

การบริหารจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดิน (2)

(Groundwater and surface water conjunctive management)

ชนาวัชร อรุณรัตน์

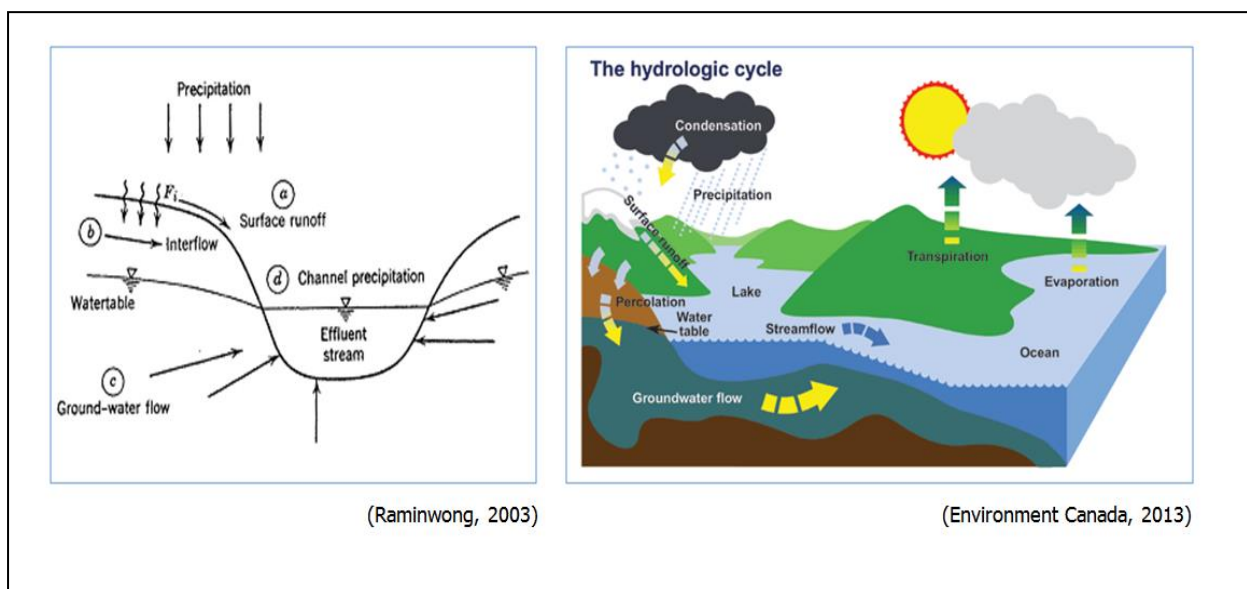
นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ

สำนักประสานความร่วมมือระหว่างประเทศ
กรมทรัพยากรน้ำ

16 กรกฎาคม 2557

บทนำ (Introduction)

