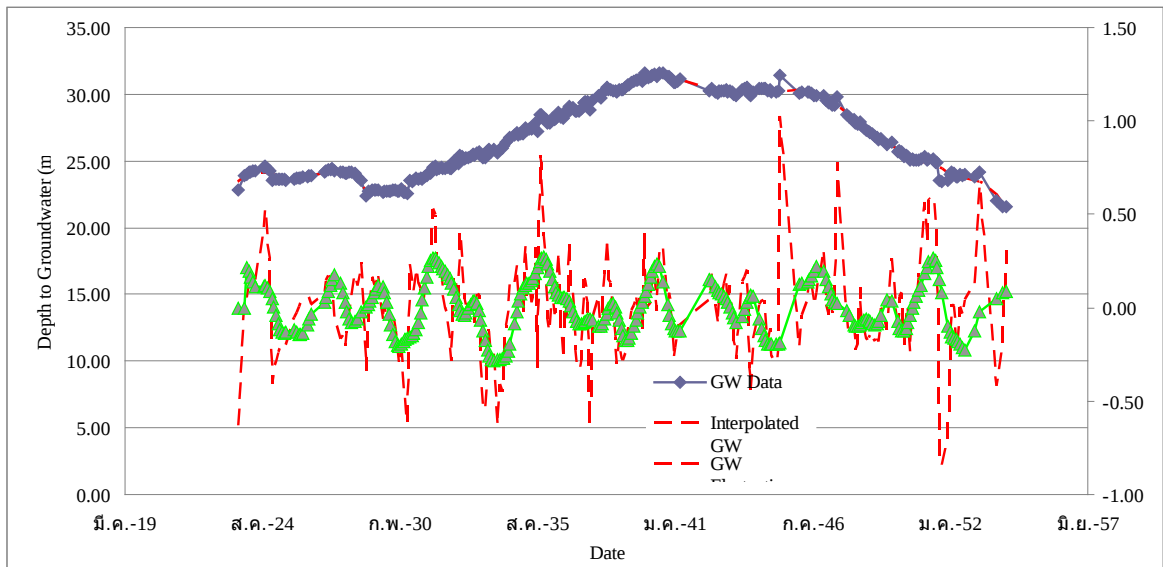
ภาพที่ 5.30 หมายเลขบ่อ CT30/1 ชั้นอุ้มน้ำพระประแดง PD0015 อ. มินบุรี กทม



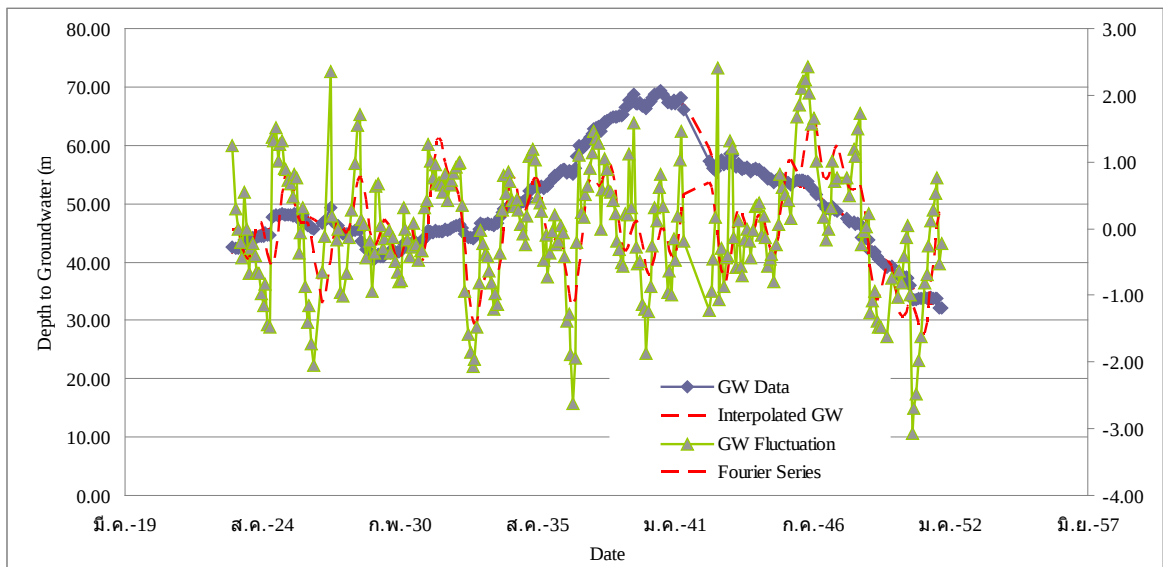
ภาพที่ 5.31 หมายเลขบ่อ CT4 ชั้นอุ้มน้ำพระประแดง PD0007 อ. ห้วยขวาง กทม



