บทที่ 2

ทฤษฎีสถิติและปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการพยากรณ์ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ของกรมชลประทาน มีทฤษฎีสถิติที่เกี่ยวข้องคือ วิธีการถดถอยและวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลารายละเอียดกล่าวในหัวข้อ 2.1 ส่วนรายละเอียดที่เกี่ยวกับการชลประทานรวมถึงน้ำในเขื่อนที่เกี่ยวข้องจะกล่าวในหัวข้อ 2.2

2.1 ทฤษฎีสถิติที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การพยากรณ์ (Forecasting) เป็นกิจกรรมที่เกี่ยวกับการทำนายเหตุการณ์หรือค่าที่สนใจในอนาคต ซึ่งโดยปกติค่าหรือเหตุการณ์ทำนายเหล่านั้นเป็นผลมาจากการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลที่มีอยู่ในอดีต เพื่อนำค่าพยากรณ์ที่ได้มาวางแผน และใช้ในการตัดสินใจ ทั้งนี้เป็นเพราะกิจกรรมเหล่านี้ต่างเกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ในอนาคต และโดยทั่วไปเหตุการณ์เหล่านั้นเป็นเหตุการณ์ที่ควบคุมไม่ได้ เพราะฉะนั้นถ้าสามารถพยากรณ์เหตุการณ์ที่ควบคุมไม่ได้ก่อนการวางแผน หรือก่อนการตัดสินใจก็ควรจะได้แผน หรือการตัดสินใจที่ดีกว่า

การพยากรณ์เป็นการทำนายหรือคาดการณ์เหตุการณ์ในอนาคต แต่เนื่องจากเหตุการณ์ในอนาคตเป็นเรื่องที่ไม่แน่นอน ฉะนั้นการพยากรณ์โดยทั่วไปย่อมจะมีความคลาดเคลื่อน และเป้าหมายของการพยากรณ์คือ พยายามลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลงซึ่งจะลดลงได้มากหรือน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ในปัจจัยเหล่านี้ปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งคือระบบหรือเทคนิคการพยากรณ์ที่เลือกใช้ เทคนิคหรือวิธีการพยากรณ์ที่จะใช้พยากรณ์ค่าของตัวแปรหรือเหตุการณ์ในอนาคตมีหลายวิธีด้วยกันที่อาจนำมาใช้ได้ วิธีการพยากรณ์ส่วนใหญ่จะเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตที่เกี่ยวข้อง เพื่อหารูปแบบหรือตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้อธิบายข้อมูลนั้นได้ และใช้พยากรณ์ค่าในอนาคต

ตัวแบบพยากรณ์โดยทั่วไปจะเป็นตัวแบบความน่าจะเป็น ซึ่งมีมากมายหลายตัวแบบด้วยกัน ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะตัวแบบหรือวิธีการที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป คือวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ หรือวิธีใช้เหตุเป็นฐาน (Causal Method) วิธีที่นิยมใช้กันมากคือ วิธีการถดถอย (Regression Methods) ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis Methods) ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

2.1.1 วิธีการถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นเทคนิคเชิงสถิติสำหรับการศึกษาวิเคราะห์และจำลองรูปแบบความสัมพันธ์พึ่งพิงเชิงคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปร 2 กลุ่ม โดยที่ตัวแปรกลุ่มหนึ่งเรียกว่า "ตัวแปรตาม" (dependent variable) หรือ "ตัวแปรผล" (response variable) เป็นตัวแปรที่นักสถิติหรือนักพยากรณ์สนในที่จะศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงหรือพยากรณ์ค่า โดยศึกษาวิเคราะห์หารูปแบบความสัมพันธ์กับตัวแปรอีกกลุ่มหนึ่ง เรียกตัวแปรในกลุ่มนี้ว่า "ตัวแปรอิสระ" (independent variables) หรือ "ตัวแปรให้ค่าพยากรณ์หรือค่าทำนาย" (predictor variables) ตัวแปรในกลุ่มนี้อาจมีหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งตัวแปร และรูปแบบความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ที่ได้ เรียกว่า "ตัวแบบการถดถอย" หรือ "สมการการถดถอย" จากสมการการถดถอยสามารถอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม หรือพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม หรือใช้ในการควบคุมตัวแปรตาม

ในกรณีวิเคราะห์รูปแบบความสัมพันธ์พึ่งพิงเชิงเส้นของตัวแปรตาม Y บนตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวแปร $X_1, X_2, \ldots, X_k$ เราจะเรียกรูปแบบความสัมพันธ์นั้นว่า "ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ" หรือ "สมการการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ" และมีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$Y = E(Y) + \varepsilon$$
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2.1)$$

โดยที่ ค่าเฉลี่ย E(Y) หรือ $E(Y \mid X_1, X_2, \ldots, X_k)$ ของ Y เท่ากับ $\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k$ เมื่อกำหนดตัวแปรอิสระ $X_1, X_2, \ldots, X_k$

สำหรับตัวอย่างสุ่ม $(X_{i1}, X_{i2}, \ldots, X_{ik}, Y_i)$, $i = 1, 2, \ldots, n$, นั่นคือ $X_1 = X_{i1}, X_2 = X_{i2}, \ldots, X_k = X_{ik}, Y = Y_i$, และให้ $\varepsilon = \varepsilon_i$ สำหรับ $i = 1, 2, \ldots, n$ เขียนตัวแบบ (2.1) ได้ใหม่ดังนี้

$$Y_i = E(Y_i) + \varepsilon_i$$
$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{i1} + \beta_2 X_{i2} + \ldots + \beta_k X_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \ldots, n \quad (2.2)$$

และ $\varepsilon_t, t = 1, 2, \ldots, n$ มีข้อสมมติคือ

1. $E(\varepsilon_i) = 0$, $i = 1, 2, \ldots, n$

2. $V(\varepsilon_i) = E(\varepsilon_i^2) = \sigma^2$, $i = 1, 2, \ldots, n$

3. $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$, $i \neq j$; $i, j = 1, 2, \ldots, n$

4. $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$, $i = 1, 2, \ldots, n$

ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดแบบสามัญ (Ordinary Least Squares Method : OLS) ตัวประมาณแบบกำลังสองน้อยที่สุด $B_0, B_1, \ldots, B_k$ ของ $\beta_0, \beta_1, \ldots, \beta_k$ ตามลำดับ คำนวณหาได้โดยการแก้สมการ

$$\left.\frac{\partial Q}{\partial \beta_i}\right|_{\beta_0 = B_0, \ldots, \beta_k = B_k} = 0, \; i = 0, 1, 2, \ldots, k$$

โดยที่

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - \beta_0 - \beta_1 X_{i1} - \ldots - \beta_k X_{ik})^2$$

หรือ โดยการแก้ระบบสมการดังนี้

$$\begin{aligned}
n\beta_0 &+ \beta_1 \sum_{i=1}^{n} X_{i1} + \beta_2 \sum_{i=1}^{n} X_{i2} + \ldots + \beta_k \sum_{i=1}^{n} X_{ik} = \sum_{i=1}^{n} Y_i \\
\beta_0 \sum_{i=1}^{n} X_{i1} &+ \beta_1 \sum_{i=1}^{n} X_{i1}^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^{n} X_{i1} X_{i2} + \ldots + \beta_k \sum_{i=1}^{n} X_{i1} X_{ik} = \sum_{i=1}^{n} X_{i1} Y_i \\
\beta_0 \sum_{i=1}^{n} X_{i2} &+ \beta_1 \sum_{i=1}^{n} X_{i2} X_{i1} + \beta_2 \sum_{i=1}^{n} X_{i2}^2 + \ldots + \beta_k \sum_{i=1}^{n} X_{i2} X_{ik} = \sum_{i=1}^{n} X_{i2} Y_i \\
&\ldots \\
\beta_0 \sum_{i=1}^{n} X_{ik} &+ \beta_1 \sum_{i=1}^{n} X_{ik} X_{i1} + \beta_2 \sum_{i=1}^{n} X_{ik} X_{i2} + \ldots + \beta_k \sum_{i=1}^{n} X_{ik}^2 = \sum_{i=1}^{n} X_{ik} Y_i
\end{aligned}$$

โดยทั่วไปการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ จะใช้เมตริกซ์เป็นเครื่องมือซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์สะดวกมากยิ่งขึ้น ฉะนั้นให้

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{bmatrix} \qquad \underline{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \beta_n \end{bmatrix} \qquad \underline{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ . \\ . \\ . \\ B_n \end{bmatrix} \qquad \underline{X} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} & \ldots & X_{1k} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \ldots & X_{2k} \\ & . & & & \\ & . & & & \\ & . & & & \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} & \ldots & X_{nk} \end{bmatrix}$$

ดังนั้น $\underline{Y}$ เป็นเมตริกซ์ขนาด $n * 1$ ของตัวแปรสุ่ม หรือเวกเตอร์ขนาด n ของตัวแปรสุ่ม

$\underline{\beta}$ เป็นเวกเตอร์ขนาด $k + 1$ ของพารามิเตอร์

$\underline{\varepsilon}$ เป็นเวกเตอร์ขนาด $k + 1$ ของตัวแปรสุ่มค่าผิดพลาด

$\underline{B}$ เป็นเวกเตอร์ขนาด $k + 1$ ของตัวประมาณของพารามิเตอร์

และ $\underline{X}$ เป็นเมตริกซ์ขนาด $n * (k + 1)$ ของค่าคงที่หนึ่ง และค่าของตัวแปรอิสระ

สามารถเขียนระบบสมการใหม่ได้ดังนี้

$$\underline{Y} = \underline{X}\underline{\beta} + \underline{\varepsilon}$$

และเขียนข้อสมมติของ $\underline{\varepsilon}$ สามารถเขียนได้สั้น ๆ ดังนี้

$$\underline{\varepsilon} \sim N_n(\underline{0}, \underline{I}\sigma^2)$$

ซึ่งหมายความว่า $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$ เป็นอิสระกัน และมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 $(N(0, \sigma^2))$

ในทำนองเดียวกัน สามารถเขียนข้อสมมติของ Y_i, $i = 1, 2, \ldots, n$ ได้ด้วย

$$\underline{Y} \sim N_n\left(\underline{X}\underline{\beta}, \underline{I}\sigma^2\right)$$

กรรมวิธีการสร้างตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น มีขั้นตอนที่ควรดำเนินการดังนี้

1. กำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ การกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์อาจใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์มีการกำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ที่เรียกว่าตัวแบบเศรษฐศาสตร์ ซึ่งอาจจะนำมาประยุกต์ได้กับเรื่องที่ศึกษา ในกรณีที่ไม่สามารถหาทฤษฎีใดมาประยุกต์ได้ นักพยากรณ์จะพิจารณารูปแบบความสัมพันธ์โดยอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ของตัวแปรตามและของตัวแปรอิสระ ซึ่งสามารถพิจารณาโดยใช้กราฟดังนี้

1.1 โดยทั่วไปจะมีข้อสมมติว่าตัวแปรตาม Y มีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ ดังนั้นควรเขียนกราฟแบบจุดหรือแผนภาพฮิสโตแกรม (Histogram diagram) เพื่อดูลักษณะการกระจายหรือการแจกแจงของ Y ว่าเข้ารูปลักษณะแบบสมมาตรหรือไม่ ถ้าพบว่ามีลักษณะไม่สมมาตร โดยเบ้ไปทางซ้ายหรือทางขวามากควรที่จะแปลงข้อมูลของ Y เพื่อให้เข้าลักษณะการแจกแจงแบบสมมาตร วิธีการแปลงค่าของ Y_i อาจจะทดลองด้วยแบบต่าง ๆ เช่น $\sqrt{Y}$, $1/\sqrt{Y}$, $1/Y$, $\ln Y$ หรือ $\log_{10} Y$

1.2 เขียนกราฟระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระทีละตัว เพื่อพิจารณากำหนดรูปแบบความสัมพันธ์เป็นคู่ ๆ ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

เนื่องจากรูปแบบความสัมพันธ์ที่ปรากฏในรูปกราฟบางรูปดูแล้วมีลักษณะคล้ายกัน แต่มีสมการหรือตัวแบบต่างกัน ฉะนั้นในกรณีนี้นักพยากรณ์ควรพิจารณาเลือกรูปแบบฟังก์ชันมากกว่าหนึ่งรูปแบบ เพื่อทดลองหาตัวแบบการถดถอยที่เหมาะสม

1.3 การแปลงตัวแบบการถดถอยไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น ตัวแบบเริ่มแรกที่นักพยากรณ์เลือก อาจไม่อยู่ในลักษณะเหมือนตัวแบบทั่วไปซึ่งอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นทั้งในเทอมของพารามิเตอร์และในเทอมของตัวแปร

2. การประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบการถดถอย เมื่อนักพยากรณ์กำหนดตัวแบบการถดถอยเป็นตัวแบบทดลองได้แล้ว ซึ่งอาจจะมีมากกว่าหนึ่งตัวแบบ ขั้นตอนต่อไปก็คือประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ

ในกรณีของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น และภายใต้คุณสมบัติของ ε_i วิธีมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปคือวิธีกำลังสองน้อยสุดแบบสามัญ (Ordinary Least Squares Method : OLS) ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ และใช้วิธีวิเคราะห์สถิติมาตรฐานโดยทั่วไปในการอนุมานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ ตลอดจนค่าพยากรณ์แบบช่วง

3. การวินิจฉัยความเหมาะสมของตัวแบบการถดถอย งานขั้นกำหนดรูปแบบของตัวแบบและงานประมาณค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบเป็นเพียงงานครึ่งหนึ่งของกรรมวิธีสร้างตัวแบบพยากรณ์ ตัวแบบพยากรณ์ที่ได้จากงานขั้น 1 และ 2 อาจยังไม่เหมาะสมที่จะใช้พยากรณ์ นักพยากรณ์จึงควรทำการตรวจสอบและทำการเปรียบเทียบคัดเลือกตัวแบบพยากรณ์ ถ้าตรวจสอบพบว่าตัวแบบที่กำลังพิจารณายังขาดความเหมาะสม จะกลับไปทำงานในขั้นตอนที่ 1 ถึง 3 ซ้ำ ๆ จนกว่าจะได้ตัวแบบที่เหมาะสมในเชิงสถิติที่จะใช้พยากรณ์ค่าต่อไป

เนื่องจากการอนุมานเชิงสถิติเกี่ยวกับพารามิเตอร์ ซึ่งเกี่ยวกับการทดสอบข้อสมมติฐานต่าง ๆ และการประมาณค่าแบบช่วงของค่าพารามิเตอร์ ตลอดจนการทดสอบและการประมาณค่าแบบช่วงของค่าเฉลี่ย E(Y) ของ Y และของค่าพยากรณ์ของค่าจริง Y โดยทั่วไป การทดสอบและการประมาณค่าดังกล่าว จะกระทำภายใต้คุณสมบัติของค่าคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบด้วยการตรวจสอบคุณสมบัติของค่าผิดพลาด ε_i แต่เนื่องจากไม่ทราบค่าจริงของ ε_i ฉะนั้นจะตรวจสอบคุณสมบัติของค่าเศษตกค้าง e_i ซึ่งกำหนดให้ $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ เป็นค่าประมาณของ ε_i เมื่อตัวแบบเหมาะสม และตรวจสอบว่าค่า e_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) มีคุณสมบัติสอดคล้องตามข้อสมมติหรือไม่ นั่นคือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่ ไม่มีอัตสหสัมพันธ์ และมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ นอกจากนี้อาจพบว่าตัวแบบไม่เหมาะสมเนื่องมาจากตัวแบบมีรูปแบบยังไม่ถูกต้องเหมาะสม วิธีการตรวจสอบนักพยากรณ์อาจเลือกใช้วิธีกราฟ หรือมีวิธีการทดสอบเชิงสถิติ ซึ่งวิธีเชิงสถิติเป็นวิธีที่มีระเบียบ (formal) หรือมีทฤษฎี อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิธีกราฟอาจจะไม่เป็นวิธีเชิงระเบียบทฤษฎี แต่โดยทั่วไปก็เป็นวิธีการที่เพียงพอที่จะใช้วินิจฉัยตัวแบบและเป็นวิธีการง่ายที่ใช้กันโดยทั่วไป ซึ่งการพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ระหว่าง e_i หรือ $e_i / \sqrt{MSE}$ กับตัวแปร $\hat{Y}_i$, ตัวแปรอิสระแต่ละตัว (X_i) และกับเวลา (ถ้าข้อมูลเป็นอนุกรมเวลา) ถ้ากราฟมีรูปแบบไม่เป็นแนวขนานในกรณีที่ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ วิธีการแก้ปัญหาอาจจะใช้วิธีแปลงค่าของตัวแปรตาม Y (เช่นทดลองด้วยการแปลงเป็น $\sqrt{Y}$, $1/\sqrt{Y}$, $1/Y$ หรือ $\ln Y$ เป็นต้น) หรือใช้วิธีแก้ปัญหาเฉพาะในเรื่องนี้ เช่น ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Least Squares Method)

