บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) เป็นความพยายามของมนุษย์ที่จะจำลองสภาพ (simulate) ปรากฎการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นไม่ว่าสิ่งนั้นจะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือสิ่งที่มนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องด้วย โดยพยายามอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถช่วยให้เข้าใจระบบได้ดีขึ้น แบบจำลองที่ดีนั้นสามารถใช้คาดการณ์ถึงกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบย่อยๆ ในขณะเดียวกันก็ช่วยคาดการณ์ว่าอะไรจะเกิดขึ้นเมื่อภาวะการณ์ภายนอกระบบผันแปรไปจากเดิมหรือช่วยให้ทราบว่าอะไรบ้างเป็นปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดกระบวนการหรือพฤติกรรมต่างๆ โดยสรุปแล้ววัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองมี 5 ประการ (นิพนธ์ , 2537) คือ

1. เพื่อบอกถึงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับระบบ
2. เพื่อบอกถึงแนวความคิดของผู้สร้างแบบจำลองที่มีต่อระบบและการจัดการระบบ
3. เพื่อทำให้ผู้สร้างและผู้อื่นในวงการวิเคราะห์ระบบ เกิดแนวความคิดใหม่ๆ ในการสร้างและใช้แบบจำลองอย่างละเอียดถี่ถ้วนมากขึ้น
4. เพื่อใช้แบบจำลองคาดการณ์หรือพยากรณ์ว่าระบบจะแสดงพฤติกรรมอย่างไร ถ้าสิ่งหนึ่งสิ่งใดหรือหลายสิ่งในระบบผันแปรไป
5. เพื่อเป็นเครื่องมือชี้ให้เห็นว่า อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่างๆ ที่บ่งบอกได้ถึงแนวทางในการจัดการ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะแสดงถึงความเป็นจริงหรือทฤษฎีเกี่ยวกับความเป็นจริงและพฤติกรรมของสิ่งนั้น ข้อมูลเบื้องต้นของแบบจำลอง เรียกว่า *ข้อมูลเข้า (input data)* และผลที่ได้รับจากแบบจำลอง เรียกว่า *ข้อมูลออก (output data)* ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้าและข้อมูลออกเรียกว่า *ฟังก์ชันโอนถ่าย (transfer function)* ดังแผนภาพ

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้าและข้อมูลออก (ไพโรจน์ , 2538)

2.1 ความเป็นมาของการใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ระบบ

ในอดีต วิธีทดสอบที่ดีที่สุดว่าการพัฒนาใดๆ ที่กำหนดขึ้นจะประสบความสำเร็จหรือล้มเหลว ก็คือ ปล่อยให้การพัฒนานั้นดำเนินไปตามความเป็นจริงของสถานการณ์ ซึ่งถ้าการพัฒนานั้นดำเนินไปด้วยดี ก็นับว่าประสบความสำเร็จโดยไม่ต้องมีการปรับปรุงแผนพัฒนา แต่ถ้าผลเกิดขึ้นในทางตรงกันข้าม อย่างน้อยสาเหตุของความล้มเหลวก็จะสอนให้นักพัฒนารู้แนวทางว่าควรจะต้องดัดแปลงแก้ไขแผนการดำเนินงานไปในทิศทางใด วิธีการเช่นนี้ จะใช้กันเสมอในการพัฒนาทรัพยากรในอดีตและได้ผลดีพอสมควรในสภาวะการณ์ของโลกในขณะนั้น ปัจจุบันการพัฒนาใดๆ มักจะต้องใช้การลงทุนสูงและมักจะเป็นการพัฒนาเพื่อกลุ่มชนขนาดใหญ่ ซึ่งถ้าจะเสี่ยงปล่อยให้การพัฒนาเป็นไปตามสถานการณ์ดังเช่นในอดีต ถ้าเกิดผิดพลาด ผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้น มิใช่เพียงแต่การได้รับบทเรียนเท่านั้น แต่มีโอกาสทำให้ประเทศชาติหรือการพัฒนานั้นเสียหายได้ ดังนั้นการประเมินผลที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้าโดยวิธีการต่างๆ ที่เป็นระบบ จึงเป็นสิ่งจำเป็นมากขึ้น

การใช้แบบจำลองในการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เป็นกรรมวิธีหนึ่ง โดยการตรวจสอบข้อสมมติฐานต่างๆ ก่อนในห้องปฏิบัติการ หรือใช้ทดลองกับบางพื้นที่จริง ในพื้นที่เล็กๆ โดยแบบจำลองมักจะประกอบด้วยสมการคณิตศาสตร์หลายสมการประกอบกัน แสดงถึงกฎเกณฑ์หรือความสัมพันธ์ของสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับความผันผวนและการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรที่ผู้ทำแบบจำลองให้ความสำคัญ

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองอาจเป็นเพียงตัวแทนของสถานการณ์ที่เกิดขึ้นแล้วในอดีตถึงปัจจุบันเพื่อคาดการณ์ความเป็นไปในอนาคตได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งในทางวิทยาศาสตร์นั้น แบบจำลองคือ ตัวแทนของสรรพสิ่งอันใดอันหนึ่งและมักจะถูกใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการคาดการณ์และควบคุมสรรพสิ่งนั้นๆ แบบจำลองทำหน้าที่อธิบายถึงลักษณะ เหตุการณ์ กระบวนการหรือระบบมากกว่าที่จะใช้บรรยายว่าสิ่งเหล่านั้นเป็นอย่างไรหรือเกิดขึ้นอย่างใด แบบจำลองมักจะถูกสร้างขึ้นมา เพื่อใช้หรือทำให้เข้าใจว่าถ้าหากสิ่งนั้นหรือระบบถูกเปลี่ยนแปลงไปทางใดทางหนึ่งหรือหลายทาง จะมีผลกระทบต่อองค์ประกอบอื่นๆของสิ่งนั้นหรือระบบนั้นๆอย่างไรบ้าง

แบบจำลองที่มีประโยชน์นั้น จะต้องสามารถใช้คาดหมายผลกระทบต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นจากการกำหนดนโยบายในการจัดการแบบต่างๆ ได้ โดยมีการเสี่ยงต่อความผิดพลาดน้อยที่สุดและไม่จำเป็นที่ต้องประกอบด้วยสมการคณิตศาสตร์หรือกระบวนการเชื่อมโยงสมการที่สลับซับซ้อนจนเกินไป แต่