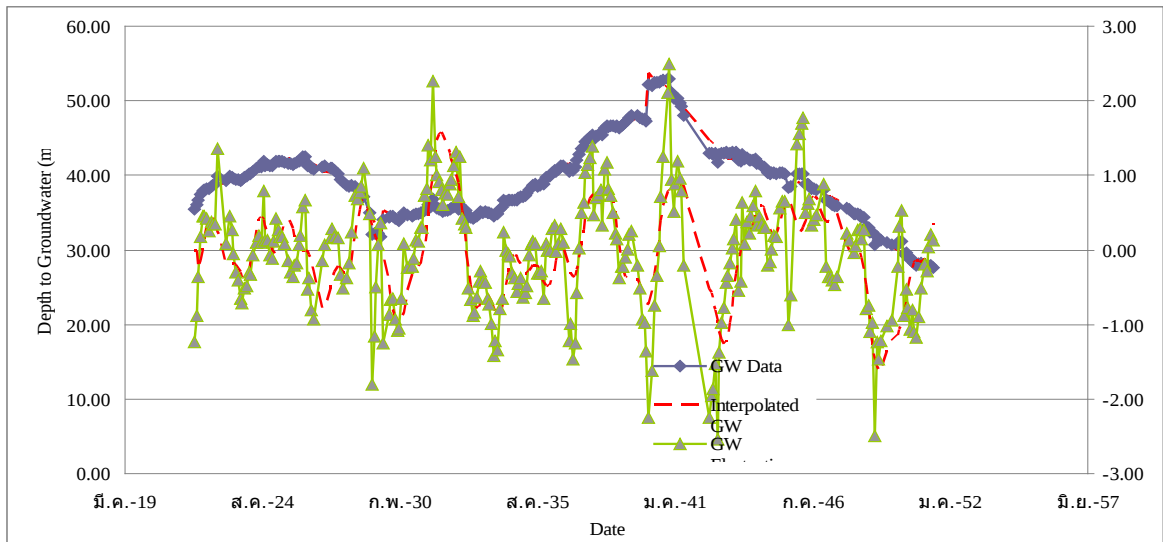
ภาพที่ 5.32 หมายเลขบ่อ CT7/1 ชั้นอุ้มน้ำพระประแดง PD0006 อ. ภาษีเจริญ กทม



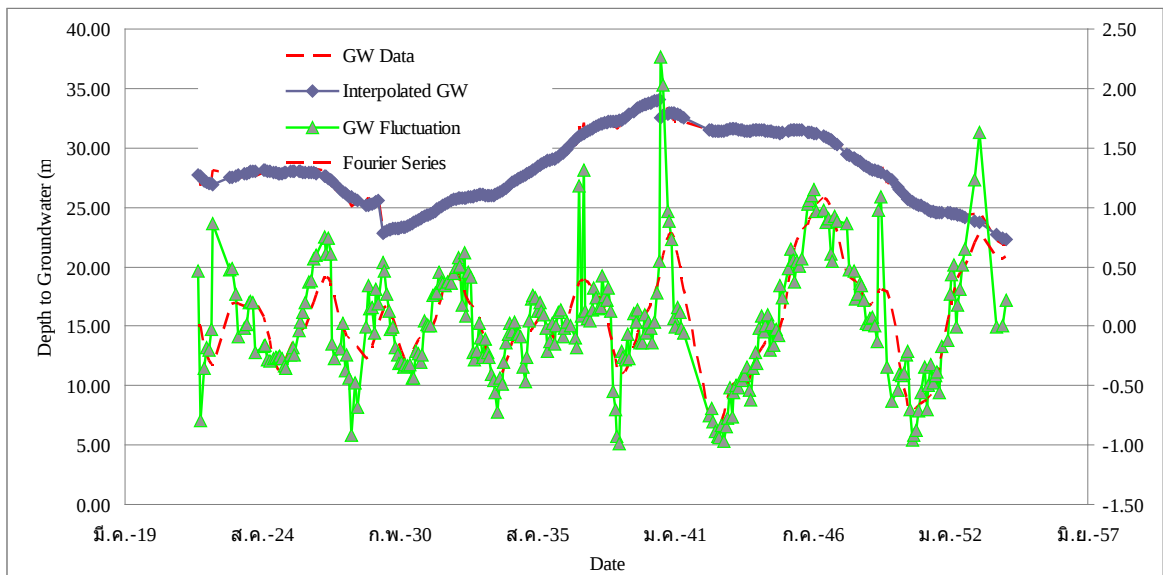
ภาพที่ 5.33 หมายเลขบ่อ CT24/2 ชั้นอุ้มน้ำนันทบุรี NB0066 อ. บางขุนเทียน กทม