ถ้ากราฟมีรูปแบบไม่เป็นแนวขนานในกรณีที่ตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นยังมีรูปแบบไม่เหมาะสม คือมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในแนวขนานที่เป็นเส้นตรง ควรเพิ่มเทอมค่าคงที่หรือองค์ประกอบเชิงเส้นในตัวแบบ และถ้ามีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในแนวขนานที่เป็นเส้นโค้ง ในบางกรณีอาจแก้ปัญหาโดยเพิ่มเทอมที่มีกำลังสูงขึ้นในตัวแบบ เช่น ควรมีเทอมกำลังสอง αX^2 ของตัวแปรอิสระ X ในตัวแบบ แสดงว่าควรมีเทอมอันดับหนึ่ง และอันดับสองของเวลาในตัวแบบด้วย

การตรวจสอบค่าคลาดเคลื่อนว่ามีสหสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยปกติจะตรวจสอบเมื่อข้อมูลเป็นอนุกรมเวลา และวิธีการตรวจสอบมีหลายวิธี เช่นใช้วิธีพิจารณาค่าของฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ตัวอย่าง [Sample Autocorrelation Function (SACF)], $|r_k|$ ของ $e_1, e_2, \ldots, e_n$ ที่คาบเวลาห่างกัน k ($k = 1, 2, \ldots$) เปรียบเทียบกับค่าตัดสินเชิงสถิติหรือค่าวิกฤต (Critical value) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $2/\sqrt{n}$ โดยประมาณ ที่ระดับนัยสำคัญ (Significance level) 0.05 หรือใช้ค่าของตัว

สถิติ Durbin - Watson สำหรับตรวจสอบอัตสหสัมพันธ์ที่คาบเวลาห่างกัน 1 (k = 1) เมื่อพบว่าค่าคลาดเคลื่อนมีสหสัมพันธ์กันในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น จะมีวิธีการแก้ปัญหานี้โดยเฉพาะ เช่น วิธีการแปลงตัวแปร และวิธีกำลังสองน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก เป็นต้น

การตรวจสอบคุณสมบัติว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ อาจใช้วิธีเขียนแผนภาพฮิสโตแกรม และ/หรือกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ถ้าพบว่าแผนภาพฮิสโตแกรมมีลักษณะโค้งสมมาตร หรือเส้นกราฟความน่าจะเป็น เป็นแนวเส้นตรง ในกรณีนี้ก็มีเหตุผลว่าค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงเข้ารูปแบบปกติ แต่ถ้าฮิสโตแกรมเบ้มาก หรือเส้นกราฟความน่าจะเป็นไม่เป็นแนวเส้นตรง ในกรณีนี้ค่าคลาดเคลื่อนจะไม่สอดคล้องกับคุณสมบัติการแจกแจงแบบปกติ ควรปรับปรุงแก้ไขตัวแบบ เช่นใช้วิธีการแปลงค่าตัวแปรตาม Y ตามที่กล่าวไปแล้ว อย่างไรก็ตามการแจกแจงที่ไม่เข้าสู่การแจกแจงแบบปกติอาจไม่เป็นปัญหามากนัก และอาจพบว่าเมื่อแก้ไขปัญหาในข้ออื่น ๆ ที่กล่าวก่อนหน้านี้ ปัญหาการแจกแจงไม่เป็นแบบปกติอาจจะถูกแก้ไขไปด้วยโดยไม่ต้องแก้ไขโดยตรง

นอกจากนี้การตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของค่าผิดพลาดสุ่ม และความถูกต้องของตัวแบบการถดถอยเชิงเส้นแล้ว ในการวิเคราะห์การถดถอย จะมีการคำนวณค่าของตัวสถิติต่าง ๆ สำหรับทดสอบผลกระทบของแต่ละตัวแปรอิสระต่อค่าตัวแปรตาม Y ว่ามีมากพอที่จะยอมรับได้หรือไม่ในเชิงสถิติ รวมทั้งการตรวจสอบตัวแปรอิสระพร้อมกันทุกตัว (ถ้ามีมากกว่าหนึ่งตัว) ว่าตัวแปรอิสระทั้งกลุ่มมีผลต่อค่า Y มากพอหรือไม่ หรือช่วยให้ค่าพยากรณ์ถูกต้องมากขึ้นหรือไม่ ถ้าพบว่าตัวแปรอิสระตัวใดมีผลกระทบน้อยจนไม่อาจยอมรับได้ในเชิงสถิติ ก็ควรตัดตัวแปรนั้นออกจากตัวแบบ การตรวจสอบหรือการทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับผลกระทบของตัวแปรอิสระทีละตัว เราใช้ตัวสถิติทดสอบที (t statistic) และการทดสอบผลกระทบร่วมกันเป็นกลุ่ม เราใช้ตัวสถิติทดสอบเอฟ (F statistic)

4. การเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ ถ้านักพยากรณ์ได้สร้างตัวแบบทดลองขึ้นมาหลายตัวแบบ และแต่ละตัวแบบได้ผ่านการวินิจฉัยแล้ว เมื่อต้องการคัดเลือกตัวแบบหนึ่งเป็นตัวแบบที่จะใช้พยากรณ์ นักพยากรณ์อาจจะคัดเลือกโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าพยากรณ์

2.1.2 วิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time Series Analysis Methods)

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) เพื่อการพยากรณ์ เป็นการศึกษาข้อมูลที่ให้ความสำคัญต่อลำดับเวลาที่เกิดขึ้นของข้อมูลนั้น และจะเน้นถึงความสำคัญที่ขึ้นต่อกัน (Dependence) ของข้อมูล จากลักษณะทั้งสองประการนี้เองที่ทำให้การวิเคราะห์อนุกรมเวลาแตกต่างจากกรรมวิธีทางสถิติอื่น ๆ ที่มีข้อสมมติเกี่ยวกับความเป็นอิสระ (Independence) ต่อกัน และเกิดจากการสุ่ม (Randomization) ของข้อมูล จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการวิเคราะห์อนุกรมเวลา คือการพยายามอธิบายขบวนการที่ก่อให้เกิดอนุกรมเวลาชุดนั้นๆ และพยากรณ์ค่าของตัวแปรในอนาคต โดยถือว่าค่าพยากรณ์ในอนาคตเป็นผลที่พิจารณาได้จากข้อมูลในอดีต ซึ่งวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ของข้อมูลอนุกรมเวลาที่ศึกษาในครั้งนี้มีวิธีวิเคราะห์ที่ใช้ 3 วิธี คือ วิธีการปรับให้เรียบ วิธีการแยกองค์ประกอบ และวิธีการของบ็อกซ์ - เจนกินส์ ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. วิธีการปรับให้เรียบ

วิธีการปรับให้เรียบสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลามีหลายวิธีด้วยกัน วิธีการเหล่านี้โดยทั่วไปไม่ซับซ้อน ใช้เวลาไม่มากนักในการคำนวณและสำหรับความถูกต้องของค่าพยากรณ์จะมากน้อยขึ้นอยู่กับเทคนิคพยากรณ์ที่เลือกใช้ว่าสอดคล้องกับลักษณะข้อมูลอนุกรมเวลาเพียงใด ส่วนการทำการวิจัยในครั้งนี้ใช้วิธีการปรับให้เรียบแบบเลขชี้กำลัง (Exponential Smoothing Methods) วิธีพารามิเตอร์สองตัวของโฮลท์ (Holt' s Two – Parameters Method) และวิธีการพยากรณ์ของวินเตอร์ (Winter' s Forecast Method)

1.1วิธีการปรับให้เรียบแบบเลขชี้กำลังในส่วนของการทำวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย 2 วิธี ดังนี้คือ

ก. วิธีการปรับให้เรียบครั้งเดียวแบบเลขชี้กำลัง (Single Exponential Smoothing Method)

วิธีการพยากรณ์นี้เป็นวิธีหนึ่งสำหรับอนุกรมเวลาที่มีค่าเฉลี่ยไม่คงที่ หรือค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงน้อย ๆ เป็นการหาค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก คือการปรับให้เรียบครั้งเดียวแบบเลขชี้กำลัง วิธีนี้จะให้ น้ำหนักกับข้อมูลปัจจุบันมากที่สุด และให้น้ำหนักลดลงเรื่อย ๆ สำหรับข้อมูลอดีตตามลำดับ วิธีนี้จะเหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ในระยะสั้น ซึ่งเมื่อเขียนกราฟแสดงการลดลงของน้ำหนักจะมีรูปแบบของเลขชี้กำลัง

ตัวแบบพยากรณ์ค่าในอนาคต Y_{T+l} ($l = 1, 2, 3, \ldots$) จากเวลาปัจจุบัน T :

$$\hat{Y}_T(l) = S_T = \alpha Y_T + (1-\alpha)S_{T-1} \qquad , l = 1, 2, \ldots$$

ซึ่ง α คือค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ปรับให้เรียบ (smoothing constant) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 นักพยากรณ์จะต้องเลือกกำหนดค่า α ซึ่งโดยทั่วไปจะเลือกค่า α อยู่ระหว่าง 0.05 และ 0.3 ซึ่งถ้าระดับค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงช้า ๆ ควรเลือก α ค่าเล็ก สำหรับ S_t มีชื่อเรียกว่า "ตัวสถิติปรับให้เรียบ" (Smoothed statistic) ซึ่งการคำนวณหาค่า S_t จะต้องใช้ค่า $S_{t-1}, S_{t-2}, \ldots, S_1, S_0$ นั่นคือ เมื่อทราบค่าเริ่มต้น S_0 จะสามารถหาค่า S ตัวต่อ ๆ ไปได้ ฉะนั้นนักพยากรณ์จะต้องกำหนดค่าเริ่มต้น S_0 และตัวอย่างในการเลือกกำหนดค่า S_0 เช่น ใช้ค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาที่มีอยู่

$$S_0 = \overline{Y} = (1/T)(Y_1 + Y_2 + \ldots + Y_T)$$

โดยเฉพาะกรณีที่ระดับค่าเฉลี่ยของอนุกรมเวลาเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ อีกหนทางหนึ่งในการเลือกค่า α คือการทดลองแปรเปลี่ยนค่า α เช่น α เริ่มจาก α = 0.01 ต่อไปเป็น 0.02, 0.03, ... และแต่ละค่า α สามารถคำนวณค่า S_t และหาค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE) จากนั้นเปรียบเทียบค่า MSE ทั้งหมดและเลือกค่า α ที่ให้ MSE ต่ำสุด

ข.วิธีการปรับให้เรียบสองครั้งแบบเลขชี้กำลัง (Double Exponential Smoothing Method)

จากแนวคิดการปรับให้เรียบครั้งเดียวแบบเลขชี้กำลัง นำมาขยายผลใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเชิงเส้นไม่คงที่ตลอดช่วงเวลา T มีสูตรพยากรณ์ค่าจริง Y_{T+l} ที่เวลา $T + l$ จากเวลาปัจจุบัน T ดังนี้

$$\hat{Y}_T(l) = \left(2 + \frac{\alpha l}{1-\alpha}\right)S_T^{[1]} - \left(1 + \frac{\alpha l}{1-\alpha}\right)S_T^{[2]}$$

ซึ่ง

$$S_T^{[1]} = \alpha Y_T + (1-\alpha)S_{T-1}^{[1]}$$
$$S_T^{[2]} = \alpha S_T^{[1]} + (1-\alpha)S_{T-1}^{[2]}$$

การคำนวณ $S_T^{[1]}$ และ $S_T^{[2]}$ ต้องการทราบค่า $S_{T-2}^{[1]}, S_{T-2}^{[2]}, S_{T-3}^{[1]}, \ldots, S_0^{[1]}, S_0^{[2]}$ ดังนั้นต้องเริ่มคำนวณด้วยค่า $S_0^{[1]}$ และ $S_0^{[2]}$ เราจะประมาณค่า $S_0^{[1]}$ และ $S_0^{[2]}$ ได้ดังนี้

$$S_0^{[1]} = \hat{\beta}_0 - \left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)\hat{\beta}_1$$

$$S_0^{[2]} = \hat{\beta}_0 - 2\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)\hat{\beta}_1$$

ซึ่ง

$$\hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \left(\frac{T+1}{2}\right)\hat{\beta}_1$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{12\sum_{t=1}^{T}\left(t-(T+1)/2\right)Y_t}{T^3 - T}$$

1.2 วิธีพารามิเตอร์สองตัวของโฮลท์ (Holt' s Two – Parameters Method)

วิธีการของโฮลท์มีลักษณะคล้ายกับวิธีการปรับให้เรียบสองครั้งแบบเลขชี้กำลัง แต่มีลักษณะทั่วไปมากกว่า มีสูตรพยากรณ์ดังนี้

$$\hat{Y}_T(l) = S_T + l\hat{\beta}_T$$

ซึ่ง

ตัวสถิติปรับระดับ $S_T = \alpha Y_T + (1-\alpha)\left(S_{T-1} + \hat{\beta}_{T-1}\right)$

ตัวสถิติปรับแนวโน้ม $\hat{\beta}_T = \gamma\left(S_T - S_{T-1}\right) + (1-\gamma)\hat{\beta}_{T-1}$

จะเห็นได้ว่าวิธีการของโฮลท์ใช้พารามิเตอร์ปรับให้เรียบสองตัวคือ α ($0 < \alpha < 1$) และ γ ($0 < \gamma < 1$) ซึ่งนักพยากรณ์จะต้องกำหนดค่าทั้งสองนี้ ในการกำหนดผู้วิเคราะห์สามารถกำหนดเองหรืออาจให้โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการพยากรณ์ค้นหาให้ เพื่อให้การพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดและผู้วิเคราะห์ต้องกำหนดค่าเริ่มต้น S_1 และ $\hat{\beta}_1$ เช่น กำหนดให้ $S_1 = Y_1$ และ $\hat{\beta}_1 = Y_2 - Y_1$

1.3 วิธีการพยากรณ์ของวินเตอร์ (Winter' s Forecast Method)

เมื่ออนุกรมเวลามีองค์ประกอบฤดูกาล การใช้วิธีการพยากรณ์ที่กล่าวมาทั้งหมดสำหรับการพยากรณ์จะไม่เหมาะสม ควรจะใช้วิธีการพยากรณ์ที่พิจารณาองค์ประกอบของฤดูกาลร่วมด้วย วิธีการพยากรณ์ของวินเตอร์เป็นการขยายผลของวิธีพารามิเตอร์สองตัวของโฮลท์ โดยเพิ่มพารามิเตอร์หรือค่าคงที่ปรับให้เรียบอีกหนึ่งตัวรวมเป็นสามตัวคือ ค่าคงที่ปรับให้เรียบสำหรับ

ระดับ (α_1) ค่าคงที่ปรับให้เรียบสำหรับแนวโน้มหรือความชัน (α_2) ค่าคงที่ปรับให้เรียบสำหรับฤดูกาล (α_3) ค่าทั้งสามค่านั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

ตัวแบบอนุกรมเวลาตัวแบบหนึ่งของวินเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบแนวโน้มและฤดูกาลมีชื่อเรียกว่า ตัวแบบผลคูณของวินเตอร์ (Winters' Multiplicative Seasonal Forecast Procedure) มีสมการดังนี้

$$Y_t = (\mu_t + \beta_t t)S_t + \varepsilon_t$$

ซึ่ง μ_t, β_t, S_t เป็นพารามิเตอร์แสดงระดับ ความชัน และฤดูกาลของอนุกรมเวลา ตามลำดับ และ ε_t คือความคลาดเคลื่อนสุ่ม โดยมีข้อสมมติพื้นฐานคือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ความแปรปรวนคงที่ และไม่มีสหสัมพันธ์กัน