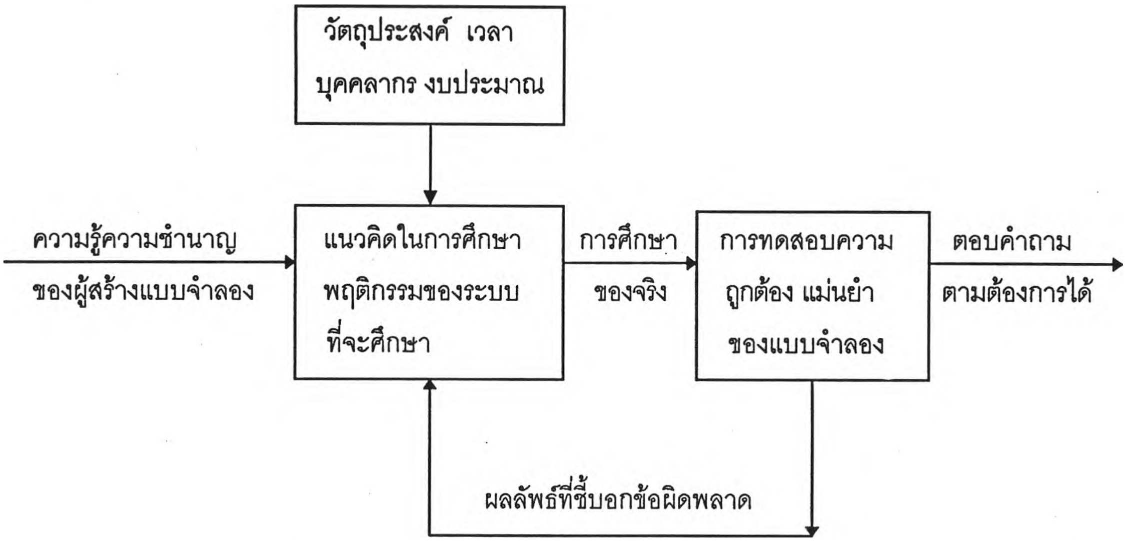
ครอบคลุมการคาดหมายสิ่งต่างๆที่ต้องการรู้ได้กว้างขวาง แบบจำลองที่จัดว่าดีนั้น ควรจะต้องประหยัดทั้งเวลาในการทำงาน โดยสามารถรับข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นได้มากพอสมควร

แบบจำลองที่ดีจะต้องเป็นแบบจำลองที่ง่ายต่อการเข้าใจของผู้ที่อยู่ในวงการโดยทั่วไปและชี้ให้เห็นข้อเท็จจริงของพฤติการณ์ที่ใช้แบบจำลองแทนได้อย่างเด่นชัด ทำให้ผู้ใช้เข้าใจแบบจำลองง่ายและใช้ได้อย่างสะดวกทั้งโดยตรงและในกรณีที่จะต้องมีการดัดแปลงแก้ไข ทั้งนี้เพราะถ้าหากแบบจำลองนั้นง่ายต่อการเข้าใจ ก็จะสามารถตรวจสอบความถูกต้องของผลที่คาดคะเนออกมาได้หรือสามารถหาข้อผิดพลาดจากการใช้ข้อมูลได้อย่างคล่องตัว นอกจากนี้แล้ว แบบจำลองที่ดี จะต้องสมเหตุสมผล เช่น แบบจำลองทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมนั้น ถือว่าความแน่นอนของความสมจริงและความกระจ่างชัดของการอธิบายพฤติการณ์ของระบบเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเท่าเทียมกับการที่จะคาดหมายให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำ ภายใต้ข้อจำกัดหลายประการดังกล่าว แบบจำลองที่ดี จึงควรเป็นแบบจำลองที่แทนโครงสร้างและการทำงานของระบบได้อย่างสมจริงสมจังที่สุด

แบบจำลองที่สลับซับซ้อนนั้น ไม่ได้หมายความว่าจะใช้คาดการณ์ออกมาได้ดีกว่าแบบจำลองในรูปแบบง่ายๆ เสมอไป ทั้งนี้เพราะเมื่อผันตัวแปรเพิ่มมากขึ้น แบบจำลองก็ต้องมีเงื่อนไขกำกับเพิ่มมากตามไปด้วย

2.2 กระบวนการและขั้นตอนในการสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นระบบง่ายๆ หรือระบบที่สลับซับซ้อนกระบวนการหลักๆ จะคล้ายคลึงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 กระบวนการหลักในการสร้างแบบจำลองของระบบ (นิพนธ์ , 2537)

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าในการสร้างแบบจำลองนั้น แบบจำลองจะทำงานให้คำตอบตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ขึ้นอยู่กับความรู้ ความเข้าใจ ความชำนาญและวัตถุประสงค์ของผู้สร้าง ซึ่งถ้าผู้สร้างมีความเข้าใจทั้งโครงสร้างและหน้าที่ของระบบอย่างดีแล้วก็จะสามารถสร้างแบบจำลองที่เลียนแบบระบบที่แท้จริงได้ อย่างไรก็ตาม ยังต้องขึ้นกับเวลา บุคลากรและงบประมาณเป็นองค์ประกอบหลักด้วย การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มักจะใช้ทฤษฎีที่มีอยู่แล้วผนวกกับแนวคิดของผู้สร้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยการสำรวจจากพื้นที่จริง และใช้ระบบที่เป็นอยู่จริงเป็นเครื่องมือทดสอบ หากแบบจำลองที่สร้างสามารถตอบคำถามตามที่กำหนดไว้ในวัตถุประสงค์ได้อย่างพอใจแล้ว ก็เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการสร้าง แต่ถ้ายังมีข้อผิดพลาดอยู่ ผลจากข้อมูลออก จะบ่งชี้ว่าควรจะแก้ไขตรงไหน อย่างไร กระบวนการดังกล่าว มีขั้นตอนที่กำหนดให้ผู้สร้างแบบจำลองดำเนินการได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งอธิบายโดยย่อได้ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ เพื่อใช้กำหนดรูปแบบและทิศทางของแบบจำลอง

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดกรอบของปัญหาให้อยู่ในรูปของเวลาและพื้นที่และระบบย่อยของระบบทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 3 ความต้องการในข้อมูล ซึ่งจะมีปริมาณและคุณภาพมากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับความสลับซับซ้อนของแบบจำลองที่จะสร้างข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ในกรณีที่ข้อมูลมีข้อจำกัด ก็อาจจำเป็นต้องลดความซับซ้อนของแบบจำลองลงหรือกำหนดของปัญหาให้เล็กลงไป

ในขั้นตอนที่ 1 - 3 มักจะถูกจำกัดด้วยงบประมาณ เวลาและข้อมูลที่มีอยู่ ผู้สร้างแบบจำลองที่เริ่มต้นใหม่ๆ และมีความเข้าใจในโครงสร้างและการทำงานของระบบอย่างดี มักจะออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองที่เกินขีดจำกัดของงบประมาณ เวลา และข้อมูลที่มีอยู่เสมอ