ภาพที่ 5.34 หมายเลขบ่อ CT33/2 ชั้นอุ้มน้ำนครหลวง NL0016 อ.มีนบุรี กทม ความลึกเจาะ



ภาพที่ 5.35 หมายเลขบ่อ CT22/3 ชั้นอุ้มน้ำนันทบุรี NB0036 อ. บางเขน กทม



ภาพที่ 5.36 หมายเลขบ่อ CT7/2 ชั้นอุ้มน้ำนันทบุรี NB0001 อ. ภาษีเจริญ กทม.

บทที่ 6

สรุป

ประเทศไทยได้รับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย (ระหว่างปี พ.ศ. 2503-2546) ประมาณ 1,618 มิลลิเมตร ต่อปี โดยภาคใต้ฝั่งตะวันตกได้รับปริมาณน้ำฝนสูงที่สุดของประเทศ คือมีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 2,740 ลูกบาศก์เมตรต่อปี รองลงมาเป็นภาคตะวันออกซึ่งได้รับปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 1,960 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันออกมีปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 1,730 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้รับปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 1,430 ลูกบาศก์เมตรต่อปี ภาคเหนือได้รับปริมาณฝนเฉลี่ยประมาณ 1,240 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และภาคกลางซึ่งเป็นภาคที่ได้รับปริมาณฝนน้อยที่สุด คือประมาณ 1,230 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และเมื่อพิจารณาแนวโน้มการเกิดฝนของประเทศ พบว่า ในช่วง 44 ปีที่ผ่านมาปริมาณฝนที่ประเทศไทยได้รับมีแนวโน้มลดลงในอัตราร้อยละ 0.3 ต่อปี ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของโลกซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อสภาวะอากาศของประเทศไทย ด้วย ส่วนปริมาณฝนเฉลี่ยรายภาค พบว่า ปริมาณฝนเฉลี่ยของภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้มีแนวโน้มลดลง ส่วนภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

แหล่งน้ำบาดาลเป็นแหล่งกักเก็บกักน้ำตามธรรมชาติที่มีการสะสมมานาน เป็นแหล่งน้ำที่สามารถพัฒนานำมาใช้เสริม หรือทดแทนน้ำผิวดินได้ แต่อย่างไรก็ดี น้ำบาดาลมีข้อจำกัดเรื่องปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ได้ซึ่งหากนำขึ้นมาใช้เกินปริมาณน้ำที่สามารถพัฒนามาใช้ได้โดยไม่เกิดผลกระทบ (Safe Yield) จะก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม เช่น การทรุดตัวของแผ่นดิน การแทรกซึมของน้ำทะเลเข้ามายังชั้นน้ำบาดาล จนอาจทำให้คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ เป็นต้น ปริมาณการใช้น้ำบาดาลส่วนใหญ่อยู่ตามเมืองใหญ่ๆ ที่มีกิจกรรมทางเศรษฐกิจสูง และเมืองที่มีโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมอยู่มาก เช่น กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เชียงใหม่ หาดใหญ่ เป็นต้น แต่การบริการด้านน้ำประปายังไม่เพียงพอ ซึ่งภาครัฐได้ดำเนินการมาตรการเพื่อแก้ไขปัญหาการใช้น้ำบาดาลอย่างต่อเนื่อง เช่น การประกาศเขตควบคุมการใช้น้ำบาดาล เขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล การเพิ่มอัตราค่าใช้น้ำบาดาล การเก็บค่าอนุรักษ์น้ำบาดาล เป็นต้น และในปี พ.ศ. 2546 ได้มีการออกพระราชบัญญัติน้ำบาดาล (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2546

จากสถิติของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล พบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2538 ถึงปี พ.ศ. 2540 การใช้น้ำบาดาลในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยตลอด ในปี พ.ศ. 2540 มีปริมาณการใช้น้ำสูงถึง 1,538,000 ลบ.ม./วัน ซึ่งศักยภาพน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพมหานครมีเพียง 1.25 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน จากการดำเนินการมาตรการแก้ไขปัญหการใช้น้ำบาดาลอย่างจริงจังของในช่วงที่ผ่านมาทำให้การใช้น้ำบาดาลช่วงปี พ.ศ. 2541 ถึงปัจจุบัน มีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ในปี พ.ศ. 2545 มีปริมาณการใช้น้ำบาดาลในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลลดลงเหลือประมาณ 584,000 ลบ.ม./วัน

ในช่วงแรกของมาตรการฯ (2526 – 2530) ผลจากการควบคุมการใช้น้ำบาดาลตามมาตรการการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์ น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุด และ จากมาตรการเก็บค่าใช้น้ำบาดาล

ทำให้ปริมาณการใช้น้ำลดลงซึ่งส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลสูงขึ้นเฉลี่ย ปีละ 2 – 4 เมตร สำหรับช่วงที่ 2 ของมาตรการ (2531 – 2535) ระดับน้ำในระยะเวลาระหว่างปี 2531 – 2535 ระดับน้ำในชั้นน้ำพระประแดงสูงขึ้น 8 เมตร ในชั้นน้ำนครหลวงบริเวณใจกลางกรุงเทพมหานคร สูง 2 เมตร ส่วนชานเมืองด้านตะวันออกลดลง 1 เมตร แต่ตั้งแต่ต้นปี 2534 ถึงปลายปี 2535 ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างรวดเร็วทุกชั้นน้ำ อัตราการลดลงเฉลี่ยปีละ 3 เมตร ในช่วงที่ 3 ของมาตรการฯ (2536 – 2540) ระดับน้ำของชั้นน้ำพระประแดง นครหลวงและนนทบุรี ลดลงอย่างรวดเร็วทุกบริเวณ ทั้งในบริเวณชานเมือง กรุงเทพมหานคร และบริเวณใจกลางกรุงเทพมหานคร ระดับน้ำในชั้นน้ำนครหลวงลดลง จาก 54 เมตร ในปี 2536 อยู่ที่ 64 เมตร ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากการใช้น้ำของภาคเอกชนแทนที่จะลดลงกลับเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละมากกว่า 12 % เพราะใช้อัตราการขยายตัวทั้งด้านเศรษฐกิจและสังคมเพิ่มมากขึ้น

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกได้มีการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิ ปริมาณฝน ภัยธรรมชาติที่เกิดขึ้นในแต่ละปีมีความผันแปรแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณของภูมิภาค เนื่องจากลักษณะการผันแปรของอากาศในบรรยากาศ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนทางฟิสิกส์ ผลการศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1880 - 2000 พบว่าลักษณะของการเปลี่ยนแปลง ของอุณหภูมิโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น บริเวณซีกโลกเหนือ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูงขึ้น มากกว่าทางซีกโลกใต้เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นพื้นแผ่นดิน ส่วนซีกโลกใต้เป็นพื้นน้ำ สำหรับปริมาณฝนของโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น ในซีกโลกเหนือพื้นที่ส่วนใหญ่ เป็นแผ่นดิน ปริมาณฝนเปลี่ยนแปลง ในทางเพิ่มขึ้นแต่น้อยกว่าทางซีกโลกใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลง ของฝนมากเมื่อเทียบกับค่าปกติ (ค.ศ. 1961 - 1990) และในปี ค.ศ. 2000 เป็นปีที่เกิดปรากฏการณ์เอลนีโญ

ส่วนระดับน้ำบาดาลมีการเปลี่ยนแปลงตามคาบการเกิดประมาณ 19.5 และ 6 ปี โดยที่การคาบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลที่ระยะเวลา 6 ปีหรือที่เรียกว่า Interannual variability คาดว่าน่าจะเกิดจากความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ ENSO และ IOD ดังผลการศึกษาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนคาบการเกิดระยะเวลา 19.5 ปีหรือที่เรียกว่า Interdecadal variability คาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกในระดับ Global scale