ตัวแบบข้างต้นเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีการแกว่งหรือการผันแปรของฤดูกาลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับของอนุกรม (ค่าเฉลี่ยของอนุกรม) กล่าวคือ การแกว่งจะมากขึ้นขณะที่ระดับของอนุกรมเพิ่มขึ้น ส่วนการผันแปรของ ε_t ไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอนุกรม จากตัวแบบข้างต้น จะได้สูตรพยากรณ์ดังนี้

$$\hat{Y}_t(l) = (\hat{\mu}_t + \hat{\beta}_t t)\hat{S}_{t+l-m} \quad , t = m, m+1, \ldots$$

ซึ่ง

$$\hat{\mu}_t = \alpha_1 (Y_T/\hat{S}_{t-m}) + (1 - \alpha_1)(\hat{\mu}_{t-1} + \hat{\beta}_{t-1})$$

$$\hat{\beta}_t = \alpha_2 (\hat{\mu}_t - \hat{\mu}_{t-1}) + (1 - \alpha_2)\hat{\beta}_{t-1}$$

$$\hat{S}_t = \alpha_3 (Y_t/\hat{\mu}_t) + (1 - \alpha_3)\hat{S}_{t-m}$$

m = ความยาวของคาบฤดูกาล

การคำนวณค่าพยากรณ์ $\hat{Y}_t(l)$ ต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของ $\hat{\mu}_t$, $\hat{\beta}_t$ และ $\hat{S}_t$ นอกเหนือจากการกำหนดค่าคงที่ปรับให้เรียบ α_1, α_2, α_3 ซึ่งอยู่ระหว่าง 0 และ 1 และหนทางหนึ่งในการกำหนดค่าเริ่มต้นคือให้

$$\hat{\mu}_m = (Y_1 + Y_2 + \ldots + Y_m)/m$$

$$\hat{S}_t = Y_t/\hat{\mu}_m \qquad \text{สำหรับ } t = 1, 2, \ldots, m$$

$$\hat{\beta}_m = 0$$

2. วิธีการแยกองค์ประกอบ (Decomposition Methods)

อนุกรมเวลาที่เก็บรวบรวมอาจจะเป็นทั้งอนุกรมเวลารายปี รายไตรมาส รายเดือน รายสัปดาห์ รายวัน หรือละเอียดจนถึงรายชั่วโมง อนุกรมเวลาที่มีลักษณะต่างกันจะมีวิธีการวิเคราะห์ที่ต่างกัน สำหรับการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาจะแบ่งได้เป็น 3 องค์ประกอบใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ

1. องค์ประกอบแนวโน้ม (trend component ; T_t) หมายถึง การเคลื่อนไหวขึ้นลงของข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นระยะเวลายาวนาน พอที่จะสังเกตเห็นได้ว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรง (เมื่อข้อมูลมีอัตราการเปลี่ยนแปลงคงที่) หรือเป็นเส้นโค้ง (เมื่อข้อมูลมีอัตราการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่) ตัวอย่างข้อมูลอนุกรมเวลาที่แสดงแนวโน้มการเคลื่อนไหวระยะยาว ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของประชากร การเพิ่มขึ้นของราคาสินค้า เป็นต้น

2. องค์ประกอบฤดูกาล (seasonal component ; S_t) หมายถึง การเคลื่อนไหวขึ้นลงของข้อมูลที่เกิดขึ้นเนื่องจากฤดูกาลหรือประเพณี และมักจะเกิดซ้ำกันเป็นประจำในช่วงเวลาเดียวกันของแต่ละปี ซึ่งมักจะเป็นรายเดือน หรือรายไตรมาส ตัวอย่างของข้อมูลอนุกรมเวลาที่แสดงความแปรผันตามฤดูกาล เช่น ปริมาณรถยนต์ที่ผ่านสี่แยกในแต่ละชั่วโมง ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ของเขื่อนภูมิพลในแต่ละเดือน เป็นต้น

3. องค์ประกอบอิทธิพลของเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (the irregular (or error)component ; ε_t) หมายถึง การเคลื่อนไหวขึ้นลงของข้อมูลที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และไม่สามารถจะคาดคะเนหรือทำนายได้ล่วงหน้า ความแปรผันที่ไม่สม่ำเสมอนี้เกิดจากเหตุการณ์ไม่ปกติต่าง ๆ เช่น สงคราม น้ำท่วม แผ่นดินไหว ภูเขาไฟระเบิด การนัดหยุดงาน เป็นต้น

ซึ่งทั้งสามองค์ประกอบจะมีรูปแบบของอนุกรมเวลาที่สามารถสร้างขึ้นในรูปแบบของ

1. ผลบวก (the additive decomposition) จะกำหนดรูปแบบของอนุกรมเวลาเป็น

$$Z_t = T_t + S_t + \varepsilon_t$$

เหมาะสำหรับอนุกรมที่มีส่วนที่เป็นฤดูกาลไม่แปรผันตามระดับของค่าเฉลี่ย หรืออาจอยู่ในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยคงที่

2. ผลคูณ (the multiplicative decomposition) จะกำหนดรูปแบบของอนุกรมเวลาเป็น

$$Z_t = T_t * S_t * \varepsilon_t$$

เหมาะสำหรับอนุกรมที่มีส่วนที่มีความแปรผันตามระดับของค่าเฉลี่ย หรืออาจอยู่ในกรณีที่มีค่าเฉลี่ยไม่คงที่

การพิจารณารูปแบบของอนุกรมเวลาแบบแยกส่วนประกอบจะอยู่ในรูปผลบวก โดยจะเริ่มจากการพิจารณาองค์ประกอบแนวโน้ม (trend component ; T_t) มีรูปแบบโพลิโนเมียล องศาต่ำๆ ของเวลา t

$$T_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i \frac{t^i}{i!}$$

ซึ่ง k คือองศาของโพลิโนเมียล และ k มีขนาดเล็ก เช่น

ถ้า k = 1 linear trend : $T_t = \beta_0 + \beta_1 t$

องค์ประกอบของฤดูกาล (seasonal component ; S_t) จะสามารถเขียนในรูปของตัวบ่งชี้

$$S_t = \sum_{i=1}^{s} \delta_i \, IND_{ti}$$

โดยที่ IND_{ti} เป็นตัวบ่งชี้ (indicator)และจะเท่ากับ 1 ถ้า t เป็นเวลาที่สอดคล้องกับคาบฤดูกาลที่ i

องค์ประกอบอิทธิพลของเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (the irregular (or error)component ; ε_t) จะมีข้อสมมติคือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่ ไม่มีอัตสหสัมพันธ์ และมีการแจกแจงแบบปกติ

จากองค์ประกอบที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น สามารถเขียนรูปแบบอนุกรมเวลาโดยการแยกส่วนประกอบดังนี้

$$Z_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i \frac{t^i}{i!} + \sum_{i=1}^{s} \delta_i \, IND_{ti} + \varepsilon_t$$

3. วิธีการของบ็อกซ์ - เจนกินส์ (Box - Jenkins Methods)

วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาโดยทั่วไปจะมีข้อสมมติฐานข้อหนึ่งคือ อนุกรมเวลา $\{ \ldots, Y_{t-2}, Y_{t-1}, Y_t, Y_{t+1}, \ldots \}$ ไม่มีสหสัมพันธ์ ดังเช่นวิธีการปรับให้เรียบ รวมถึงการวิเคราะห์การถดถอยที่ใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดแบบสามัญ ซึ่งข้อสมมติดังกล่าวไม่เป็นจริง นั่นคือ

มีหลายอนุกรมเวลา $\{ \ldots, Y_{t-2}, Y_{t-1}, Y_t, Y_{t+1}, \ldots \}$ มีสหสัมพันธ์กัน ถ้าเป็นเช่นนั้นการใช้วิธีที่มีข้อสมมติของตัวแปรอนุกรมเวลาไม่มีสหสัมพันธ์อาจจะไม่เหมาะสม ทั้งนี้เพราะวิธีการเหล่านี้ไม่ได้นำเอาสหสัมพันธ์ที่ปรากฏไปใช้ประโยชน์ในการสร้าง ตัวแบบพยากรณ์ ฉะนั้นจึงได้มีผู้คิดค้นหาวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์สำหรับอนุกรมเวลาที่ได้นำเอา สหสัมพันธ์ที่ปรากฏไปวิเคราะห์ใช้ประโยชน์ และโดยทั่วไปวิธีเหล่านี้จะให้ผลพยากรณ์ที่ดีกว่าในหลายวิธี วิธีหนึ่งที่เป็นที่รู้จักและใช้กันมากคือ วิธีการของบ็อกซ์ – เจนกินส์

โดยวิธีการของบ็อกซ์ – เจนกินส์ จะหาตัวแบบอนุกรมเวลาโดยพิจารณาสหสัมพันธ์ระหว่าง Y ที่ตำแหน่งเวลาหรือคาบเวลา t (Y_t) และ Y ที่ตำแหน่งเวลาหรือคาบเวลาต่าง ๆ ที่ผ่านมา ($Y_{t-1}, Y_{t-2}, \ldots$) เมื่อได้ตัวแบบแล้ว ตัวแบบนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y_t กับ Y_{t-1}, Y_{t-2} และจะใช้ตัวแบบนี้พยากรณ์ค่า $Y_{t+1}, Y_{t+2}, \ldots$ ในอนาคต ตัวแบบบ็อกซ์ – เจนกินส์โดยทั่วไปจะใช้พยากรณ์ค่าในช่วงเวลาข้างหน้าที่เป็นระยะสั้นหรือปานกลาง ทั้งนี้เพราะตัวแบบโดยทั่วไปจะให้ความสำคัญหรือให้น้ำหนักมากกับข้อมูลในอดีตระยะใกล้มากกว่าข้อมูลในอดีตที่ห่างไกลออกไปมาก ซึ่งเราอาจจะไม่เคยพบตัวแบบบ็อกซ์ – เจนกินส์ ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y_t กับ Y ที่ห่างไกลกันมาก ๆ

แนวคิดของการพัฒนาตัวแบบบ็อกซ์ – เจนกินส์ มาจากการศึกษาวิเคราะห์กระบวนการเชิงเส้น หรือตัวกรองเชิงเส้น (linear filter) :

$$Y_t = \mu + a_t + \psi_1 a_{t-1} + \psi_2 a_{t-2} + \ldots \qquad \mapsto (3.1)$$

นั่นคือพิจารณาอนุกรมเวลาหรือค่าสังเกต Y_t ที่เกิดจากผลบวกเชิงเส้นของตัวแปรสุ่ม $a_t, a_{t-1}, a_{t-2}, \ldots$ ที่ไม่มีสหสัมพันธ์กัน เราเรียก ตัวแปรสุ่ม $a_t, a_{t-1}, a_{t-2}, \ldots$ ว่า "ค่าผิดพลาดสุ่ม" หรือเรียกว่า "กระตุกสุ่ม" (random shocks) และสมมติว่าแต่ละตัวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ และมีความแปรปรวนคงที่ และโดยทั่วไปจะสมมติด้วยว่ามีการแจกแจงแบบปกติ

ในตัวกรองเชิงเส้น หรือตัวแบบเชิงเส้น (3.1) พารามิเตอร์ μ คือค่าระดับเฉลี่ยของ Y_t เมื่ออนุกรมเวลาอยู่ในสภาพคงที่ และพารามิเตอร์ $\psi_1, \psi_2, \ldots$ เป็นน้ำหนักที่ให้กับตัวแปรสุ่ม $a_{t-1}, a_{t-2}, \ldots$ กระบวนการหรือตัวแบบเชิงเส้นจะไม่ให้ประโยชน์ ถ้ามีพารามิเตอร์จำนวนอนันต์ เพราะฉะนั้น จะสร้างตัวแบบที่ประกอบด้วยพารามิเตอร์จำนวนจำกัด และเพียงพอที่จะอธิบายอนุกรมเวลาที่พิจารณา

3.1 ตัวแบบภายใต้ภาวะคงที่ (Stationary Models)

3.1.1 ตัวแบบอัตถดถอย [Autoregressive (AR) Models]

จากตัวแบบเชิงเส้นจะพัฒนาตัวแบบเฉพาะกลุ่มหนึ่งเรียกว่า "ตัวแบบอัตถดถอยอันดับ p" หรือ "กระบวนการอัดถดถอยอันดับ p" [Autoregressive process of order p] แทนด้วยอักษรย่อ AR(p) และมีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$Y_t - \mu = \phi_1 (Y_{t-1} - \mu) + \phi_2 (Y_{t-2} - \mu) + \ldots + \phi_p (Y_{t-p} - \mu) + a_t$$

หรือ $$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \ldots + \phi_p Z_{t-p} + a_t$$

หรือ $$Y_t = c + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \ldots + \phi_p Y_{t-p} + a_t$$

โดยให้ $Z_t = Y_t - \mu$, $Z_{t-1} = Y_{t-1} - \mu$, . . . และ $c = \mu(1 - \phi_1 - \phi_2 - \ldots - \phi_p)$
และ $\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_p$, μ เป็นพารามิเตอร์ที่โดยทั่วไปไม่ทราบค่า จะประมาณค่าได้จากข้อมูล

จากตัวแบบ AR(p) ข้างต้น อาจเขียนในรูปแบบสั้น ๆ :

$$\phi_p (B) Z_t = a_t$$

โดยที่ $$\phi_p (B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \ldots - \phi_p B^p)$$

และ $$B Z_t = Z_{t-1} \ , \ B^2 Z_t = Z_{t-2} \ , \ldots , \ B^p Z_t = Z_{t-p}$$

เราเรียก B ว่า "ตัวถอยหลังเวลา" (backward – shift operator)

โดยทั่วไปในทางปฏิบัติ อันดับ p จะไม่สูงมากนัก เช่น 1 , 2 หรือ 3 ถ้า p = 1, 2 เขียนกระบวนการคงที่หรือตัวแบบคงที่ AR(1) และ AR(2) ได้ดังนี้

ตัวแบบ AR(1) : $$Y_t = c + \phi_1 Y_{t-1} + a_t$$

โดยมีเงื่อนไขของการเป็นตัวแบบคงที่ ดังนี้ $$-1 < \phi_1 < 1$$

ตัวแบบ AR(2) : $$Y_t = c + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + a_t$$

โดยมีเงื่อนไขของการเป็นตัวแบบคงที่ ดังนี้

$$\phi_1 + \phi_2 < 1$$

$$\phi_2 - \phi_1 < 1$$

$$-1 < \phi_2 < 1$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ [Moving Average (MA) Models]

จากตัวแบบเชิงเส้น (3.1) พัฒนาตัวแบบเฉพาะอีกกลุ่มหนึ่งเรียกว่า "ตัวแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ q" หรือ "กระบวนการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ q" [Moving Average process of order q] แทนด้วยอักษรย่อ MA(q) และมีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$Y_t = \mu + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \ldots - \theta_q a_{t-q}$$

หรือ $$Z_t = \theta_q(B)a_t$$

ซึ่ง $$Z_t = Y_t - \mu$$

$$\theta_q(B) = \left(1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \ldots - \theta_q B^q\right)$$

ตัวแบบบ็อกซ์ – เจนกินส์ ยังมีเงื่อนไขที่ต้องสอดคล้องอีกเงื่อนไขหนึ่งนอกเหนือจากเงื่อนไขของการเป็นตัวแบบคงที่ (stationarity) คือเงื่อนไข "ผกผันได้" (invertibility) ซึ่งพบว่าตัวแบบ AR(p), $p < \infty$ มีคุณสมบัติผกผันได้เสมอ แต่อาจไม่คงที่ ในขณะที่ตัวแบบ MA(q), $q < \infty$ มี คุณสมบัติคงที่เสมอ แต่อาจจะผกผันไม่ได้ เพราะฉะนั้นต้องตรวจสอบคุณสมบัติคงที่ในตัวแบบ AR และตรวจสอบคุณสมบัติผกผันได้ในตัวแบบ MA

ในทำนองเดียวกันกับตัวแบบ AR ในทางปฏิบัติ อันดับ q จะไม่สูงมากนัก เช่น 1, 2 หรือ 3 ถ้า $q = 1, 2$ จะได้ตัวแบบ MA(1) และ MA(2) ได้ดังนี้

ตัวแบบ MA(1) : $$Y_t = \mu + a_t - \theta_1 a_{t-1}$$

โดยมีเงื่อนไขของการผกผันได้ ดังนี้ $$-1 < \theta_1 < 1$$

ตัวแบบ MA(2) : $$Y_t = \mu + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2}$$