ขั้นตอนที่ 4 เขียนโครงสร้างของแบบจำลองจากแนวคิดที่ผู้สร้างมีอยู่ หรือจากกลุ่มผู้สร้าง ขั้นตอนนี้บางครั้งก็อาจทำก่อนขั้นตอนรวบรวมข้อมูล แต่มักจะถูกจำกัดด้วยข้อมูลที่มีอยู่ การเขียนโครงข่ายของแบบจำลอง จึงมักทำภายหลังจากที่ทราบปริมาณและคุณภาพของข้อมูลแล้ว

ขั้นตอนที่ 5 สร้างสมการแสดงความเป็นไปและความสัมพันธ์ของระบบที่เชื่อมโยงกับการให้คำตอบของปัญหาที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ในขั้นตอนนี้จะคำนึงถึง

1) จะให้แบบจำลองช่วยตัดสินใจแก้ปัญหา ให้คำตอบเรื่องอะไร ในระดับใด

2) จำแนกองค์ประกอบ (ตัวแปร) ของแบบจำลองที่จะเป็นตัวกำหนด (regulate) และตัวให้ผลลัพธ์ให้ครบถ้วน

3) สร้างความสัมพันธ์เชื่อมโยงตัวแปรต่างๆ โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยผลงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นหลักหรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ

4) กำหนดพารามิเตอร์ที่จะเป็นข้อมูลออก อินดิเคเตอร์ กำหนดช่วงเวลา (time interval) และระยะเวลา (time span) ที่จะให้แบบจำลองหาคำตอบให้

5) ผนวกแบบจำลองย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบและมีระเบียบสอดคล้องกับพฤติกรรมธรรมชาติ

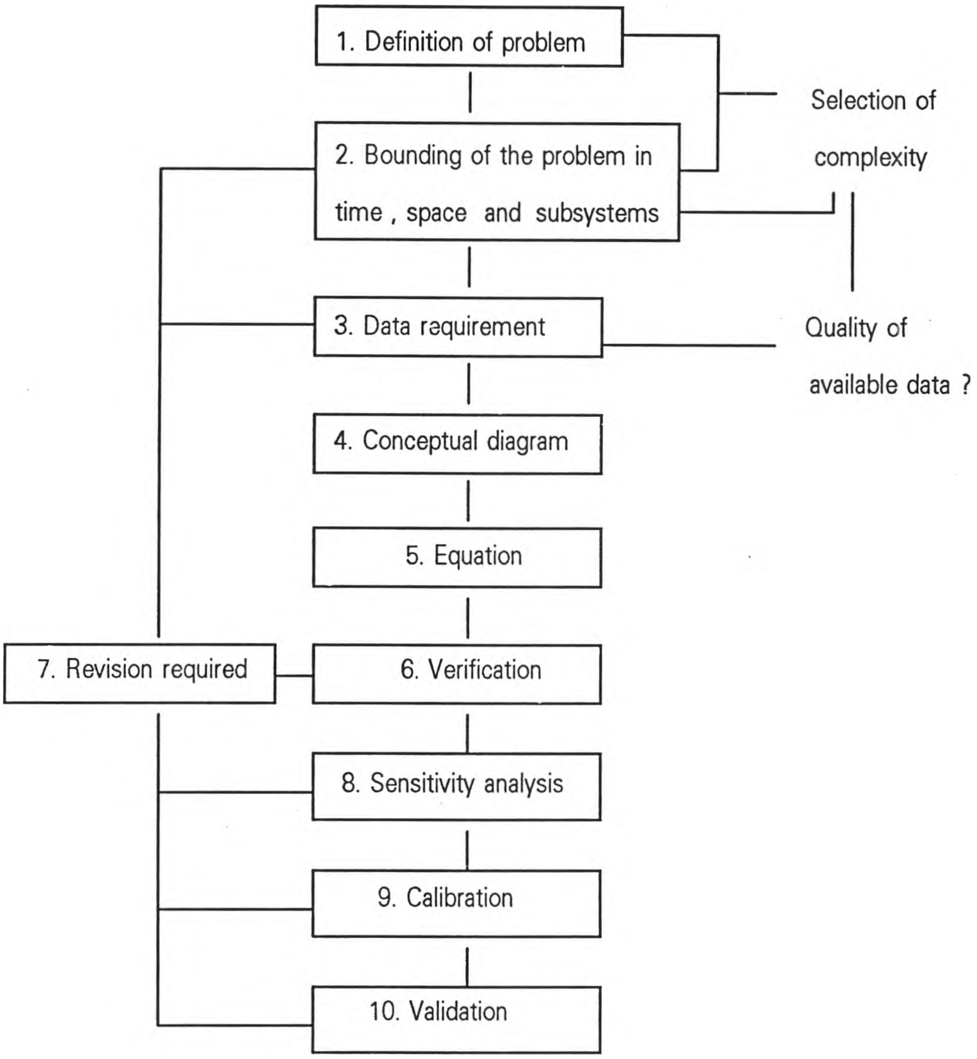
ขั้นตอนที่ 6 ทดลองการทำงานของแบบจำลองและความถูกต้องของผลลัพธ์ เมื่อเชื่อมโยงสมการ หรือแบบจำลองย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว ถ้าเป็นขั้นการทดสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้น สามารถทำงานหรือคำนวณได้ตามที่ต้องการหรือไม่ มีความถูกต้องตามหลักตรรกยะและอธิบายความเป็นไปของกระบวนการต่างๆ ได้ตามที่คิดไว้หรือไม่ ขั้นตอนนี้ส่วนมากจะใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในอดีต เป็นตัวทดสอบ

ขั้นตอนที่ 7 การแก้ไขปรับปรุงแบบจำลอง กรณีที่การทำงานยังไม่ดีพอ ซึ่งอาจเกิดจากแบบจำลองยังไม่สมบูรณ์ หรือการเชื่อมต่อกันไม่เป็นไปตามตรรกยะ หรือรายละเอียดในแบบจำลองย่อย ยังไม่เพียงพอ หรือตั้งวัตถุประสงค์ไว้มากเกินกว่าข้อมูลที่มีอยู่จะหาคำตอบให้ได้ ก็จะต้องมีการทบทวนกันใหม่ โดยกลับไปเริ่มที่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่ ก็จะทำให้ได้แบบจำลองที่ให้ความพอใจได้