โดยมีเงื่อนไขของการผกผันได้ ดังนี้

$$\theta_1 + \theta_2 < 1$$

$$\theta_2 - \theta_1 < 1$$

$$-1 < \theta_2 < 1$$

3.1.3 ตัวแบบอัตถดถอย – ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ [Autoregressive - Moving Average (ARMA) Models]

ในบางกรณี การใช้ตัวแบบหรือกระบวนการผสมระหว่างตัวแบบ AR และ MA จะเป็นตัวแบบที่ประหยัด แทนการใช้ตัวแบบ AR ในอันดับสูง ๆ ตัวแบบเดียว หรือแทนการใช้ตัวแบบ MA ในอันดับสูง ๆ ตัวแบบเดียว เราจะใช้สัญลักษณ์ ARMA (p, q) หมายถึงตัวแบบผสมอัตถดถอยอันดับ p และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับ q มีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$Y_t = \mu + \phi_1 (Y_{t-1} - \mu) + \phi_2 (Y_{t-2} - \mu) + \ldots + \phi_p (Y_{t-p} - \mu) + a_t + \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \ldots - \theta_q a_{t-q}$$

หรือ $$\phi_p (B) Z_t = \theta_q (B) a_t$$

อันดับ p และ q สำหรับตัวแบบ ARMA จะไม่สูงมากนักในทางปฏิบัติ ถ้า $p = 1$, $q = 1$ จะได้ตัวแบบ ARMA(1, 1) ได้ดังนี้ :

$$Y_t = \mu + \phi_1 (Y_{t-1} - \mu) + a_t + \theta_1 a_{t-1}$$

โดยมีเงื่อนไขของความคงที่และผกผันได้ ดังนี้ $-1 < \phi_1 < 1$ และ $-1 < \theta_1 < 1$

3.2 ตัวแบบภายใต้ภาวะไม่คงที่ (Nonstationary Models) และตัวแบบ ARIMA

ถ้าข้อมูลอนุกรมเวลาหรือกระบวนการ Y_t ไม่อยู่ในสภาพคงที่ในค่าเฉลี่ย และ/หรือความแปรปรวน นักพยากรณ์จะต้องแปลงข้อมูลนั้นให้อยู่ในสภาพคงที่ก่อนพิจารณากำหนดตัวแบบ

การแปลงข้อมูลอนุกรมเวลาที่ไม่คงที่ในค่าเฉลี่ย จะใช้วิธีการทำผลต่าง โดยนำข้อมูลมาลบกันได้เป็นข้อมูลชุดใหม่ นอกจากนี้การทำผลต่างดังกล่าว อาจจะต้องทำมากกว่าหนึ่งครั้งจึงจะทำให้อนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยคงที่ ซึ่งโดยทั่วไปถ้าอนุกรมมีแนวโน้มมักจะทำผลต่างสองครั้งจึงจะคงที่ การทำผลต่างไม่ควรทำหลายครั้งมากเกินความจำเป็น เพราะจะมีผลทำให้ค่าพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนสูง

ในกรณีที่อนุกรมเวลาไม่คงที่ในความแปรปรวน หรือมีการเคลื่อนไหวเป็นเส้นโค้ง วิธีการแปลงข้อมูลที่ใช้กันมาก คือ ใส่ ln ในอนุกรม Y_t ได้เป็นข้อมูลอนุกรมใหม่ $X_t = \ln Y_t$ ซึ่ง $Y_t > 0$, $t = 1, 2, , \ldots, n$ วิธีนี้มักจะใช้เมื่อความแปรปรวนแปรผันตามระดับค่าเฉลี่ย

ถ้าอนุกรมเวลาไม่คงที่ทั้งในค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน ในกรณีนี้จะต้องแปลงข้อมูลให้คงที่ทั้งในค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน และโดยทั่วไปจะแปลงข้อมูลในเรื่องความแปรปรวนก่อนแล้วจึงทำผลต่างในข้อมูลที่ถูกแปลงแล้ว ทั้งนี้เพราะถ้าทำผลต่างก่อนอาจแปลงแก้ความแปรปรวนไม่ได้ เช่น ถ้าทำผลต่างแล้วมีค่าเป็นลบจะใช้วิธีหาค่า ln หรือรากที่สองไม่ได้

เมื่ออนุกรมเวลามีสภาพไม่คงที่ หรือไม่เคลื่อนไหวรอบค่าเฉลี่ยคงที่ค่าหนึ่งค่าเดียวจะต้องแปลงข้อมูล ฉะนั้นถ้ามีการทำผลต่าง d ครั้ง จะเขียนตัวแบบผสมเป็น ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average Models] ด้วยอันดับ (p, d, q) มีรูปแบบทั่วไปดังนี้

ตัวแบบ ARIMA(p, d, q) :

$$\phi_p(B)(1 - B)^d Y_t = \delta + \theta_q(B)a_t$$

หรือ

$$\phi_p(B)W_t = \delta + \theta_q(B)a_t$$

ซึ่งให้ $W_t = (1 - B)^d Y_t$

และ δ (อาจจะมีค่าเท่ากับศูนย์) เป็นพารามิเตอร์แสดงระดับค่าเฉลี่ยคงที่ของอนุกรม W_t

และ Y_t เป็นอนุกรมที่ถูกแปลงให้มีความแปรปรวนคงที่แล้ว ถ้าอนุกรมแรกเริ่มไม่คงที่ในความแปรปรวน

3.3 ตัวแบบ ARIMA เมื่อมีองค์ประกอบฤดูกาล

องค์ประกอบที่เป็นฤดูกาลในที่นี่ จะไม่จำกัดเฉพาะการแปรผันของข้อมูลคล้ายคลึงกันในระยะเวลาห่างกัน 1 ปี (คล้ายคลึงกันจากปีหนึ่งไปยังอีกปีหนึ่ง) แต่จะรวมถึงความแปรผันคล้ายคลึงกันในช่วงเวลาห่างอื่น ๆ ด้วย

สำหรับอนุกรมเวลาที่มีองค์ประกอบฤดูกาลโดยมีคาบเวลาของฤดูกาล s > 1 ตัวแบบอนุกรมเวลาในส่วนที่เป็นฤดูกาลจะมีโครงสร้างเป็นไปได้เหมือนกับองค์ประกอบที่ไม่ใช่ฤดูกาล นั่นคือจะมีตัวแบบ ARIMA ด้วยอันดับ $(P, D, Q)_S$ ซึ่ง P คืออันดับในส่วนของกระบวนการ AR , Q คืออันดับในส่วนของกระบวนการ MA , D คือจำนวนครั้งที่ทำผลต่างอนุกรมเวลาที่ห่างกัน และ s คือคาบเวลา

เมื่อนำองค์ประกอบในส่วนที่ไม่ใช่ฤดูกาล และส่วนที่เป็นฤดูกาลมาผนวกเข้าด้วยกันจะได้ตัวแบบ ARIMA ที่แสดงส่วนประกอบทั่วไป และตัวแบบทั่วไปตัวแบบหนึ่งคือตัวแบบในรูปผลคูณ ARIMA $(p, d, q)(P, D, Q)_S$ มีรูปแบบดังนี้

$$\phi_p(B)\Phi_P(B^S)(1 - B)^d(1 - B^S)^D Y_t = \delta + \theta_q(B)\Theta_Q(B^S)a_t$$

โดยที่ $$\Phi_p(B^S) = (1 - \Phi_S B^S - \Phi_{2S} B^{2S} - \ldots - \Phi_{PS} B^{PS})$$
$$\Theta_Q(B^S) = (1 - \Theta_S B^S - \Theta_{2S} B^{2S} - \ldots - \Theta_{QS} B^{QS})$$

การพิจารณากำหนดอันดับ (p, d, q) และ $(P, D, Q)_S$ จะพิจารณาแยกจากกัน แต่ใช้หลักการพิจารณากำหนดอันดับ p, d, q, P, D, Q และ s ด้วย ถ้าตรวจพบว่าข้อมูลอนุกรมเวลามีองค์ประกอบฤดูกาลด้วยคาบฤดูกาล s อันดับของ p และ q คืออันดับของกระบวนการ AR และ MA ในส่วนที่ไม่ใช่ฤดูกาล ส่วน P และ Q คือ อันดับของกระบวนการ AR และ MA ในส่วนที่เป็นฤดูกาล สำหรับ d คือ จำนวนครั้งที่ทำผลต่างอนุกรมเวลา เมื่ออนุกรมเวลาในส่วนที่ไม่ใช่ฤดูกาลมีสภาพไม่คงที่ในค่าเฉลี่ย เนื่องจากกระบวนการ AR และ MA ต่างมีรูปแบบโครงสร้างเฉพาะสำหรับอันดับของ p และ q ของฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ ACF (Autocorrelation Function) แทนด้วย ρ_k และโครงสร้างของฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ย่อย PACF (Partial Autocorrelation Function) แทนด้วย ϕ_{kk} ซึ่ง k หมายถึงคาบเวลาห่างระหว่างอนุกรม และเรียกคาบเวลานี้ว่า "แล็ก k" (lag k) ดังนั้น ρ_1 อัตสหสัมพันธ์ที่แล็ก 1 หรือ อัตสหสัมพันธ์ของอนุกรมเวลาที่ห่างกัน 1 หน่วย หรือ 1 คาบเวลา (Y_t, Y_{t+1}), $t = 1, 2, \ldots$ ซึ่งวัดความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอนุกรมเวลาที่ห่างกัน 1 คาบเวลา และ ρ_2 อัตสหสัมพันธ์ของอนุกรมเวลาที่ห่างกัน 2 คาบเวลา (Y_t, Y_{t+2}), $t = 1, 2, \ldots$ สำหรับ ϕ_{kk} เป็นอัตสหสัมพันธ์ของอนุกรมเวลาที่ห่างกัน k คาบเวลา (Y_t, Y_{t+k}) โดยพิจารณาจากผลกระทบของอนุกรมเวลา Y_{t+1}, $Y_{t+2}, \ldots, Y_{t+k-1}$ เข้ามาด้วย ส่วนค่าของ ρ_k และ ϕ_{kk} ต่างมีค่าอยู่ระหว่าง -1 และ 1 ตัวอย่างสูตรของฟังก์ชันเหล่านี้เช่น

กระบวนการ AR(1) :
$$Y_t = \delta + \phi Y_{t-1} + a_t$$
$$\rho_k = \phi^k, \qquad k = 0, 1, \ldots$$
$$\phi_{11} = \rho_1 = 0, \ \phi_{kk} = 0, \qquad k = 2, 3, \ldots$$

กระบวนการ MA(1) :
$$Y_t = \mu + a_t - \theta a_{t-1}$$
$$\rho_1 = \frac{-\theta}{1+\theta^2}, \ \rho_k = 0 \qquad k = 2, 3, \ldots$$

$$\phi_{kk} = \frac{-\theta^{k}\left(1-\theta^{2}\right)}{1-\theta^{2(k+1)}}, \quad k = 1, 2, \ldots$$

เพราะฉะนั้นการกำหนดอันดับจะประมาณค่า ρ_k และ ϕ_{kk} โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาที่นำมาวิเคราะห์ และแทนค่าประมาณด้วย $\hat{\rho}_k$ และ $\hat{\phi}_{kk}$ ซึ่งค่าประมาณทั้งสองค่าเรียกว่า "ฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ตัวอย่าง" SACF (Sample Autocorrelation Function) และ "ฟังก์ชันอัตสหสัมพันธ์ย่อยตัวอย่าง" PACF (Sample Partial Autocorrelation Function)

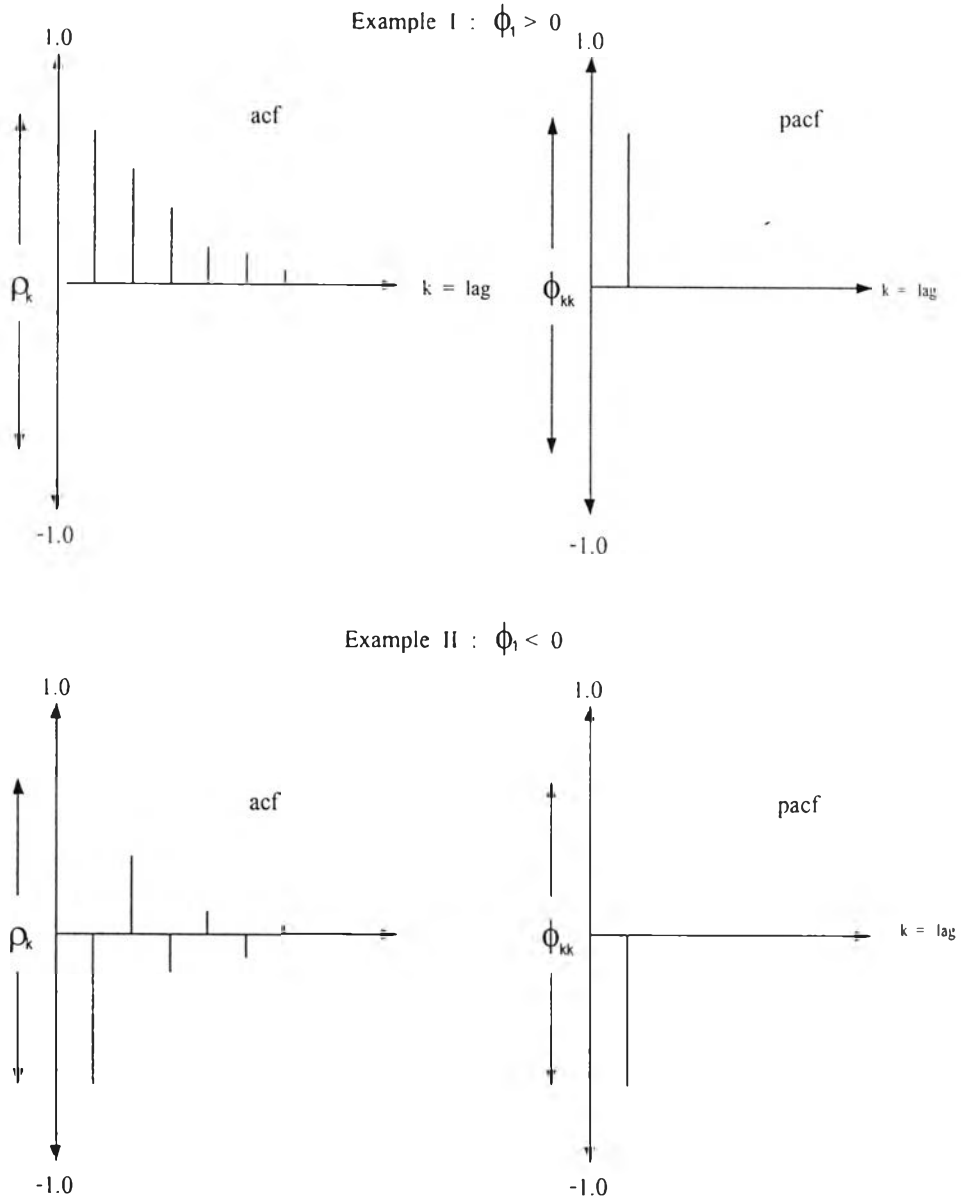
ด้วยวิธีการเลือกตัวแบบโดยการเปรียบเทียบโครงสร้างแปรผันของค่าตัวอย่าง $\hat{\rho}_k$ และ $\hat{\phi}_{kk}$ กับโครงสร้างแปรผันของค่าทางทฤษฎี ρ_k และ ϕ_{kk} จึงจำเป็นที่นักพยากรณ์จะทราบลักษณะ โครงสร้างเชิงทฤษฎีของ ρ_k และ ϕ_{kk} ของกระบวนการ AR, MA และ ARIMA ที่อันดับต่าง ๆ เพื่อจะได้เลือกกระบวนการและอันดับเป็นตัวแบบ ARIMA ทดลอง สำหรับข้อมูลอนุกรมเวลาที่พิจารณา

สรุปลักษณะแปรผันของ ACF และ PACF ของกระบวนการอนุกรมเวลาคงที่สำหรับกระบวนการพื้นฐานเป็นดังนี้