ขั้นตอนที่ 8 ในกรณีที่แบบจำลองทำงานได้ดีแล้ว มีความถูกต้องแม่นยำ ตามที่ตั้งเกณฑ์ไว้แล้ว ก็คงจะต้องมีการทดสอบการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ภายในแบบจำลอง (sensitivity analysis) ว่า เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆคงที่แล้ว การเปลี่ยนพารามิเตอร์ตัวหนึ่งไปในระดับต่างๆจะทำให้มีผลลัพธ์ออกมาแตกต่างไปจากเดิมอย่างมีตรรกยะและระดับการเปลี่ยนแปลงยอมรับได้หรือไม่ ถ้ายังไม่ตอบสนองในระดับที่ดีพอก็จะต้องกลับไปเริ่มขั้นตอนที่ 7 คือทบทวนแบบจำลองกันใหม่อีกจนพอใจ

ขั้นตอนที่ 9 การปรับเทียบพารามิเตอร์ในแบบจำลอง ขั้นตอนนี้มักจะทำกันเสมอในเกือบทุกแบบจำลอง เพื่อให้ได้ค่าตรงหรือใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริงหรือที่ควรจะเป็น ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองนั้นมิอาจเลียนแบบของจริงได้ 100 % ค่าที่ได้จึงมักคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง จึงต้องมีการปรับเทียบ

ขั้นตอนที่ 10 การพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง (validation) เป็นการทดสอบว่าแบบจำลองทำงานได้ดีและถูกต้องเพียงใด เมื่อกำหนดสภาวะต่างๆ ในการจัดการระบบเปลี่ยนไป ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนการตรวจประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแบบจำลองว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรภายนอก ที่เป็นข้อมูลเข้า (input data) แล้วแบบจำลองจะทำงานได้ถูกต้องสมเหตุสมผลหรือไม่ ซึ่งถ้ามาถึงขั้นตอนนี้แล้ว แบบจำลองให้ผลถูกต้องแน่นอนและมีตรรกยะในทุกกรณีแล้วก็จะสามารถนำไปประยุกต์ในพื้นที่อื่นๆ เพื่อหาคำตอบมาช่วยในการกำหนดนโยบายการจัดการได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่างๆ (นิพนธ์ , 2537)

วิธีการจำลองสภาพโดยใช้แบบจำลองนี้ ใช้สมการคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์ย่อย (partial differential) การแก้สมการเหล่านี้ไม่สามารถคำนวณคำตอบได้โดยตรง จำเป็นต้องใช้สมมติฐานบางประการและเทคนิคการคำนวณคำตอบ ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์เชิงตัวเลข (numerical analysis) การคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แทนโครงสร้างและกระบวนการที่สลับซับซ้อนของระบบใดๆ แล้วจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ โดยจะต้องเขียนโปรแกรมเข้าสู่คอมพิวเตอร์ แล้วจะได้ข้อมูลออกตามที่ต้องการ ความยากง่ายของแบบจำลองอยู่ที่ตัวแปรที่เป็นข้อมูลเข้าและข้อมูลออกที่มีหลายตัวแปรและมีความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสลับซับซ้อน ชนิดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์และปรากฏการณ์ที่เราจะศึกษา เทคนิคในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้แบบจำลอง สามารถประเมินโดย

1. ใช้แบบจำลองพยากรณ์เหตุการณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative simulation models) แบบจำลองชนิดนี้ ใช้สมการคณิตศาสตร์คาดคะเนความเป็นไปในระบบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แต่ยังต้องกำหนดเป้าหมายในรูปแบบที่เป็นเชิงคุณภาพของความมากน้อยในการเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่จะคาดคะเนออกมาให้เป็นตัวเลขที่ถูกต้อง เช่น ต้องการทราบว่าปัจจัยตัวหนึ่งมีอิทธิพลต่อกระบวนการใดของระบบหรือไม่ หรือแต่ละปัจจัยมีผลกระทบซึ่งกันและกันอย่างไร วิธีการนี้อยู่ในรูปแบบที่ไม่แสดงออกมาเป็นตัวเลขโดยตรงมากนัก แต่จะมีประโยชน์ในการพิจารณาตัวแปรสำคัญๆ และมองระบบในลักษณะที่เป็นพลวัต (Dynamic) ได้ลึกซึ้งมากขึ้น

2. ใช้แบบจำลองพยากรณ์เหตุการณ์เชิงปริมาณ (Numerical simulation models) วิธีการนี้ใช้สมการคณิตศาสตร์หลายสมการจำลองเหตุการณ์ของระบบ โดยการคำนวณความผันแปรต่างๆ ตามเวลาที่เปลี่ยนไปและความแปรปรวนของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันอยู่ในระบบ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์หรือคำตอบที่ใกล้เคียงธรรมชาติของระบบมากที่สุด โดยพยายามเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่เป็นจริงอยู่เสมอ ทั้งนี้ตัวแปรต่างๆ และข้อจำกัดจะเลียนแบบข้อเท็จจริงของระบบให้มากที่สุด เป็นวิธีการที่จะได้ค่าถูกต้องมากกว่าวิธีอื่นๆ ขณะเดียวกันก็เป็นวิธีที่ทำให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบได้ดีที่สุดและใช้งานได้โดยไม่มีข้อจำกัดมากนัก แต่วิธีนี้ต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณและผู้สร้างแบบจำลองจะต้องมีความรู้ความชำนาญทั้งในด้านความเป็นไปของระบบและการทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาก

ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองทั้งสองชนิดนี้ ค่อนข้างจะไม่ชัดเจนในบางครั้ง และแบบจำลองพยากรณ์เหตุการณ์เชิงคุณภาพจะค่อยๆเปลี่ยนไปทีละน้อยเข้าสู่แบบจำลองพยากรณ์เหตุการณ์เชิงปริมาณ การเริ่มต้นแบบจำลองจะสร้างขึ้นโดยใช้พื้นฐานของประสบการณ์คณิตศาสตร์ หรือความสำคัญทางสถิติ เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมของระบบ หลังจากการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว แบบจำลองก็สามารถคาดคะเนหรือทำนายพฤติกรรมของระบบที่จุดอื่นๆ ในเวลาที่ต้องการ ข้อมูลออกของแบบจำลอง จะเป็นส่วนหนึ่งของข้อมูล เพื่อนำมาช่วยในกระบวนการตัดสินใจหาความเหมาะสมของสภาวะที่ต้องการ

2.3 การจัดการคุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำ มีความสำคัญมาก ไม่ว่าจะเป็นน้ำในแม่น้ำ ลำธาร อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ ทะเล ตลอดจนแหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งมีคุณค่าสำคัญ 3 ประการ (ฉัตรไชย , 2539) คือ

1) คุณค่าทางด้านสังคม ได้แก่ คุณค่าของแหล่งน้ำเมื่อมนุษย์นำเอาน้ำมาใช้ประโยชน์ทั้งในครัวเรือน ในอุตสาหกรรม เกษตรกรรมหรือใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงาน

2) คุณค่าทางด้านนิเวศวิทยา ได้แก่ คุณค่าของแหล่งน้ำในฐานะที่เป็นองค์ประกอบของระบบนิเวศ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์และที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ เป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจ ตลอดจนเป็นองค์ประกอบที่สร้างความสุนทรีย์ให้กับสิ่งแวดล้อม

3) คุณค่าในการเป็นแหล่งรองรับของเสีย ได้แก่ คุณค่าของแหล่งน้ำในอันที่จะถูกนำมาใช้เป็นแหล่งรองรับของเสียอันเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์

ปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำที่เกิดในแหล่งน้ำประเภทต่างๆ อันได้แก่ แม่น้ำ ลำธาร คลอง ทะเล ทะเลสาบ จะมีลักษณะแตกต่างกันบ้าง ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ ชีวภาพและลักษณะของสังคมที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำนั้นๆ ปัญหามักจะเกิดจากความขัดแย้งระหว่างคุณค่าทางด้านสังคมและคุณค่าทางด้านนิเวศวิทยาของแหล่งน้ำกับคุณค่าของแหล่งน้ำในการรองรับของเสีย ซึ่งโดยทั่วไป แหล่งน้ำมีความสามารถในการรองรับและบำบัดของเสียได้ระดับหนึ่ง หากปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำในปริมาณที่เกินขีดความสามารถดังกล่าว ปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นจะทำให้คุณค่าสองประการแรกลดลง จึงจำเป็นต้องมีมาตรการควบคุมมิให้มีการปล่อยน้ำทิ้งและของเสียลงสู่แหล่งน้ำได้อย่างเสรี แต่ในขณะเดียวกันก็อาจไม่จำเป็นถึงกับต้องห้ามใช้แหล่งน้ำเพื่อเป็นแหล่งรองรับของเสียไปเสียเลยทีเดียว

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการจัดการคุณภาพน้ำก็เพื่อที่จะหาสมดุลที่เหมาะสม ในการยอมให้แหล่งน้ำเป็นแหล่งรองรับของเสียบ้าง ขณะเดียวกันก็ยังสามารถรักษาคุณค่าทางด้านสังคมและคุณค่าทางด้านนิเวศวิทยาไว้ได้ เพื่อให้ผู้ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำโดยส่วนรวมได้รับประโยชน์สูงสุด ซึ่งวิธีการจัดการหรือการประเมินผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำ สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการคาดการณ์สิ่งที่จะเกิดขึ้น เพื่อหาวิธีการหรือมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต

2.4 พารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ศึกษา

คุณภาพน้ำ มีความหมายแตกต่างออกไปสำหรับกลุ่มคนต่างๆ ขึ้นอยู่กับจุดยืนหรือมุมมองการแปลความหมายของข้อมูลและการพิจารณาว่าน้ำมีคุณภาพเหมาะสมกับการใช้หรือไม่ จุดนี้มักจะเป็นเรื่องที่คนต่างแนวคิด ต่างมุมมอง อาจมีความเห็นไม่ตรงกัน แม้ว่าทุกคนจะมีความเข้าใจตรงกันในความหมายเชิงเทคนิคของค่าตัวแปรที่วิเคราะห์ได้ก็ตาม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในด้านเทคนิค คุณภาพน้ำอาจแสดงออกมาในรูปของตัวแปรทางกายภาพ เคมีและชีววิทยา ตัวแปรส่วนใหญ่สามารถวัดออกมาในเชิงปริมาณได้และมีวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน ซึ่งเป็นที่ยอมรับและเชื่อถือได้ (APHA et al., 1995) ข้อมูลสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เมื่อทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการที่มีสภาวะคล้ายคลึงกัน ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สามารถแสดงได้เป็นค่าตัวเลขอย่างถูกต้องตามหลักวิทยาศาสตร์ทุกประการ และผลดังกล่าวสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพิจารณาปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำต่อไป

2.4.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total dissolved solids ; TDS)

ปริมาณและชนิดของสารที่ละลายและไม่ละลายน้ำแตกต่างกันไปแล้วแต่ประเภทของน้ำ ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ เป็นอินดิเคเตอร์ชี้บอกความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำที่สำคัญอย่างหนึ่ง ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด คือ ส่วนที่เหลืออยู่หลังจากการระเหยของน้ำที่ได้ผ่านการกรองโดย millipore filter ที่อุณหภูมิ 103 -105 °C ซึ่งส่วนที่เหลือ ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์หลายชนิด การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ อาจคำนวณได้หยาบๆ โดยการวิเคราะห์หาความนำไฟฟ้าจำเพาะ (Specific Conductivity) ของน้ำ ค่าความนำไฟฟ้าจำเพาะจะมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ดังนั้น น้ำที่มีความนำไฟฟ้าสูงก็จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงเช่นกัน โดยผลการศึกษาของ AIDAB (The Australian International Development Assistance Bureau) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและค่าการนำไฟฟ้าเป็นไปดังสมการ

$$TDS = (0.958 \times conductivity) - 123$$

ความสำคัญในการพิจารณาปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เพื่อประโยชน์ในการพิจารณาความเหมาะสมของน้ำที่จะนำมาใช้อุปโภคบริโภค น้ำที่มีค่าของแข็งสูง จะมีคุณสมบัติในการระบายท้องต่อผู้บริโภค (Cathartic effect) ดังนั้น น้ำที่จะนำมาใช้ทำน้ำประปา กำหนดให้มีค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solids) น้อยกว่า 500 มิลลิกรัม/ลิตร (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 พ.ศ.2524)

2.4.2 ปริมาณซัลเฟต (Sulfate)

ซัลเฟตเป็นอิออนลบตัวหนึ่งที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซัลเฟตในน้ำดื่มถ้ามีเป็นจำนวนมากจะก่อให้เกิดการระบายท้องต่อผู้บริโภค ดังนั้น ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงมีการกำหนดค่ามาตรฐานของซัลเฟตในน้ำดื่ม ให้มีค่าไม่เกิน 250 มิลลิกรัม/ลิตร (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 พ.ศ.2524) ในน้ำชะล้างจากเหมืองต่างๆ พบซัลเฟตที่เกิดจากการออกซิเดชัน (Oxidation) ของซัลไฟต์เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ ยังพบซัลเฟตในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท ด้วยเหตุนี้จึงทำให้น้ำธรรมชาติที่ถูกทำให้สกปรกโดยน้ำทิ้งเหล่านี้มีซัลเฟตมากไปด้วย สำหรับทางด้านอุตสาหกรรม ซัลเฟตก็เข้ามามีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวที่ทำให้เกิดตะกรัน (hard scales) ในหม้อน้ำและใน Heat Exchanger