กระบวนการ	ACF	PACF
AR(1)	ค่า ρ_k ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ $k > 1$	ค่า ϕ_{kk} จะมีค่าสูงที่ $k = 1$ และเท่ากับ 0 เมื่อ $k > 1$
AR(2)	ค่า ρ_k ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ $k > 1$	ค่า ϕ_{kk} จะมีค่าสูงที่ $k = 1, 2$ และเท่ากับ 0 เมื่อ $k > 2$
MA(1)	ค่า ρ_k จะมีค่าสูงที่ $k = 1$ และเท่ากับ 0 เมื่อ $k > 1$	ค่า ϕ_{kk} ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ $k > 1$
MA(2)	ค่า ρ_k จะมีค่าสูงที่ $k = 1, 2$ และเท่ากับ 0 เมื่อ $k > 1$	ค่า ϕ_{kk} ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ $k > 1$
ARMA(1, 1)	ค่า ρ_k ลดลงอย่างรวดเร็ว หลังจาก แล็ก $k = 1$	ค่า ϕ_{kk} ลดลงอย่างรวดเร็ว แล็ก $k = 1$

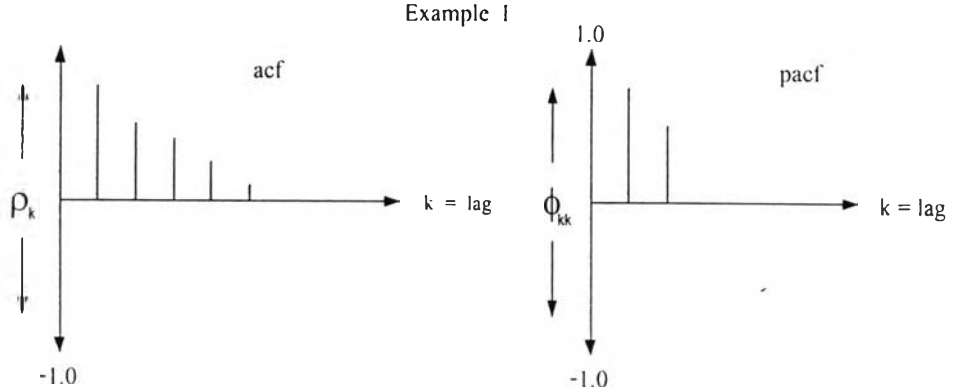
สำหรับกระบวนการ AR, MA และ ARIMA ที่อันดับอื่น ๆ พิจารณาได้ในทำนองเดียวกัน

<u>รูปภาพที่</u> 2.1 ลักษณะแปรผันของ ACF และ PACF ของกระบวนการอนุกรมเวลาคงที่ สำหรับกระบวนการพื้นฐาน AR(1)

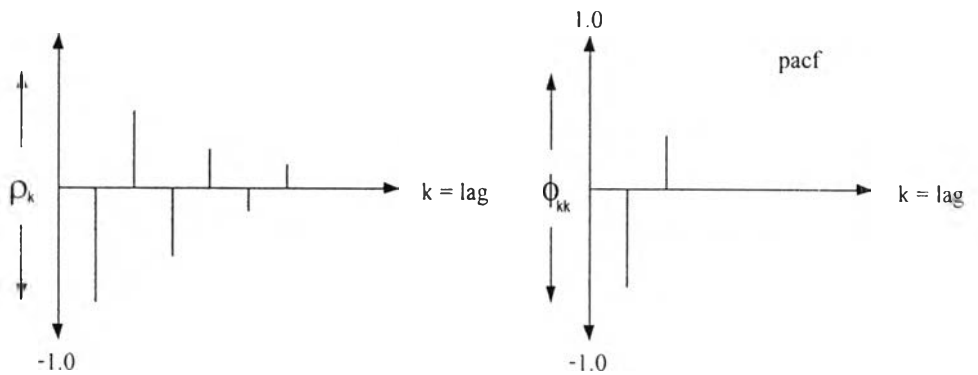


AR(2)

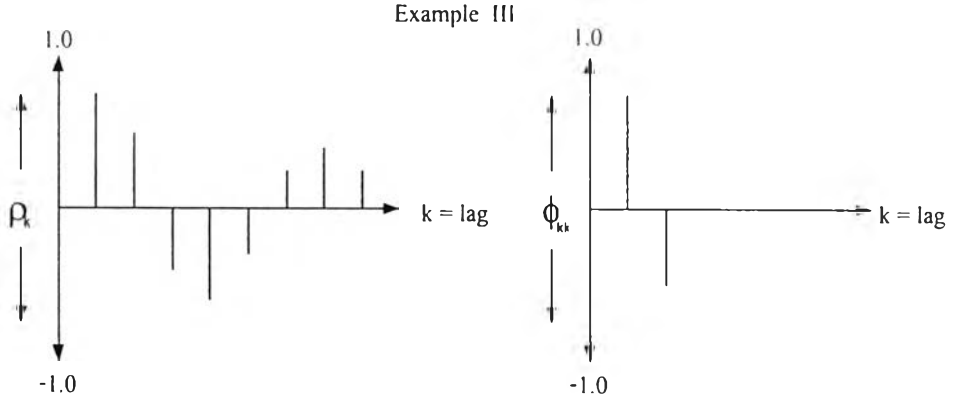
Example I



Example II

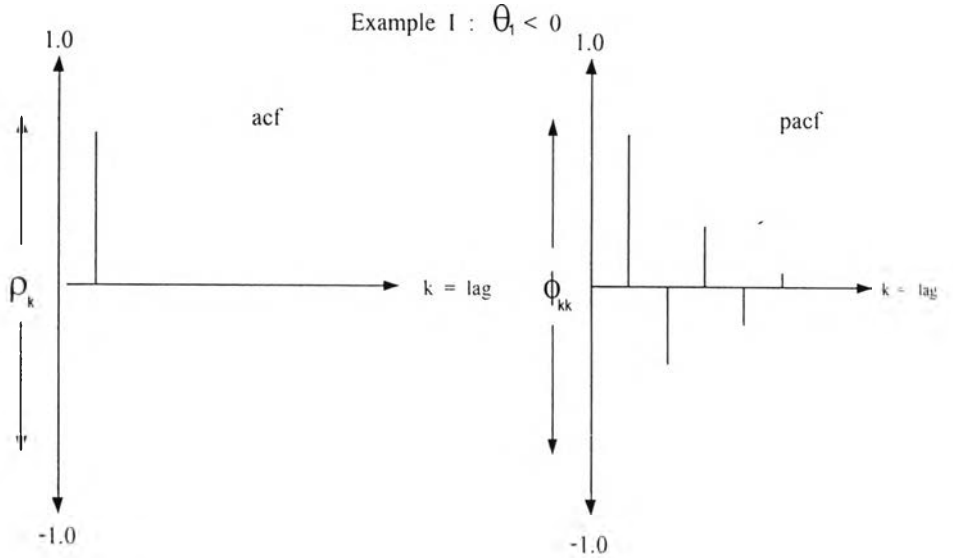


Example III

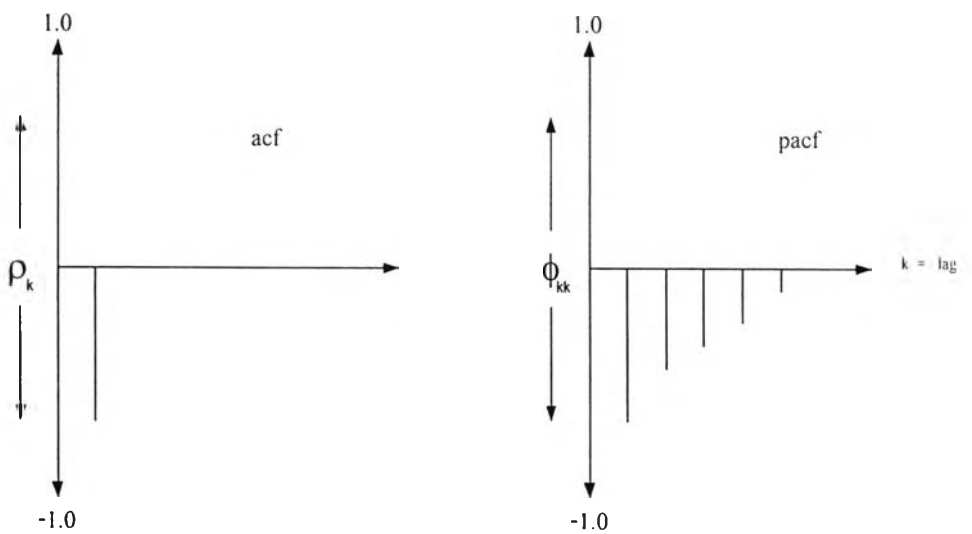


MA(1)

Example I : $\theta_1 < 0$

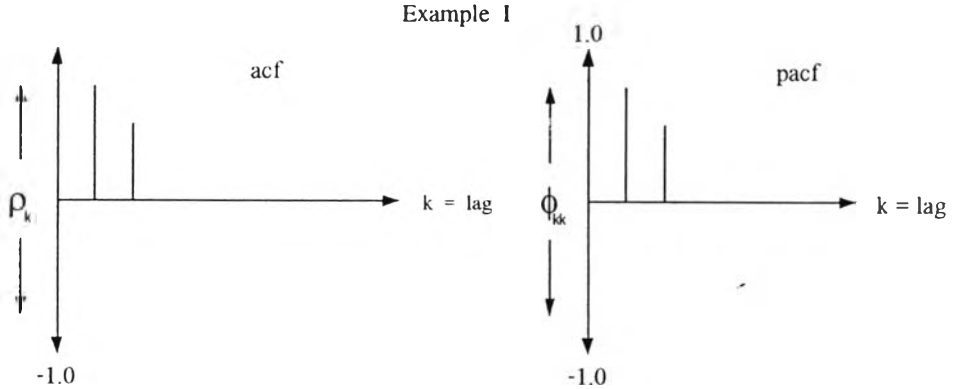


Example II : $\theta_1 > 0$

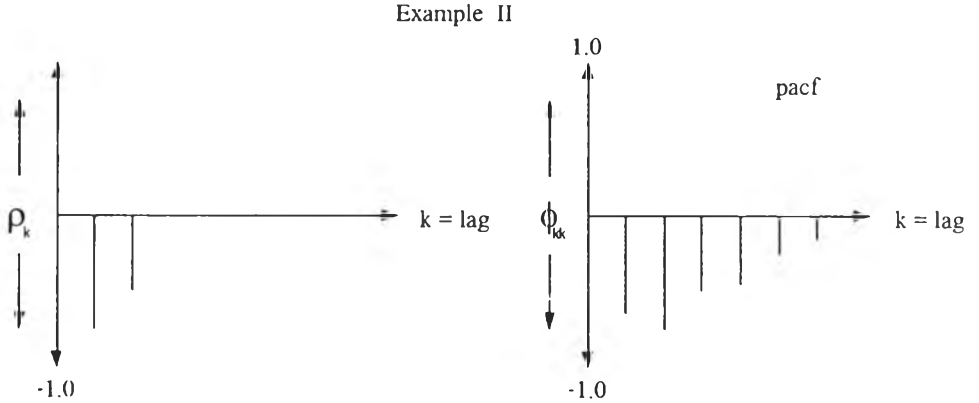


MA(2)

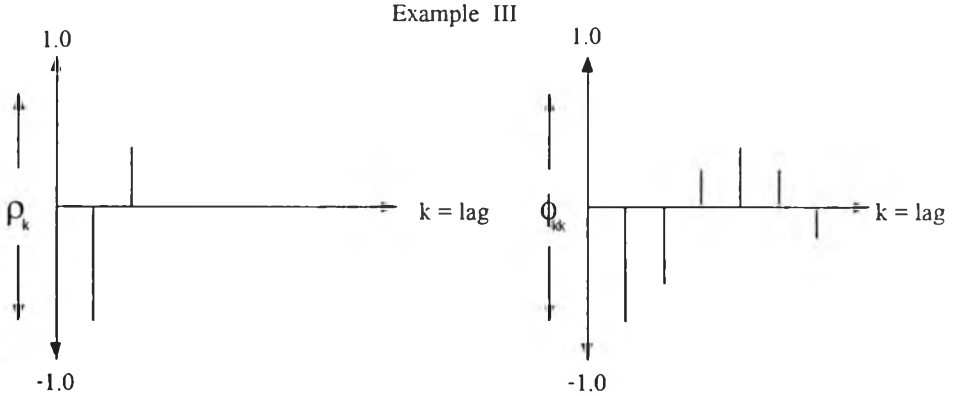
Example I



Example II

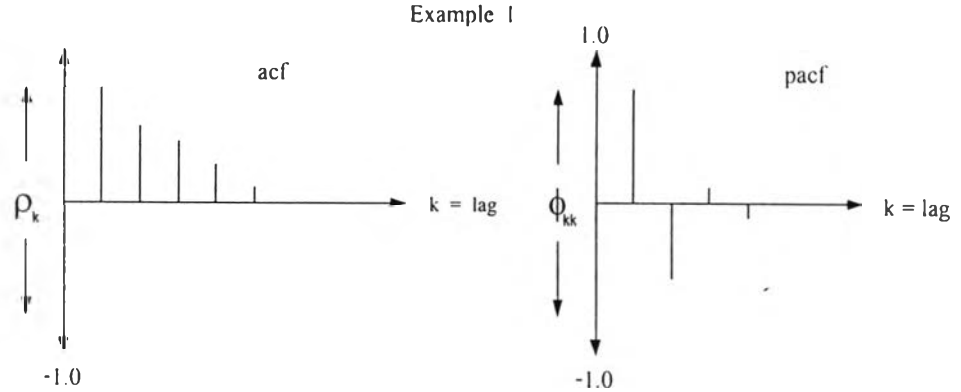


Example III

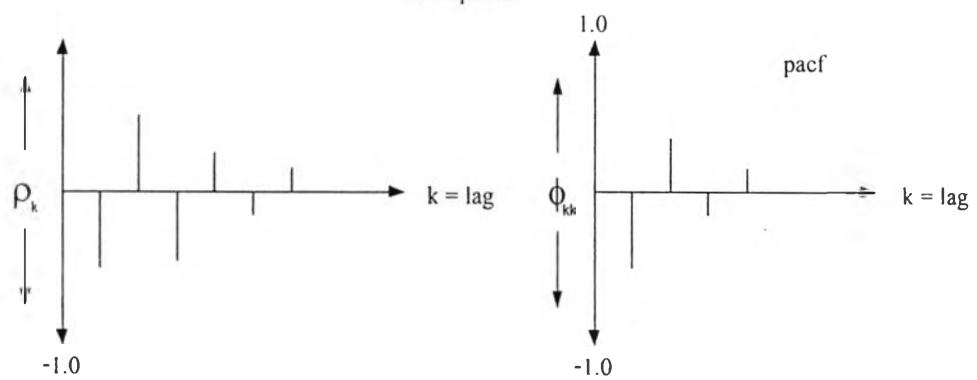


ARMA (1 , 1)

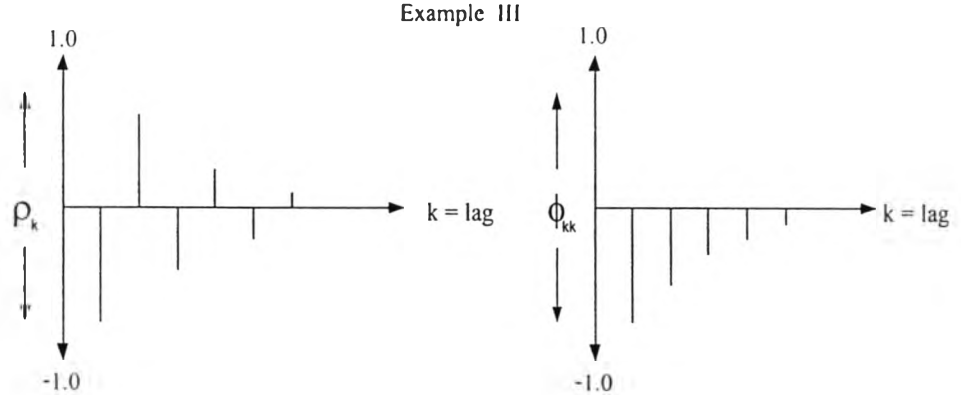
Example I



Example II



Example III



ในองค์ประกอบที่เป็นฤดูกาลมีคาบเวลา s การกำหนดอันดับ P และ Q พิจารณาทำนองเดียวกันกับองค์ประกอบที่ไม่เป็นฤดูกาล โดยพิจารณาจากโครงสร้างแปรผันของอัตสหสัมพันธ์ $\hat{\rho}_k$ และ $\hat{\phi}_{kk}$ ที่แล็ก ฤดูกาล s, 2s, 3s, . . . เปรียบเทียบกับโครงสร้างของ ρ_k และ ϕ_{kk} ทางทฤษฎี ซึ่งมีลักษณะตามที่กล่าวมาดังข้างต้น