นอกจากนี้ ซัลเฟตยังเป็นตัวที่ก่อให้เกิดปัญหาสำคัญ 2 ประการ คือ ปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นและการกัดกร่อนในท่อน้ำทิ้ง (sewer-corrosion) เนื่องจากปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ของซัลเฟตไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Condition) ดังสมการ

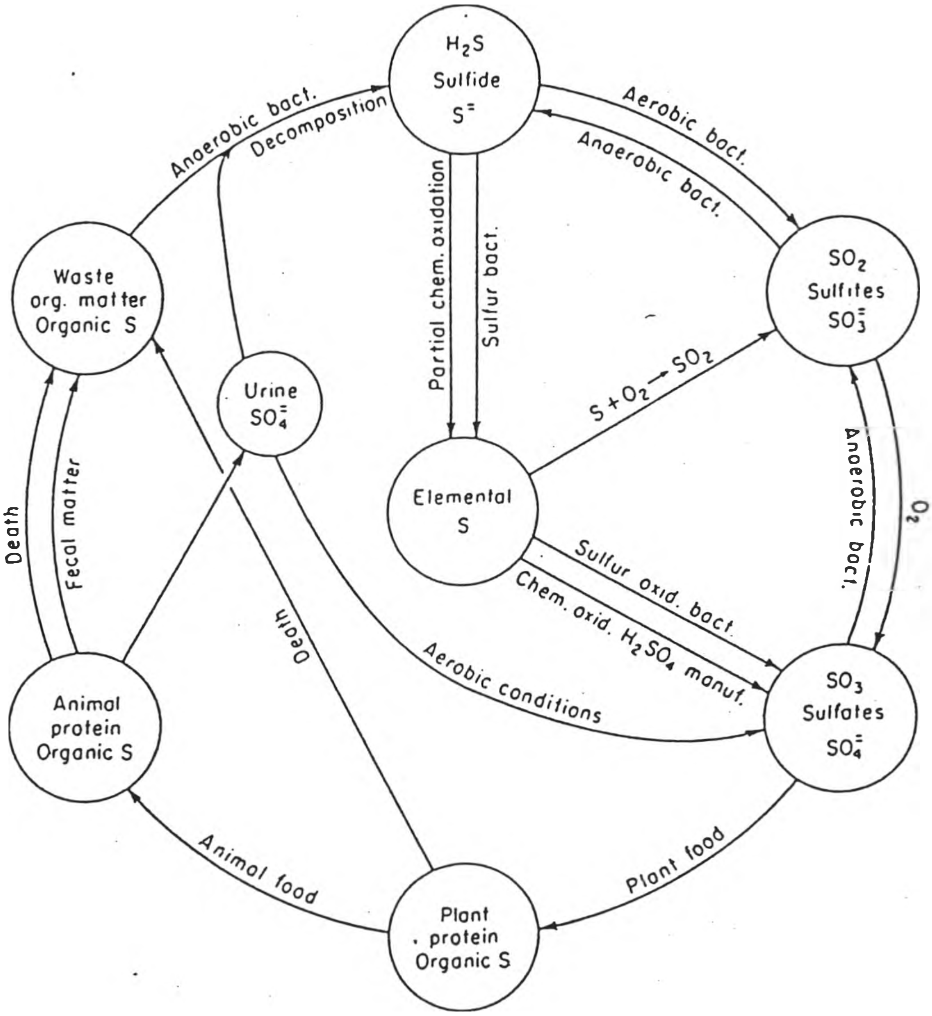
$$SO_4^{2} + \text{organic matter} \xrightarrow[\text{bacteria}]{\text{anaerobic}} S^{2} + H_2O + CO_2$$

$$S^{2} + H^{+} \rightleftharpoons HS^{-}$$

$$HS^{-} + H^{+} \rightleftharpoons H_2S$$

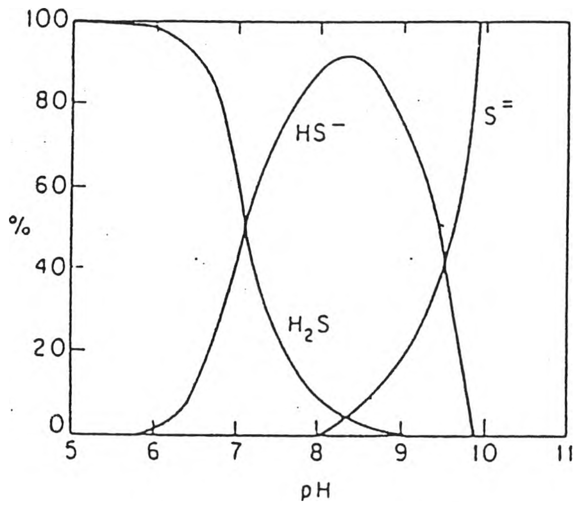
ซึ่งการเปลี่ยนรูป (Transformation) ของกำมะถัน แสดงในแผนภาพวัฏจักรกำมะถัน ดังรูปที่ 2.4

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 วัฎจักรของกำมะถัน (Sawyer, et al., 1994)

จากแผนภาพ รูปที่ 2.4 ในสภาวะที่น้ำไม่มีออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen) และไนเตรต พวก Anaerobic bacteria สามารถใช้ซัลเฟตเป็นแหล่งของออกซิเจนสำหรับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทางชีวเคมี นั่นคือซัลเฟตจะถูกรีดิวซ์ไปเป็นซัลไฟด์และจะรวมตัวกับไฮโดรเจนอิออนเกิดเป็น H_2S , HS^- หรือ S^{2-} ขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ที่ pH สูงกว่าหรือเท่ากับ 8 ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป HS^- และ S^{2-} จะอยู่ในรูป H_2S น้อยมาก ดังนั้นจึงไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับกลิ่น แต่ที่ pH ต่ำกว่า 8 จะอยู่ในรูป H_2S และจะเกิดขึ้นสมบูรณ์ประมาณ 80 % ที่ pH 7 ภายใต้สภาวะเหล่านี้ H_2S จะมีมากพอที่จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นได้