การวินิจฉัยตัวแบบจะกระทำการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงสถิติของค่าคลาดเคลื่อนสุ่ม(a_t) และจะทำการทดสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนสุ่มนั้นมีอัตสหสัมพันธ์กันหรือไม่ จะเป็นการตรวจสอบที่สำคัญมากที่สุดในการวินิจฉัยความเหมาะสมในเชิงสถิติของตัวแบบ ARIMA ฉะนั้นการตรวจสอบจะคำนวณหาค่า SACF และ SPACF ของค่าเศษตกค้าง $c_t = y_t - \hat{y}_t$ ซึ่งเป็นค่าประมาณของ a_t ที่แล็ก k ต่าง ๆ และทดสอบด้วยค่าของตัวสถิติ t สำหรับทดสอบว่าค่าคลาดเคลื่อนสุ่มมีอัตสหสัมพันธ์กันหรือไม่ที่แต่ละแล็ก k = 1, 2, 3, . . . k และทดสอบอัตสหสัมพันธ์รวมหรือพร้อมกัน k แล็ก ด้วยตัวสถิติไคกำลังสอง (Chi – squared test) ว่าค่าคลาดเคลื่อนไม่มีอัตสหสัมพันธ์ k แล็กแรก นอกจากการวินิจฉัยตัวแบบด้วยการทดสอบเชิงสถิติแล้ว นักพยากรณ์อาจดำเนินการตรวจสอบด้วยวิธีอื่น ๆ ด้วย เช่น การเขียนกราฟของเศษตกค้างกับแกนเวลา ถ้าพบว่าค่าของเศษตกค้างกระจายเป็นแนวในลักษณะขนานรอบค่าเฉลี่ยศูนย์แสดงเหตุผลได้ว่า ค่าผิดพลาดมีค่าเฉลี่ยศูนย์ และมีความแปรปรวนคงที่ แต่ถ้าการกระจายของค่าเศษตกค้างมีรูปแบบต่างไปจากแนวขนาน ควรพิจารณาปรับปรุงแก้ไขตัวแบบ ซึ่งอาจจะพบว่าความแปรปรวนยังไม่คงที่ต้องปรับให้คงที่ด้วยวิธีการแปลงข้อมูล ซึ่งผลจากการวินิจฉัยตัวแบบนอกจากจะช่วยตรวจสอบว่าตัวแบบที่พิจารณาเหมาะสมในเชิงสถิติหรือไม่แล้ว ยังมีแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขตัวแบบถ้าพบว่าตัวแบบที่ได้ยังไม่เหมาะสม กล่าวคือจากลักษณะของ SACF และ SPACF ของเศษตกค้างอาจพบว่าควรเพิ่มองค์ประกอบ MA เข้าไปในตัวแบบให้มากขึ้น ถ้ายังไม่มีองค์ประกอบMA หรืออันดับของ MA ในตัวแบบ หรืออาจพบว่าควรเพิ่มองค์ประกอบ AR หรืออันดับของ AR ในตัวแบบเป็นต้น

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมประชากรส่วนใหญ่มีอาชีพทำการเกษตร เช่น ทำนา ทำสวน ทำไร่ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยน้ำเป็นหลัก แต่เดิมนั้นเกษตรกรต้องพึ่งพาน้ำฝน ปีใดมีฝนตกเฉลี่ยดีตลอดฤดูกาลก็จะทำให้การเพาะปลูกปีนั้นได้ผลดี แต่ถ้าปีใดมีฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตกในเวลาที่พืชต้องการน้ำ ก็จะทำให้การเพาะปลูกในปีนั้นได้รับความเสียหาย หรือได้รับผลผลิตไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งมักจะพบอยู่ทั่วไปของทุกภาคของประเทศ ดังนั้นการให้น้ำแก่พืชเพื่อช่วยให้พืชได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการ หรือที่เรียกว่าการชลประทาน จึงเป็นกิจการที่มีความสำคัญและ

จำเป็นสำหรับประเทศเกษตรกรรมอย่างประเทศไทยมาก ซึ่งมีรายละเอียดใน กรมชลประทาน, ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ สำนักงานเลขานุการกรมชลประทาน, **แนะนำงานชลประทานเพื่อประชาชน**, 2539 : 54 ความว่า

การชลประทานเป็นสิ่งที่มนุษย์ได้คิดค้นขึ้นเพื่อนำน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูก มนุษย์เรารู้จักและเห็นความสำคัญของการชลประทาน จึงได้เริ่มมีกิจการชลประทานมานานกว่า 5,000 ปี แล้ว สำหรับประเทศไทย คนไทยในภาคเหนือรู้จักวิธีการทำการชลประทานมานานประมาณ 700 ปีแล้ว และสืบทอดวิธีการทำการชลประทานต่อมาในสมัยสุโขทัย สมัยกรุงศรีอยุธยา จนถึงสมัยกรุงรัตนโกสินทร์ ได้มีการขุดคลองเชื่อมทางน้ำและแม่น้ำต่าง ๆ ในบริเวณทุ่งราบภาคกลางเพิ่มขึ้น ทำให้มีทางน้ำสำหรับนำน้ำเข้าไปยังพื้นที่เพาะปลูกได้มากยิ่งขึ้น ต่อมาประเทศไทยมีพลเมืองเพิ่มมากขึ้นราษฎรจำเป็นต้องขยายพื้นที่เพาะปลูกขึ้นไปบนที่ดอน ซึ่งสูงเกินกว่าระดับน้ำในคลองจะขึ้นถึงได้จึงทำให้รับน้ำไม่ได้ หากปีใดฝนแล้งมีฝนตกไม่มากพอในฤดูการทำนา จะทำให้การปลูกข้าวของราษฎรบางท้องที่ได้รับความเสียหาย ในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว เมื่อปี พ. ศ. 2445 ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าโปรดกระหม่อมว่าจ้าง ผู้เชี่ยวชาญการชลประทานชาวฮอลันดา ชื่อ นายเย โฮมัน วันเดอร์ ไฮเด (Mr. J. Homan vander Heide) ให้มาศึกษาลู่ทางสร้างกิจการชลประทานขนาดใหญ่ในบริเวณทุ่งราบภาคกลาง ในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ได้มีการสร้างโครงการชลประทานขนาดใหญ่ขึ้นเป็นแห่งแรก เมื่อปี พ. ศ. 2458 โดยการสร้างเขื่อนพระราม 6 ปิดกั้นแม่น้ำป่าสัก ที่ตำบลท่าหลวง อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา พร้อมกับก่อสร้างงานระบบส่งน้ำครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 680,000 ไร่

แม้ว่าประเทศไทยจะมีการชลประทานแบบเหมืองฝายมาตั้งแต่อดีตและก่อสร้างเขื่อนพระรามหกแล้วเสร็จ ตั้งแต่ พ.ศ. 2466 จนกระทั่งถึงปัจจุบันนี้ เขื่อนและระบบชลประทานของไทยก็ยังมีน้อย เมื่อเทียบกับพื้นที่เกษตรกรรมอันกว้างขวาง ระบบชลประทานขนาดใหญ่ต้องมีเขื่อนทดน้ำและระบบส่งน้ำ นอกจากนี้ยังต้องมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่อยู่เหนือน้ำเพื่อกักเก็บน้ำไว้แล้วปล่อยมาให้เขื่อนทดน้ำในเวลาที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น เขื่อนเพชร ก็มีเขื่อนแก่งกระจานคอยกักเก็บน้ำไว้ทางด้านเหนือน้ำ เมื่อสร้างเขื่อนเสร็จแล้ว สิบกว่าปีจึงได้ติดตั้งเครื่องผลิตไฟฟ้าในภายหลัง เพื่อใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น เขื่อนนเรศวรก็มีเขื่อนสิริกิติ์เก็บกักน้ำไว้ ส่วนเขื่อนศรีนครินทร์ก็มีเขื่อนเขาแหลมคอยส่งน้ำให้

สำหรับเขื่อนอเนกประสงค์แห่งแรกของประเทศไทยนั้นได้ศึกษามาตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง แต่เมื่อหลังสงครามโลกเศรษฐกิจของไทยอยู่ในภาวะที่น่าวิตกอย่างยิ่ง เมื่อปี พ.ศ.

2491 ประเทศไทยได้เคยจัดทำรายงานโครงการแก่งเรียง (แม่น้ำแควใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี) เพื่อขอกู้เงินจากธนาคารโลกนำมาก่อสร้างเขื่อนอเนกประสงค์ แต่ไม่ได้รับอนุมัติ เพราะข้อมูลไม่เพียงพอ ต่อมาใน ปี พ.ศ. 2494 รัฐบาลโดยกรมชลประทานได้สำรวจแควทั้งสี่ คือ ปิง วัง ยม น่าน อย่างจริงจัง และในที่สุดจากการพิจารณาข้อมูลเกี่ยวกับน้ำของแม่น้ำปิง ตั้งแต่ ปี พ. ศ. 2477 จึงได้เกิด "โครงการยันฮี" ขึ้นที่แม่น้ำปิง อำเภอสามเงา จังหวัดตาก จากการดำเนินงานอย่างรีบเร่งและจริงจัง ในที่สุดประเทศไทยก็ได้เริ่มก่อสร้าง "เขื่อนภูมิพล" เป็นเขื่อนอเนกประสงค์แห่งแรกในประเทศไทย เมื่อ ปี พ. ศ. 2501 จนกระทั่งแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2507 สามารถอำนวยประโยชน์นานัปการมาจนกระทั่งถึงบัดนี้ และต่อไปในอนาคตอีกยาวนาน

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวภูมิพลอดุลยเดชได้พระราชทานพระปรมาภิไธยให้เป็นชื่อ "เขื่อนภูมิพล" เมื่อวันที่ 25 กรกฎาคม พ. ศ. 2500 ก่อนงานก่อสร้างเขื่อนจะเริ่มต้น และได้เสด็จพระราชดำเนินเยี่ยมชมการเตรียมงานก่อสร้างระหว่างเสด็จประพาสภาคเหนือ ในปี พ. ศ. 2501 นอกจากนั้น พระองค์ท่านได้เสด็จพระราชดำเนินวางศิลาฤกษ์ เมื่อวันที่ 24 มิถุนายน 2504 และเสด็จพระราชดำเนินเปิดเขื่อน เมื่อวันที่ 17 พฤษภาคม 2507 จากนั้นเขื่อนภูมิพลก็ได้เป็นสถานที่สำคัญสำหรับต้อนรับพระราชอาคันตุกะ

ต่อมาเขื่อนอเนกประสงค์ของไทยก็เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นเขื่อนประเภท "หินถม" และ "ดินถม" ยกเว้นเขื่อนภูมิพลแห่งเดียวเท่านั้นที่ก่อสร้างเป็นแบบ "คอนกรีตโค้ง"ในประเทศไทยนั้นเขื่อนที่สูงที่สุดได้แก่ เขื่อนภูมิพล มีความสูง 154 เมตร สำหรับเขื่อนที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดความจุมากที่สุด 17,775 ล้านลูกบาศก์เมตร และมีโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่ให้กำลังผลิตสูงสุด 720,000 กิโลวัตต์ คือเขื่อนศรีนครินทร์

2.2.1 ชนิดของเขื่อนเก็บกักน้ำ

เขื่อนเก็บกักน้ำสร้างปิดกั้นลำน้ำธรรมชาติระหว่างหุบเขาหรือเนินสูง เพื่อเก็บกักน้ำที่ไหลมามากไว้ทางด้านเหนือเขื่อน ทำให้เกิดเป็นอ่างเก็บน้ำขนาดต่าง ๆ น้ำที่เก็บไว้นี้สามารถนำออกมาทางอาคารที่ตัวเขื่อนได้ทุกเวลาที่ต้องการ โดยอาจจะระบายลงไปตามลำน้ำให้กับเขื่อนทดน้ำที่สร้างอยู่ทางด้านล่าง หรืออาจส่งเข้าคลองส่งน้ำสำหรับโครงการชลประทานที่มีคลองส่งน้ำรับน้ำจากเขื่อนเก็บกักน้ำแล้วแจกจ่ายให้กับพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง เขื่อนเก็บกักน้ำจะต้องสร้างที่ด้านเหนือน้ำของโครงการชลประทานเสมอ ทำเลที่เหมาะสำหรับการสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำจะเป็นบริเวณที่มีเนินสูง หรือเขาสองข้างลำน้ำเข้ามาใกล้กันมากที่สุด ขนาดความสูงของเขื่อนจะกำหนดตามปริมาณน้ำที่ต้องการจะเก็บกักไว้ ซึ่งจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำเฉลี่ยทั้งปีที่

ไหลลงมาตามลำน้ำ และจำนวนน้ำในแต่ละปีที่ต้องการใช้ในพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดภายในเขตชลประทานนั้น

เขื่อนเก็บกักน้ำที่สร้างกันโดยทั่วไปมีหลายประเภท หลายขนาดแตกต่างกัน เขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่บางแห่งให้ประโยชน์ได้หลายด้าน เช่น การผลิตไฟฟ้า การชลประทาน การคมนาคม การบรรเทาอุทกภัย และการเพาะเลี้ยงปลาในอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น ซึ่งเรียกว่า "เขื่อนอเนกประสงค์" เขื่อนกักเก็บน้ำที่สร้างขึ้นทุกแห่งจะกำหนดหรือเลือกก่อสร้างด้วยวัสดุอะไรบ้างจะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพฐานรากและสภาพภูมิประเทศที่เขื่อนนั้นตั้งอยู่ ตลอดจนชนิดและจำนวนของวัสดุที่มีให้ใช้ก่อสร้างได้ โดยเขื่อนจะต้องมีความแข็งแรง และมีราคาถูกที่สุดโดยทั่ว ๆ ไปมักจะแบ่งชนิดของเขื่อนตามวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ประกอบกับหลักเกณฑ์การออกแบบซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ (กรมชลประทาน, ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ สำนักงานเลขานุการกรมชลประทาน, **เขื่อนเอนกประสงค์ของไทย**, 2525 : 17 -27)

ก. เขื่อนคอนกรีต มีอยู่ 3 แบบ คือ

1. แบบฐานแผ่ (gravity) โดยอาศัยน้ำหนักคอนกรีตของตัวเขื่อนรับแรงต่าง ๆ เขื่อนเก็บกักน้ำที่สร้างด้วยคอนกรีตแบบต้านแรงดันของน้ำด้วยน้ำหนัก เป็นเขื่อนที่สร้างขึ้นเป็นแนวตรงขวางลำน้ำระหว่างหุบเขา มีรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม ที่มีฐานของเขื่อนกว้างไปตามลำน้ำ เขื่อนประเภทนี้จะต้องอาศัยน้ำหนักของตัวเขื่อนที่กดลงบนฐานรากในแนวดิ่งสำหรับต้านแรงดันที่เกิดจากน้ำซึ่งเก็บกักทางด้านเหนือเขื่อน เพื่อไม่ให้เขื่อนล้มหรือเลื่อนถอยไป เขื่อนที่ก่อสร้างแบบนี้ได้แก่ เขื่อนกิ่วลม จังหวัดลำปาง เป็นต้น

2. แบบโค้ง (arch) โดยอาศัยความโค้งรับแรงที่กระทำต่อเขื่อน ซึ่งถ่ายแรงไปยังฐานของเขื่อนแล้วลงบนฐานราก ตัวเขื่อนบางใช้คอนกรีตไม่มาก เขื่อนเก็บกักน้ำรูปโค้งที่สร้างด้วยคอนกรีต เป็นเขื่อนที่มีรูปโค้งเป็นส่วนของวงกลมสร้างขวางลำน้ำระหว่างหุบเขา โดยที่ปลายเขื่อนทั้งสองจะฝังแน่นไว้กับบริเวณลาดเขาทั้งสองข้าง เขื่อนที่โค้งเป็นส่วนของวงกลมนี้จะสามารถรับแรงดันของน้ำที่กระทำกับตัวเขื่อนได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะคอนกรีตทุกส่วนของตัวเขื่อนสามารถรับแรงกดได้เต็มที่ตามแนวโค้งแล้วถ่ายแรงดันส่วนใหญ่ที่เกิดจากน้ำไปให้ลาดเขาที่ปลายเขื่อนสองข้างนั้นรับไว้อีกต่อหนึ่ง เขื่อนประเภทนี้จึงไม่ต้องอาศัยน้ำหนักของเขื่อนเป็นหลักทำให้เขื่อนมีลักษณะบาง และสามารถประหยัดค่าก่อสร้างสำหรับเขื่อนที่มีความสูงมาก เขื่อนประเภทนี้ได้แก่ เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก เป็นเขื่อนคอนกรีตโค้งแห่งเดียวในประเทศไทย