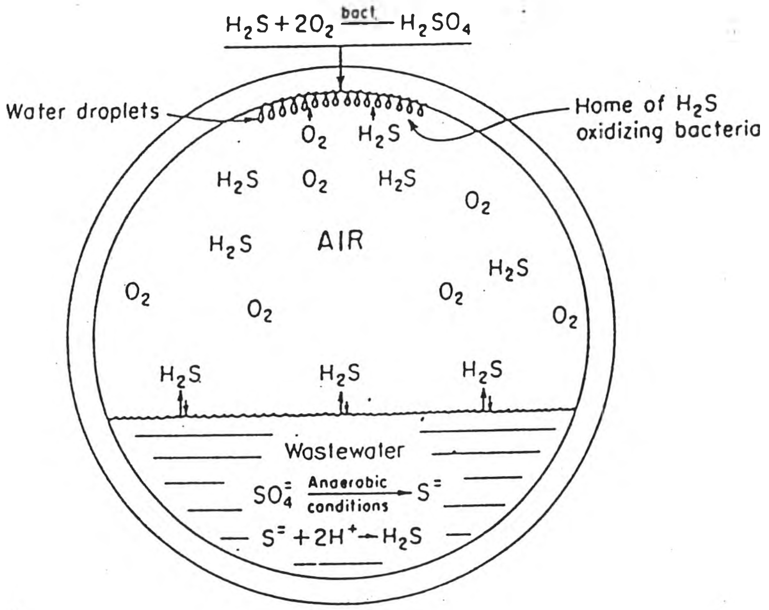
รูปที่ 2.5 ผลของ pH ที่มีต่อสมดุลของไฮโดรเจนซัลไฟด์ - ซัลไฟด์อิออน (Sawyer, et al., 1994)

สำหรับปัญหาการกัดกร่อนในท่อน้ำทิ้ง ซึ่งในหลายพื้นที่ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะทางตอนใต้ของประเทศ น้ำทิ้งจากชุมชนมีอุณหภูมิสูงและระยะเวลากักเก็บในท่อนานและความเข้มข้นของซัลเฟตสูง จะเกิดปัญหาการกัดกร่อนในท่อน้ำทิ้งส่วนบนที่เรียกว่า crown erosion ปัญหานี้เกี่ยวข้องกับการรีดักชันของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ปกติ H_2S ละลายน้ำแล้วจะได้กรดอ่อน ดังนั้นจะมีผลในการกัดกร่อนท่อน้ำทิ้งน้อยมาก อย่างไรก็ตามการกัดกร่อนในท่อน้ำทิ้งส่วนบน เกิดขึ้นโดยมี H_2S เป็นตัวการทางอ้อม

ในท่อน้ำทิ้ง จะมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งกระบวนการนี้ต้องการออกซิเจน ถ้าออกซิเจนจากการเติมอากาศในท่อไม่พอ ก็จะเกิดการรีดักชันของซัลเฟตไปเป็นซัลไฟด์ ซัลไฟด์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ บางส่วนจะขึ้นไปอยู่ในบรรยากาศเหนือน้ำเสียในท่อ ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใดๆ ถ้าผนังท่อแห้งและมีการระบายอากาศที่ดี สำหรับในท่อที่มีการระบายอากาศไม่ดี ที่ผนังและส่วนบนของท่อจะมีความชื้นเกาะอยู่ ไฮโดรเจนซัลไฟด์จะละลายในน้ำ แต่ก็ยังไม่เกิดอะไรขึ้น ข้อสำคัญในน้ำทิ้ง จะมีแบคทีเรียที่สามารถออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปเป็นกรดซัลฟุริก เนื่องจากสภาวะเหนือน้ำทิ้งในท่อเป็นสภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic Condition) ดังสมการนี้

$$H_2S + 2O_2 \xrightarrow[\text{bacteria}]{\text{aerobic}} H_2SO_4$$

กรดซัลฟุริกเป็นกรดแก่ จะกัดผนังท่อน้ำทิ้ง ซึ่งจะเกิดปัญหามากตอนส่วนบนของท่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเกิด H_2S ในท่อน้ำทิ้งและการกัดกร่อนในส่วนบนของท่อน้ำทิ้ง จากการออกซิเดชันของ H_2S ไปเป็นกรด H_2SO_4 (Sawyer, et al. , 1994)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้แล้ว ปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟตจะสูงในสภาวะที่ pH ต่ำ อาจเกิดขึ้นในลำน้ำซึ่งเป็นที่รองรับน้ำทิ้งจากเหมืองถ่านหิน ซัลไฟด์ที่อยู่ในแร่ถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียและโดยปฏิกิริยาทางเคมี เกิดเป็นกรดซัลฟุริก ดังสมการ

$$2FeS_2 \text{ (pyrite) } + 7O_2 + 2H_2O \xrightarrow[\text{bacteria}]{\text{Aerobic}} 2Fe\text{ (II) } + 4SO_4^{2-} + 4H^+$$

พบว่าไม่เพียงแต่ทำให้ลำน้ำมีปริมาณความเข้มข้นซัลเฟตเพิ่มขึ้น แต่ยังทำให้ pH ลดลงและปริมาณอิออนเหล็กเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลเสียต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำ

สำหรับการเผาเชื้อเพลิงที่เป็นพวกซากดึกดำบรรพ์ (Fossil) ทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเมื่อถูกไฮโดรไลส์ (Hydrolyze) และละลายในน้ำฝน เกิดเป็นกรดซัลฟุริก ซึ่งทำให้เกิดปัญหาที่เรียกว่าฝนกรด (Acid rain)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา มีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

สุรพงษ์ ธรรมพิทักษ์ (2530) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คำนวณอัตราการไหลและระดับน้ำในคลอง ใช้แบบจำลองประเมินขีดความสามารถของคลองระบายน้ำและออกแบบปรับปรุงระบบคลองระบายน้ำในพื้นที่ศึกษา บริเวณหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร เนื้อที่ประมาณ 8 ตารางกิโลเมตร โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝนและระดับน้ำ ข้อมูลระดับพื้นดิน ข้อมูลหน้าตัดคลองและข้อมูลลักษณะการใช้ที่ดิน ผลการศึกษาพบว่า ถ้าไม่ต้องการให้เกิดสภาวะน้ำท่วมพื้นที่ศึกษา ที่คาบการกลับของฝน (return period) 5 ปี จะต้องขยายและขุดลอกคลองกระจะ คลองจิกและคลองจิต ให้สามารถระบายน้ำจากต้นคลองมายังจุดที่ตั้งสถานีสูบน้ำได้ทัน ตลอดจนเพิ่มขนาดสถานีสูบน้ำที่ปากคลองกระจะจาก 4 ลบ.ม./ วินาที เป็น 6 ลบ.ม./ วินาที เพิ่มขนาดสถานีสูบน้ำที่ปากคลองจิก จาก 1.5 ลบ.ม./ วินาที เป็น 3 ลบ.ม./ วินาที และเพิ่มขนาดสถานีสูบน้ำที่ปากคลองจิต จาก 0.75 ลบ.ม./ วินาที เป็น 2 ลบ.ม./ วินาที สำหรับถนนบริเวณหน้ามหาวิทยาลัยรามคำแหง ในการแก้ปัญหาน้ำท่วม จะต้องวางท่อระบายน้ำลอดถนนหน้ามหาวิทยาลัยไปยังคลองแสนแสบ ให้สามารถระบายน้ำที่สูบออกจากมหาวิทยาลัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