3. แบบกลวงหรือครีบ (hollow or buttress) ด้านหน้าเขื่อนเป็นแผ่นคอนกรีต มีโครงสร้างคอนกรีตค้ำยันทางด้านหลัง ซึ่งเขื่อนแบบนี้ไม่มีในประเทศไทย

ข. เขื่อนถม เมื่อความรู้เกี่ยวกับดินและหินได้ก้าวหน้าไปมากจนสามารถหาแหล่งใกล้ ๆ กับที่จะสร้างเขื่อน ประกอบกับมีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ทันสมัย ดังนั้นจึงมีเขื่อนประเภทนี้อยู่มาก เขื่อนถมมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. เขื่อนดินถม หรือ เขื่อนดิน (earthfill) ซึ่งมักจะมีแกนกลางเป็นดินเหนียว ตัวเขื่อนมีดินมากกว่าวัสดุอื่น เป็นเขื่อนที่สร้างขึ้นโดยนำเอาดินมาบดอัดให้แน่นด้วยเครื่องจักรหรือแรงคน เขื่อนดินจะมีลักษณะทึบน้ำ หรือน้ำซึมผ่านเขื่อนได้ยาก และมีความมั่นคงแข็งแรงเช่นเดียวกับเขื่อนคอนกรีต เรานิยมสร้างเขื่อนดินเป็นเขื่อนเก็บกักน้ำ เพราะสามารถสร้างบนฐานรากได้เกือบทุกประเภท ไม่ว่าฐานรากนั้นจะเป็นหิน กรวด ทราย หรือดินที่ไม่เหมาะสำหรับการสร้างเขื่อนคอนกรีต เขื่อนดินส่วนมากจะมีราคาถูก เพราะใช้วัสดุก่อสร้างที่มีอยู่ในบริเวณที่สร้างเขื่อนและบริเวณใกล้เคียงเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงไม่ต้องขนวัสดุก่อสร้างมาจากที่อื่นมากเหมือนกับการสร้างเขื่อนคอนกรีต เขื่อนดินที่น่าสนใจได้แก่ เขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ เขื่อนลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น

2. เขื่อนหินถม หรือ เขื่อนหินทิ้ง (rockfill) ส่วนใหญ่มีแกนเป็นดินเหนียว ตัวเขื่อนประกอบด้วยหินเป็นปริมาณมาก มีรูปร่างเหมือนกับเขื่อนดินถมบดอัดแน่น แต่เขื่อนหินถมจะสร้างด้วยหินระเบิดเป็นก้อนขนาดเล็กใหญ่ นำมาถมทับแน่นเป็นเปลือกนอกหุ้มแกนดินทึบน้ำบดอัดแน่น(ดินเหนียว) ไว้ทั้งสองด้าน เนื่องด้วยวัสดุที่ใช้ประกอบด้วยหินขนาดต่าง ๆ ตลอดจนกรวด ทรายมีปริมาณมากกว่าดินทึบน้ำที่ใช้มาก จึงเรียกเขื่อนลักษณะนี้ว่า "เขื่อนหินถม" หรือ "เขื่อนหินทิ้ง" เขื่อนหินถมสามารถออกแบบให้ลาดด้านเหนือน้ำ และลาดด้านท้ายน้ำมีความชันมากกว่าเขื่อนดิน เหมาะสำหรับเขื่อนที่มีขนาดความสูงมาก และฐานรากเขื่อนไม่เหมาะสำหรับสร้างเป็นเขื่อนคอนกรีต เขื่อนหินถมในประเทศไทยมีหลายแห่งได้แก่ เขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี เป็นต้น สำหรับที่แตกต่างกว่าที่เคยสร้างมาคือเขื่อนเขาแหลม จังหวัดกาญจนบุรี ไม่มีแกนดินเหนียว แต่เป็นหินถมดาดหน้าด้วยคอนกรีต ซึ่งถือว่าเป็นเขื่อนชนิดนี้ด้วยเหมือนกัน

นอกจากนี้ยังมีเขื่อนชนิดอื่น ๆ อีก เช่น เขื่อนไม้ ซึ่งใช้ไม้มาทับถมกัน เขื่อนโครงเหล็กใช้เหล็กเป็นวัสดุก่อสร้าง และเขื่อนผสม ซึ่งเอาเขื่อนชนิดต่าง ๆ มารวมกัน ซึ่งบางกรณีอาจจะแบ่งชนิดของเขื่อนตามลักษณะการใช้งาน ซึ่งได้แก่

I19237108

1. เขื่อนรับน้ำ (intake) สร้างเพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้นและรับน้ำจากลำน้ำเข้าสู่โรงไฟฟ้า เมื่อผ่านการผลิตไฟฟ้าก็ไหลลงสู่ลำน้ำตามเดิม แบบ run - off river ได้แก่ เขื่อนหรือฝายของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กต่าง ๆ เช่น แม่ฮ่องสอน บ้านยาง บ้านขุนกลาง บ้านสันติ1 เป็นต้น แต่ถ้าก่อสร้างเขื่อนปากมูล จังหวัดอุบลราชธานี จะถือเป็นเขื่อนชนิดนี้ด้วยเหมือนกัน

2. เขื่อนเก็บกักน้ำ (storage) เก็บน้ำไว้ในอ่างแล้วควบคุมการปล่อยน้ำให้ไหลเป็นไปตามที่ต้องการ เช่น เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก เขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ เขื่อนศรีนครินทร์ จังหวัดกาญจนบุรี เขื่อนอุบลรัตน์ จังหวัดขอนแก่น เขื่อนเขาแหลม จังหวัดกาญจนบุรี เขื่อนบางลาง จังหวัดยะลา เป็นต้น

3. เขื่อนบังคับน้ำ (regulating) สร้างขึ้นเพื่อควบคุมปริมาณน้ำทางด้านท้ายน้ำ เพื่อยกระดับผันเข้าคลองส่งน้ำสำหรับการชลประทาน เช่น เขื่อนวชิราลงกรณ์ จังหวัดกาญจนบุรี เขื่อนเพชร จังหวัดเพชรบุรี เขื่อนเจ้าพระยา จังหวัดชัยนาท เขื่อนนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก เป็นต้น สำหรับเขื่อนบังคับน้ำแห่งแรกที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ คือ เขื่อนท่าทุ่งนา จังหวัดกาญจนบุรี

4. เขื่อนเก็บกักน้ำเพื่อสูบกลับ (pumped storage) สร้างขึ้นเพื่อทำอ่างเก็บน้ำ เมื่อปล่อยน้ำออกแล้วก็สูบกลับ เขื่อนประเภทนี้อาจจะไม่ต้องสร้างขวางทางน้ำ หน้าที่สำคัญก็คือ คอยเก็บน้ำไว้ปล่อยเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการสูง และเมื่อมีความต้องการไฟฟ้าน้อยก็ใช้ไฟฟ้าสูบกลับมาไว้

นอกเหนือจากนี้ที่พบบ่อย ๆ ได้มีการกล่าวถึงเขื่อนตามหน้าที่หลัก เช่น เขื่อนทดน้ำ เขื่อนชลประทาน และเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น

2.2.2 ประโยชน์ของเขื่อน

โดยเหตุที่น้ำเป็นปัจจัยที่จำเป็นอย่างยิ่งต่อการเพาะปลูก ในฤดูฝนเราจะพบพืชน้อยใหญ่เจริญงอกงามดี เพราะพืชได้รับน้ำจากฝนซึ่งมีปริมาณมากเพียงพอตามความต้องการ เมื่อฝนไม่ตกหรือในฤดูแล้งพืชขาดน้ำจะเหี่ยวเฉาและไม่เจริญงอกงามตามที่ควร เราจึงจำเป็นต้องจัดหาและรวบรวมน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติเก็บไว้เพื่อเป็นแหล่งน้ำต้นทุน เพื่อส่งให้พื้นที่เพาะปลูกให้สามารถมีน้ำใช้ได้ตลอดไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง

ประโยชน์ของเขื่อนที่จะได้รับก็คือ ประโยชน์จากน้ำที่เก็บกักไว้เป็นจำนวนมากมักจะไม่เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในฤดูการเพาะปลูกในเขตพื้นที่ที่กำหนด เพราะเขื่อนจะเก็บน้ำในฤดู

ฝนที่มีมากเกินความต้องการไว้ปล่อยออกมาใช้ในฤดูแล้ง ในยามที่ต้องการใช้น้ำทำให้การเพาะปลูกพืชในหน้าแล้งได้ผลดียิ่งขึ้น โดยคณะกรรมการเขื่อนใหญ่ของโลก (ICOLD) ได้แบ่งวัตถุประสงค์หลักของเขื่อนไว้ 6 ข้อ คือ (กรมชลประทาน, ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ สำนักงานเลขานุการกรมชลประทาน, **เขื่อนเอนกประสงค์ของไทย**, 2525 : 17 -27)

1. ชลประทาน (Irrigation)
2. ไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydroelectric)
3. บรรเทาอุทกภัย (Flood Control)
4. คมนาคมทางน้ำ (Navigation)
5. อุปโภคบริโภค (Water Supply)
6. พักผ่อนหย่อนใจ (Recreation)

นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ด้านอื่น ๆ อีก เช่น การประมง เจือจางน้ำเสีย และผลักดันน้ำเค็ม เป็นต้น

เขื่อนอเนกประสงค์แต่ละแห่งจะให้ประโยชน์มากน้อยเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ ซึ่งมีมากน้อยตามลักษณะภูมิประเทศและความสูงของเขื่อน สำหรับลักษณะภูมิประเทศนั้นไม่สามารถจะเปลี่ยนแปลงได้ แต่ทว่าความสูงของเขื่อนนั้นจะต้องพิจารณาและวิเคราะห์อย่างละเอียดถี่ถ้วน เพราะว่าถ้าต่ำเกินไปก็จะทำให้น้ำล้นอ่างเก็บน้ำแทบทุกปี และถ้าสูงเกินไปจะทำให้เสียค่าก่อสร้างมากขึ้น อีกทั้งยังต้องเสียพื้นที่ที่จะเป็นอ่างเก็บน้ำเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นก่อนที่จะกำหนดได้ว่าเขื่อนควรจะสูงเท่าใด และควรเก็บกักน้ำที่ระดับใด จึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ โดยเฉพาะปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในแต่ละปี และสภาพธรณีวิทยา

2.2.3 เขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ของกรมชลประทาน

การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่จะอยู่ในรูปของเขื่อนเก็บกักน้ำ จะสามารถเก็บกักน้ำได้มากกว่า 100 ล้านลูกบาศก์เมตร หรือมีพื้นที่อ่างเก็บน้ำตั้งแต่ 15 ตารางกิโลเมตร หรือมีพื้นที่ชลประทานมากกว่า 80,000 ไร่ โดยจำแนกอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ตามรายภาคต่าง ๆ ดังนี้ (กรมชลประทาน, ฝ่ายประชาสัมพันธ์และเผยแพร่ สำนักงานเลขานุการกรมชลประทาน, **แนะนำงานชลประทานเพื่อประชาชน**, 2539 : 54)

ภาคเหนือ จะมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ดังนี้

1. เขื่อนภูมิพล

สร้างปิดกั้นลำน้ำปิง ที่ตำบลเขาแก้ว อำเภอสามเงา จังหวัดตาก เป็นเขื่อนคอนกรีตรูปโค้งขนาดใหญ่ที่สุดแห่งแรกในประเทศไทย สูง 154 เมตร สันเขื่อนยาว 486 เมตร เก็บน้ำได้ 13,462 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2501 เสร็จเมื่อ พ. ศ. 2507 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 553,000 กิโลวัตต์ น้ำที่ปล่อยลงมาหลังจากผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วจะไหลลงมาตามลำน้ำปิงและแม่น้ำเจ้าพระยา ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในเขตโครงการเจ้าพระยาใหญ่ร่วมกับเขื่อนสิริกิตต์ ได้พื้นที่ประมาณ 7,500,000 ไร่ ในฤดูฝน และประมาณ 3,000,000 ไร่ ในฤดูแล้ง นอกจากนี้ยังช่วยบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำปิงให้ลดน้อยลง และร่วมกับเขื่อนสิริกิติ์บรรเทาอุทกภัยในทุ่งเจ้าพระยา ตลอดจนใช้ในการคมนาคมทางน้ำ และป้องกันไม่ให้น้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีนตอนล่างเค็มถึงขีดอันตราย

2. เขื่อนสิริกิติ์

สร้างปิดกั้นแม่น้ำน่าน ที่อำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ เป็นเขื่อนดินแห่งแรกของประเทศไทย สูง 113.6 เมตร สันเขื่อนยาว 810 เมตร เก็บน้ำได้ 9,510 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2506 เสร็จเมื่อ พ. ศ. 2515 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 375,000 กิโลวัตต์ ส่วนน้ำที่ผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วจะไหลลงสู่ลำน้ำน่าน ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในเขตโครงการพิษณุโลก ได้พื้นที่ประมาณ 600,000 ไร่ และในเขตโครงการเจ้าพระยาใหญ่ร่วมกับเขื่อนภูมิพล ได้พื้นที่ประมาณ 7,500,000 ไร่ ในฤดูฝน และประมาณ 3,000,000 ไร่ ในฤดูแล้ง ประมาณ 3,000,000 ไร่ ในฤดูแล้ง นอกจากนี้ยังช่วยบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำน่านและร่วมกับเขื่อนภูมิพลบรรเทาอุทกภัยในทุ่งเจ้าพระยาให้ลดน้อยลง และใช้ในการคมนาคมทางน้ำทางน้ำได้อีกด้วย

3. เขื่อนแม่งัดสมบูรณ์ชล

สร้างปิดกั้นลำน้ำแม่งัด ที่อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ เป็นเขื่อนดินแกนดินเหนียว มีหินทิ้งเป็นส่วนป้องกันภายนอก สูง 59 เมตร สันเขื่อนยาว 1,950 เมตร เก็บน้ำได้ 265 ล้านลูกบาศก์เมตร สามารถส่งน้ำเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการ ได้พื้นที่ประมาณ 30,000 ไร่ และยังช่วยสนับสนุนพื้นที่เพาะปลูกของฝ่ายสินธุกิจปรีชา (แม่แฝก) จังหวัดเชียงใหม่ โครงการแม่ปิงเก่า จังหวัดลำพูน และพื้นที่เพาะปลูกโดยฝ่ายของราษฎรอีกด้วย รวมพื้นที่ทั้งสิ้น188,000 ไร่ เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2520 เสร็จเมื่อ พ. ศ. 2528 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 9,000 กิโลวัตต์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา และเป็นท่องเที่ยวอีกด้วย

4. เขื่อนกิ่วลม

สร้างปิดกั้นแม่น้ำวัง ที่ตำบลบ้านแลง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง เป็นเขื่อนคอนกรีตสูง 26.50 เมตรจากท้องน้ำ สันเขื่อนยาว 135 เมตร เก็บน้ำได้ 112 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2507 ตัวเขื่อนเสร็จเมื่อ พ. ศ. 2515 งานระบบส่งน้ำเสร็จเมื่อ พ. ศ. 2524 ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาแม่วังกิ่วลม ในฤดูฝนได้พื้นที่ประมาณ 110,000 ไร่ และในฤดูแล้งได้พื้นที่ประมาณ 55,000 ไร่ นอกจากนี้ยังใช้เพื่อการประปาและสามารถบรรเทาอุทกภัยในเขตตัวจังหวัดลำปางได้อีกด้วย

5. เขื่อนแม่กวงอุดมธารา

สร้างปิดกั้นลำน้ำแม่กวง ที่อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เป็นเขื่อนดินสูง73 เมตร สันเขื่อนยาว 610 เมตร เก็บน้ำได้ 263 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2519 เสร็จ พ. ศ. 2536 ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในฤดูฝนประมาณ 175,000 ไร่ และในฤดูแล้งประมาณ 87,500 ไร่ รวมทั้งช่วยบรรเทาอุทกภัยในลุ่มแม่น้ำกวงและลุ่มน้ำปิง