พิชัย พิธานพิทยารัตน์ (2532) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการระบายและไล่น้ำเสียในคลอง ซึ่งมีลักษณะการไหลแบบเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลาในทางน้ำเปิด (Unsteady non-uniform flow in open channel) โดยเลือกพื้นที่ศึกษา คลองผดุงกรุงเกษม มีความยาวประมาณ 5.3 กิโลเมตร ซึ่งอยู่ในโครงการระบายน้ำกรุงเกษมของสำนักงานระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถประยุกต์ใช้จำลองสภาพการระบายน้ำและไล่น้ำเสียในคลองผดุงกรุงเกษมได้ดี โดยให้ผลคำนวณใกล้เคียงกับค่าวัดจริงในสนาม แบบจำลองยังช่วยในการตัดสินใจติดตั้งประตูระบายน้ำและสถานีสูบน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในโครงข่ายคลองได้และสามารถเลือกแนวทางการดำเนินการระบายน้ำที่ทำให้คุณภาพน้ำดีที่สุด

กฤษฎา มหาสันทนะ (2539) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ทำนายคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา ผลการคำนวณพบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาในสภาพปัจจุบัน มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 4 โดยในปี 2537 มีค่าบีโอดีสูงสุด 6.2 มก./ล. และผลจากการมีโรงบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานครระยะที่ 1 คุณภาพแม่น้ำเจ้าพระยาจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 4 จนถึงปี 2540 เท่านั้น คือ มีค่าบีโอดีสูงสุด 4.5 มก./ล. หลังจากนั้นค่าบีโอดีจะเพิ่มสูงขึ้นอีก

Liengcharemsit (1979) จัดสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ 2 มิติ เพื่อคำนวณการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการไหลและการแพร่กระจายของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ (Variations of flow patterns and distribution patterns of water quality parameters) บริเวณอ่าวไทยตอนบน พบว่าการเปลี่ยนแปลงของสารต่างๆ ในอ่าวไทยตอนบน ส่วนใหญ่เกิดจากการพัดพาของกระแสคลื่นให้เคลื่อนที่ไป (Advective flow) มากกว่าการเปลี่ยนแปลงจากปฏิกิริยาเคมี การศึกษานี้ไม่ได้ทำการตรวจสอบผลการคำนวณกับข้อมูลภาคสนาม เนื่องจากขาดข้อมูลภาคสนามที่สามารถตรวจสอบได้

Jindarojana (1988) ศึกษาการจัดการคุณภาพน้ำของน้ำพอง จ.ขอนแก่น โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำ คือ BOD , NH_3 , DO , NO_3 และแทนนิน-ลิกนิน โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ทำการปรับเทียบ (calibrated) และตรวจสอบความถูกต้อง (verified) ของแบบจำลอง การประเมินความสามารถในการรองรับของเสียของน้ำพอง สัมพันธ์กับปริมาณการปล่อยของเสียที่ลงสู่แม่น้ำ และอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อการจัดการคุณภาพน้ำเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำตามต้องการ

Al-Layla and Al-Rizzo (1989) ได้พัฒนาและปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการศึกษาคุณภาพน้ำของท้ายน้ำของเขื่อน Sadam เป็นระยะทางยาว 75 กิโลเมตร พารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่พิจารณา คือ บีโอดี ดีโอ แอมโมเนีย ไนเตรต ไนไตรต์ organic nitrogen ฟอสเฟต โคลิฟอร์มแบคทีเรียและคลอไรด์ พบว่าผลของคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองและการตรวจวัดให้ผลที่สอดคล้องกัน ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากขาดข้อมูลภาคสนามและตัวแปรบางตัวในแบบจำลองที่สร้างขึ้น รวมทั้งความซับซ้อนของสูตรและสมมติฐานในการสร้างแบบจำลอง

Rikard and Kunkle (1990) ศึกษาถึงพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ 11 ชนิด ได้แก่ pH ค่าการนำไฟฟ้า ดีโอ ความเป็นด่าง ความเป็นกรด ความกระด้าง คลอไรด์ เหล็ก แมงกานีส ซัลเฟตและค่าความขุ่น สำหรับตรวจสอบมลพิษทางน้ำที่เกิดจากการทำเหมืองถ่านหิน (Coal-mining) พบว่าซัลเฟตเป็นอินดิเคเตอร์ที่สำคัญที่สุดในการบ่งชี้ถึงมลพิษทางน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ได้รับผลกระทบจากการทำเหมืองถ่านหิน เนื่องจากตรวจพบปริมาณซัลเฟตสูงในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ คือ ซัลเฟตมีค่าสูงกว่า 10 มิลลิกรัม/ลิตร 95 % ของเวลาที่ตรวจวัดและมีค่าสูงกว่า 50 มิลลิกรัม/ลิตร 75 % ของเวลาที่ตรวจวัด นอกจากนี้ พบว่าการตรวจสอบโดยใช้ปริมาณซัลเฟตควบคู่กับค่าการนำไฟฟ้า สามารถบ่งชี้ถึงมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นจากการทำเหมืองถ่านหินในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ลุ่มน้ำได้ดีที่สุด

Dortch and Hamlin-Tillman (1995) พบว่าจากผลการศึกษาภาคสนาม บริเวณท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำจำนวน 5 แห่ง สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงความเข้าใจในเรื่องการลดลงของแมงกานีสในท้ายน้ำ โดยผลการศึกษาสนับสนุนทฤษฎีที่ว่า การดูดซับใต้ท้องน้ำ เป็นกลไกสำคัญของการลดลง พบว่าอัตราของการลดลงมีความสัมพันธ์กับความชันของลำน้ำ (stream slope) เป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความเร็วเฉือนที่ท้องน้ำ (bottom-shear velocity) ดังนั้น การกำหนดสูตรจึงขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ stream-bottom mass-transfer velocity กับความลึกของลำน้ำ ซึ่งใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการลดลงของแมงกานีส นอกจากนี้ การกำหนดสูตรยังขึ้นอยู่กับ substrate type เช่น ตะกอนที่มีขนาดเล็กมากๆ เป็นต้น ความเข้มข้นของแมงกานีสที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง แต่ก็มีบางคำถามที่ยังคงหาคำตอบไม่ได้ เป็นต้นว่า ช่วงเวลาที่เกิดการลดลงของแมงกานีส เกิดแบบนี้ตลอดทั้งปีหรือไม่