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ดังนี้

1. เขื่อนอุบลรัตน์

สร้างปิดกั้นลำแม่น้ำพอง ที่อำเภอพล จังหวัดขอนแก่น เป็นเขื่อนหินทิ้งมีแกนกลางเป็นดินเหนียว สูง 35.1 เมตร สันเขื่อนยาว 800 เมตร เก็บน้ำได้ 2,263 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2507 เสร็จเมื่อ พ. ศ. 2509 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 25,200 กิโลวัตต์ ส่วนน้ำที่ปล่อยลงมาหลังจากผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วจะไหลลงมาตามลำน้ำพอง ใช้ประโยชน์ในการผันน้ำเพื่อการชลประทานให้แก่พื้นที่ 300,000 ไร่ ซึ่งจะสามารถทำการเพาะปลูกได้ถึงปีละ 2 ครั้ง และปลูกพืชในฤดูแล้งได้ นอกจากนี้ยังช่วยบรรเทาอุทกภัย ใช้ในการคมนาคมทางน้ำ ใช้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา ตลอดจนเป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ

2. เขื่อนสิรินธร

สร้างปิดกั้นลำแม่น้ำโดมน้อย ที่อำเภอพิบูลมังสาหาร จังหวัดอุบลราชธานี เป็นเขื่อนหินทิ้งแบบแกนดินเหนียว สูง 42 เมตร เก็บน้ำได้ 1,966 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2511 เสร็จเมื่อ พ. ศ. 2514 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 36,000 กิโลวัตต์ ใช้ประโยชน์

ในการชลประทานให้แก่พื้นที่ 150,000 ไร่ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยลดอุทกภัยในเขตอุบลราชธานี การอุตสาหกรรม การประมง และใช้ในการคมนาคมทางน้ำ

3. เขื่อนจุฬาภรณ์

สร้างปิดกั้นลำน้ำพรมบนเทือกเขาขุนพรม ซึ่งเป็นเทือกเขาติดต่อระหว่างจังหวัดชัยภูมิกับจังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นเขื่อนหินทิ้งมีแกนกลางเป็นดินเหนียว สูง 70 เมตร กว้าง 8 เมตร สันเขื่อนยาว 700 เมตร พื้นที่เหนือเขื่อนเป็นอ่างเก็บน้ำมีความยาวตามลำน้ำขึ้นไปเป็นระยะทางยาว 13 กิโลเมตร ส่วนกว้างที่สุดประมาณ 2 กิโลเมตร เก็บน้ำได้ 188 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2513 เสร็จเมื่อ พ. ศ. 2515 สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ยปีละ 140 ล้านกิโลวัตต์ ใช้ประโยชน์ในการชลประทาน นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันอุทกภัยในทุ่งเกษตรสมบูรณ์ซึ่งอยู่ทางท้ายเขื่อนไปตามลำน้ำประมาณ 60 กิโลเมตร อีกทั้งยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลาตามโครงการของกรมประมงอีกแห่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สถานที่พักผ่อนหย่อนใจ และใช้ในการทำการทดลองปลูกพืชเมืองหนาว โดยได้จัดตั้งสถานีทดลองด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์ผักและพืชบางชนิดที่ต้องการอากาศหนาว โดยจะเน้นหนักไปทางด้านผลิตเมล็ดพันธุ์ผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ

4. เขื่อนลำปาว

สร้างปิดกั้นลำปาวและห้วยยาง ที่เขตติดต่อระหว่างอำเภอสหัสขันธ์ อำเภอเมือง และอำเภอยางตลาด จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นเขื่อนดินที่ยาวที่สุดในประเทศไทย สูง33 เมตร สันเขื่อนยาว 7,800 เมตร เก็บน้ำได้ 1,430 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2506 ตัวเขื่อนเสร็จ พ. ศ. 2511 งานระบบส่งน้ำเสร็จ พ. ศ. 2528 ใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะปลูกในฤดูฝน 314,300 ไร่ ฤดูแล้ง 200,000 ไร่ และบรรเทาอุทกภัยในที่ราบลุ่มสองฝั่งลำปาวกับบางส่วนของลุ่มน้ำชีให้ลดน้อยลง

5. เขื่อนลำตะคอง

สร้างปิดกั้นลำตะคอง ที่อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา เป็นเขื่อนดินสูง 40.30 เมตร สันเขื่อนยาว 521 เมตร เก็บน้ำได้ 324 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2507 เสร็จ พ. ศ. 2512 ใช้ประโยชน์สำหรับการเพาะปลูกในฤดูฝน 127,540 ไร่ และในฤดูแล้งอีก 50,000 ไร่ รวมทั้งใช้เพื่อการประปาในเขตอำเภอสีคิ้ว อำเภอสูงเนิน อำเภอขามทะเลสอ และเขตเทศบาลนครราชสีมา เพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำลำตะคอง ซึ่งเป็นที่เพาะปลูกและที่อยู่

อาศัย กับที่ราบบางส่วนของลุ่มน้ำมูลให้ลดน้อยลง นอกจากนี้ยังใช้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลาตลอดจนใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ

6. เขื่อนลำพระเพลิง

สร้างปิดกั้นลำพระเพลิง ที่อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา เป็นเขื่อนดินสูง 50 เมตร สันเขื่อนกว้าง 575 เมตร เก็บน้ำได้ 110 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2506 เสร็จ พ. ศ. 2513 ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในฤดูฝน 84,960 ไร่ และฤดูแล้งอีก 20,000 ไร่ และเพื่อการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำลำพระเพลิงกับบางส่วนของลุ่มน้ำมูลให้ลดน้อยลง นอกจากนี้ยังใช้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลาตลอดจนใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ

7. เขื่อนน้ำอูน

สร้างปิดกั้นลำน้ำอูน ที่อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร เป็นเขื่อนดินสูง 29.50 เมตร สันเขื่อนยาว 3,300 เมตร เก็บน้ำได้ 520 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2510 ตัวเขื่อนเสร็จ พ. ศ. 2517 งานระบบส่งน้ำเสร็จ พ. ศ. 2524 ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในฤดูฝน 185,800 ไร่ และในฤดูแล้ง 63,000 ไร่ และช่วยบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำอูนและห้วยปลาหาง กับตอนล่างของลุ่มน้ำสงครามให้ลดน้อยลง

8. เขื่อนห้วยหลวง

สร้างปิดกั้นลำห้วยหลวง ห้วยกุดโปง ห้วยหิน และห้วยกระติบ ระหว่างบ้านโคกสะอาด อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี และบ้านดงน้อย อำเภอกุดจับ จังหวัดอุดรธานี เป็นเขื่อนดินสูง 12.50 เมตร สันเขื่อนยาว 4.9 กิโลเมตร เก็บน้ำได้ 113,250 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2513 ตัวเขื่อนเสร็จ พ. ศ. 2522 งานระบบส่งน้ำเสร็จ พ. ศ. 2527 ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในฤดูฝน 94,830 ไร่ และในฤดูแล้ง 12,000 ไร่สำหรับข้าวนาปรัง หรือ 30,000 ไร่สำหรับพืชไร่ พืชผักต่าง ๆ และส่งน้ำดิบให้แก่การประปาจังหวัดอุดรธานี การประปาอำเภอหนองวัวซอ การประปาอำเภอ กุดจับ จังหวัดอุดรธานี

9. เขื่อนลำนางรอง

เป็นโครงการพระราชดำริ สร้างปิดกั้นลำนางรอง ที่บ้านโนนดินแดง ตำบลโนนดินแดง อำเภอโนนดินแดง จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นเขื่อนดินสูง 23 เมตร สันเขื่อนยาว 1,500 เมตร เก็บน้ำได้ 121 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2523 เสร็จ พ. ศ. 2525 ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในฤดู

ฝน 68,410 ไร่ และฤดูแล้งอีก 5,000 ไร่ เพื่อบรรเทาอุทกภัย เพื่อการอุปโภค – บริโภค และการประปา ในเขตอำเภอโนนดินแดง อำเภอละหานทราย อำเภอปะคำ และโรงงานอุตสาหกรรม

ภาคตะวันตก จะมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ดังนี้

1. เขื่อนศรีนครินทร์

สร้างปิดกั้นแม่น้ำแควใหญ่ ที่บริเวณบ้านเจ้าเณร ตำบลท่ากระดาน อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี เป็นเขื่อนประเภทหินทิ้งแกนดินเหนียวที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย สูง 140 เมตร สันเขื่อนยาว 610 เมตร เก็บน้ำได้ 17,745 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2516 เสร็จเมื่อ พ. ศ. 2523 ใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกในเขตโครงการแม่กลองใหญ่ โดยมีเขื่อนวชิราลงกรณ์เป็นหัวงานทดน้ำเข้าสู่พื้นที่การเกษตรได้ตลอดปี เป็นพื้นที่ 4.118 ล้านไร่ นอกจากนี้ยังช่วยบรรเทาอุทกภัย ตลอดจนใช้ในการคมนาคมทางน้ำ ผลักดันน้ำเค็ม เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลาน้ำจืดที่อุดมสมบูรณ์ และเป็นแหล่งท่องเที่ยวพักผ่อนหย่อนใจที่สวยงามอีกด้วย

2. เขื่อนเขาแหลม

สร้างปิดกั้นแม่น้ำแม่กลอง ที่อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี เป็นเขื่อนประเภทหินทิ้งดาดหน้าด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก สูง 92 เมตร เก็บน้ำได้ 8,860 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2522 เสร็จเมื่อ พ. ศ. 2528 ใช้ประโยชน์ในการชลประทาน นอกจากนี้ยังช่วยบรรเทาอุทกภัยร่วมกับเขื่อนศรีนครินทร์ในลุ่มน้ำแม่กลอง ตลอดจนช่วยต้านน้ำเค็มและน้ำเสียในฤดูแล้ง เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลาน้ำจืด ใช้ในการคมนาคมทางน้ำ และเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญอีกด้วย

3. เขื่อนแก่งกระจาน

สร้างปิดกั้นแม่น้ำเพชรบุรี ที่เขาเจ้า อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี เป็นเขื่อนดินสูง 58 เมตร สันเขื่อนยาว 760 เมตร เก็บน้ำได้ 710 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2504 เสร็จ พ. ศ. 2509 สามารถขยายเนื้อที่ชลประทานของโครงการเพชรบุรีซึ่งมีอยู่เดิม 214,000 ไร่ ให้เพิ่มขึ้นอีก 122,000 ไร่ รวมเป็น 336,000 ไร่ เพื่อการเพาะปลูกในฤดูแล้ง 174,000 ไร่ ช่วยแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ตั้งแต่ปากอ่าวเพชรบุรีจนถึงหัวหินให้หมดไป รวมทั้งช่วยบรรเทาอุทกภัยในทุ่งเพชรบุรี และผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 19,000 กิโลวัตต์

4. เขื่อนปราณบุรี

สร้างปิดกั้นแม่น้ำปราณบุรี ระหว่างเขาตกน้ำกับเขาเตย ที่อำเภอปราณบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นเขื่อนดินสูง 42 เมตร สันเขื่อนยาว 1,500 เมตร เก็บน้ำได้ 445 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2510 ตัวเขื่อนเสร็จ พ. ศ. 2521 งานระบบส่งน้ำเสร็จ พ. ศ. 2525 ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในเขตท้องที่อำเภอปราณบุรี อำเภอกุยบุรี และอำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ในฤดูฝนได้ประมาณ 220,000 ไร่ และในฤดูแล้งได้ประมาณ 140,000 ไร่ และช่วยบรรเทาอุทกภัยจากแม่น้ำปราณบุรี บริเวณพื้นที่ในเขตโครงการชลประทาน

5. เขื่อนกระเสียว

สร้างปิดกั้นลำห้วยกระเสียว ระหว่างเขาโล้นกับเขาวงเดือนห้า ที่อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นเขื่อนสร้างด้วยดินลูกรังปนดินเหนียวแห่งแรกของประเทศไทย สูง 32.50 เมตร สันเขื่อนยาว 4,250 เมตร เก็บน้ำได้ 240 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2509 ตัวเขื่อนเสร็จ พ. ศ. 2523 งานระบบส่งน้ำเสร็จ พ. ศ. 2524 ใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกในฤดูฝนได้ 130,000 ไร่ และในฤดูแล้งได้ 65,000 ไร่ ช่วยบรรเทาอุทกภัยให้แก่พื้นที่เพาะปลูกในและนอกเขตโครงการชลประทานประมาณ 350,000 ไร่

6. เขื่อนทับเสลา

สร้างปิดกั้นลำห้วยทับเสลา ที่อำเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี เป็นเขื่อนดินสูง 26.80 เมตร สันเขื่อนยาว 3,375 เมตร เก็บน้ำได้ 160 ล้านลูกบาศก์เมตร เริ่มก่อสร้างเมื่อ พ. ศ. 2528 เสร็จ พ. ศ. 2531 สามารถช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกในฤดูฝนได้ 143,500 ไร่ และในฤดูแล้งได้ 26,250 ไร่ ช่วยบรรเทาอุทกภัยที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำห้วยทับเสลา และจังหวัดอุทัยธานี ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1,000 กิโลวัตต์

ภาคตะวันออก จะมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ดังนี้

1. เขื่อนบางพระ

สร้างปิดกั้นห้วยใหญ่ ห้วยสุครีพ และห้วยบางพระที่บ้านบางพระ ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เป็นเขื่อนดินสูง 14 เมตร สันเขื่อนยาว 1,400 เมตร เก็บน้ำได้ 22 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2496 เสร็จ พ. ศ. 2502 ต่อมาได้ขยายให้เก็บน้ำมากขึ้นเมื่อ พ. ศ. 2514 เสร็จ พ. ศ. 2518 โดยสร้างตัวเขื่อนให้สูง 24 เมตร สันเขื่อนยาว 1,720 เมตร

เก็บน้ำได้ 110 ล้านลูกบาศก์เมตร ใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภคบริโภค การอุตสาหกรรม และการประปา ที่อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี และใช้ในงานนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง อีกทั้งยังใช้ประโยชน์เพื่อการปลูกได้ 8,500 ไร่

2. เขื่อนหนองปลาไหล

สร้างปิดกั้นคลองโปร่งน้ำปิด และคลองระเวิง ที่อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง เป็นเขื่อนดินสูง 24 เมตร สันเขื่อนยาว 4,060 เมตร เก็บน้ำได้ 164.7 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้าง พ. ศ. 2532 เสร็จ พ. ศ. 2536 ใช้ประโยชน์สำหรับช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกในเขตอำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง ประมาณ 30,000 ไร่ และเพื่อบรรเทาอุทกภัยในเขตลุ่มน้ำระยอง

ภาคใต้ จะมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ดังนี้

1. เขื่อนรัชชประภา

สร้างปิดกั้นลำน้ำคลองแสงที่บ้านเชี่ยวหลาน ตำบลเขาพัง อำเภอบ้านตาขุน จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นเขื่อนหินถมแกนดินเหนียว สูง 95 เมตร สันเขื่อนยาว 761 เมตร เก็บน้ำได้ 5,640 ล้านลูกบาศก์เมตร ก่อสร้างเสร็จเมื่อ พ. ศ. 2530 ใช้ประโยชน์ในการผันน้ำเพื่อการชลประทาน นอกจากนี้ยังช่วยบรรเทาอุทกภัย พัฒนาเศรษฐกิจของท้องถิ่น ส่งเสริมอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา ตลอดจนเป็นสถานพักผ่อนหย่อนใจและท่องเที่ยวได้อีกด้วย

2. เขื่อนบางลาง

สร้างปิดกั้นแม่น้ำปัตตานี ที่จังหวัดยะลา เป็นเขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว สูง 85 เมตร สันเขื่อนยาว 430 เมตร เก็บน้ำได้ 1,404 ล้านลูกบาศก์เมตร ก่อสร้างเสร็จเมื่อ พ. ศ. 2524 ใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกในโครงการก่อสร้างเขื่อนทดน้ำในจังหวัดยะลาและปัตตานี เป็นพื้นที่ 300,000 ไร่ นอกจากนี้ยังช่วยบรรเทาอุทกภัย พัฒนาเศรษฐกิจของท้องถิ่น ส่งเสริมอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา ตลอดจนเป็นสถานพักผ่อนหย่อนใจและการท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดีเพิ่มขึ้นอีกแห่งหนึ่งในภาคใต้