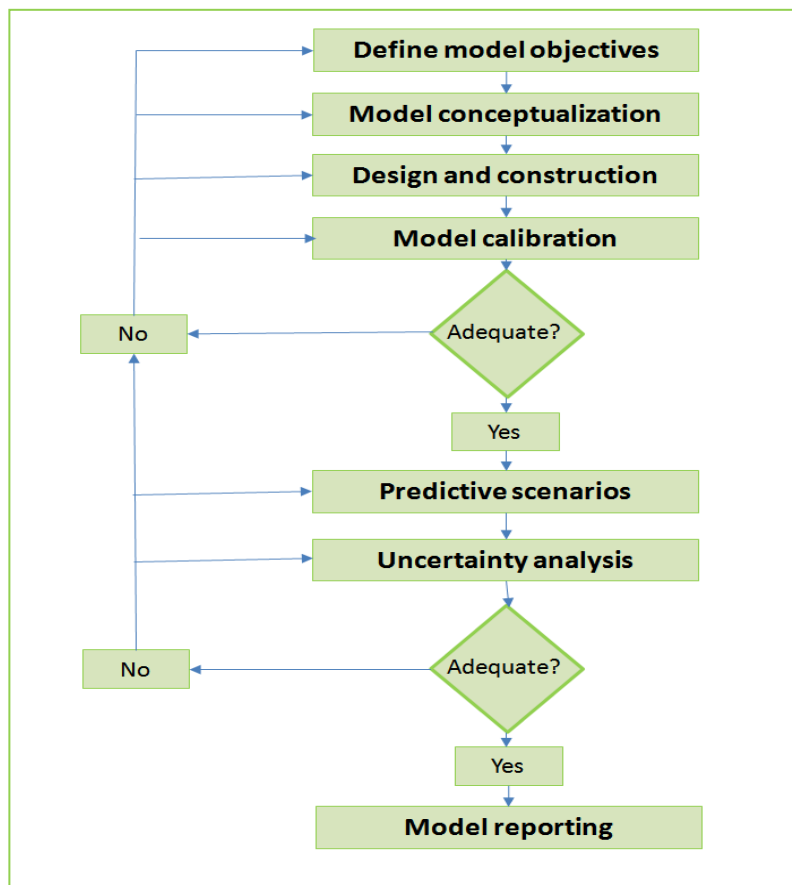
ทรัพยากรน้ำบนโลกสามารถเปลี่ยนแปลงและเคลื่อนย้ายไปตามวัฏจักรน้ำ (Hydrologic cycle) (USGS,2014) กระบวนการดังกล่าวได้เปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ จากของแข็ง (Solid; น้ำแข็งและหิมะ) ไปสู่ของเหลว (Liquid; น้ำผิวดินและน้ำทะเล) และก๊าซ (Vapor; ไอน้ำ) และกลับสู่ของเหลวอีกครั้ง โดยเริ่มจากกระบวนการการระเหย (Evaporation) การควบแน่น (Condensation) และการกลั่นตัวกลายเป็นน้ำฝนตกลงสู่พื้นดิน (Precipitation) (Environment Canada,2013) ทำให้เกิดน้ำท่าหรือน้ำไหลผ่าน (Runoff) บนผิวดิน โดยปริมาณน้ำผิวดิน (Surface water) เกิดจากน้ำฝนที่ไม่ได้ไหลซึมลงสู่ดิน (Surface runoff; overland flow) ไหลผ่านหน้าดินลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และฝนที่ตกลงสู่แม่น้ำลำธาร โดยตรง (Direct precipitation; Channel precipitation) น้ำบางส่วน ได้ไหลแทรกซึมลงสู่ดิน (Infiltration) ลงไปสู่ชั้นดินที่ผ่านได้ยาก (Interflow; secondary base flow) ซึ่งโดยทั่วไปจะมีระดับความลึกโดยประมาณ 2-3 นิ้ว และไหลซึมออกในแนวระนาบ (lateral flow) สู่มแม่น้ำลำธารต่อไป สำหรับน้ำใต้ดิน (Groundwater) เกิดขึ้นจากน้ำฝนที่ไหลซึมลึก (Percolation) ผ่านผิวดิน (Groundwater runoff; base flow) (Raminwong,2003) ไปสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifer) ซึ่งเป็นชั้นหินที่มีโพรง หรือช่องว่างระหว่างเม็ดแร่ขนาดใหญ่ต่อเนื่องกัน และมีคุณสมบัติให้น้ำซึมได้ สามารถกักเก็บน้ำเป็นปริมาณมาก จนกลายเป็นแหล่งน้ำใต้ดิน (RID,2010)



รูปที่ 1 ภาพแสดงวัฏจักรน้ำ (Hydrologic cycle)

แบบจำลองการบริหารจัดการน้ำใต้ดินและผิวดิน (Modeling groundwater-surface water interaction)

จากการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วของการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคม สภาพแวดล้อมทางภูมิอากาศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และการเพิ่มมากขึ้นจำนวนของประชากร ได้นำไปสู่ความท้าทายที่หลากหลายและความซับซ้อนที่มากขึ้นในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ แบบจำลอง (Model) ได้กลายมาเป็นเครื่องมือที่สำคัญและช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนการบริหารจัดการ ช่วยเพิ่มทางเลือกในการบริหารจัดการ และการคาดการณ์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต โดยในช่วงต้นของการพัฒนา แบบจำลองได้รับการออกแบบเฉพาะการบริหารจัดการน้ำใต้ดินหรือผิวดินอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีการออกแบบจำลองที่มีความหลากหลาย และสร้างความเชื่อมโยงการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำระหว่างน้ำใต้ดินและผิวดินได้มากขึ้น (Welsh *et al.*, 2013) สำหรับนิยามของแบบจำลองนั้น Black *et al.* (2011) ได้ให้ความหมาย ของแบบจำลองไว้ว่า “การทำให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นเกี่ยวกับความจริง โดยความจริงดังกล่าวได้ถูกสร้างขึ้น เพื่อให้เข้าใจอย่างถูกต้องและลึกซึ้ง ตามคุณลักษณะที่พิจารณาของระบบทางธรรมชาติ ระบบชีววิทยา ระบบเศรษฐกิจและสังคม รูปแบบที่แสดงพฤติกรรมตามกระบวนการดังกล่าวนั้น อาจแสดงอยู่ในเชิงคณิตศาสตร์หรือสถิติ ในรูปแบบเชิงแนวคิด (Conceptual representation: ภาพวาดหรือโครงสร้างของระบบ) หรือแบบจำลองกายภาพ (Physical representation: รูปทรงหรือรูปร่างทางกายภาพ)” และ Park (2011) ให้นิยามไว้ว่า “แบบจำลอง คือ ตัวแทนหรือการอธิบายกระบวนการหรือวัตถุที่ซับซ้อน ซึ่งโดยปกติจะแสดงโดยย่อขนาดให้เล็กลง (Small scale) และ/หรือรูปแบบที่จะทำให้เข้าใจได้มากขึ้น” สำหรับแนวทางการพัฒนาแบบจำลอง (Model) สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2 แผนผังแนวทางการจัดทำแบบจำลอง (Barnett, 2012)

1. การกำหนดวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง (Define model objectives)

เป็นขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการใช้ประโยชน์ของแบบจำลอง (MDEQ,2014) การวางแผนการดำเนินการดังกล่าว ต้องการการมีส่วนร่วมจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่จะเห็นร่วมกันในกระบวนการพัฒนาแบบจำลอง วัตถุประสงค์ และผลลัพธ์จากแบบจำลองที่ต้องการ (Barnett, 2012) รวมทั้งการพิจารณาข้อจำกัดของแบบจำลอง (MDEQ,2014) และข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะสะท้อนถึงระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ของแบบจำลอง (Barnett,2012)

2. การสร้างแนวคิดของแบบจำลอง (Model conceptualization)

การสร้างแนวคิดของแบบจำลองเป็นกระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยควบคุมหรือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการวิเคราะห์กระบวนการไหล และการกักเก็บน้ำ (MDEQ,2014) ทั้งในเชิงปริมาณ (Quantity) และในเชิงคุณภาพ (Quality) (Barnett,2012)

3. การออกแบบและจัดทำแบบจำลอง (Design and construction)

การออกแบบและจัดทำแบบจำลองเป็นกระบวนการเกี่ยวกับการตัดสินใจในวิธีการที่ดีที่สุดในการนำแนวคิดของแบบจำลองไปสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการตัดสินใจดังกล่าวจะพิจารณาการเลือกวิธีการทางคณิตศาสตร์ (Numerical method) โปรแกรมแบบจำลอง (Modeling software) (Barnett,2012) ความเหมาะสมทางด้านมิติของแบบจำลอง (Model dimension) (MDEQ,2014) และการพิจารณาเชิงพื้นที่และช่วงเวลา (Spatial and temporal) ของแบบจำลอง โดยแนวทางเบื้องต้นในวิธีการปฏิบัติควรพิจารณาแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนและมีความเหมาะสม เช่น ควรพิจารณาจัดทำแบบสองมิติ two-dimensional models (2D) มากกว่าสามมิติ three-dimensional models (3D) (Barnett,2012)

4. การปรับเทียบแบบจำลอง (Model calibration)

เป็นกระบวนการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยตัวแปร (Input) ในระดับที่กำหนดและพยายามปรับเทียบให้ค่าผลลัพธ์แบบจำลองมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมหรือเงื่อนไขภาคสนามที่เกิดขึ้นจริง Actual field conditions) (MDEQ,2014) การปรับเทียบอาจจะใช้ชุดข้อมูลที่เป็นไปได้ที่แตกต่างกัน ซึ่งการปรับเทียบจะทำให้แบบจำลองมีผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับค่าที่เกิดขึ้นจริงที่ได้รับจากการวัดค่าในอดีตของพื้นที่ (Barnett,2012)

5. การพยากรณ์สถานการณ์ (Predictive scenarios)

การพยากรณ์สถานการณ์ถูกออกแบบมาเพื่อตอบคำถามตามวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง แบบจำลองจะถูกนำมาวิเคราะห์ในหลากหลายของสภาพปัญหา เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากหลากหลายสถานการณ์ (Barnett,2012)

6. การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty analysis)

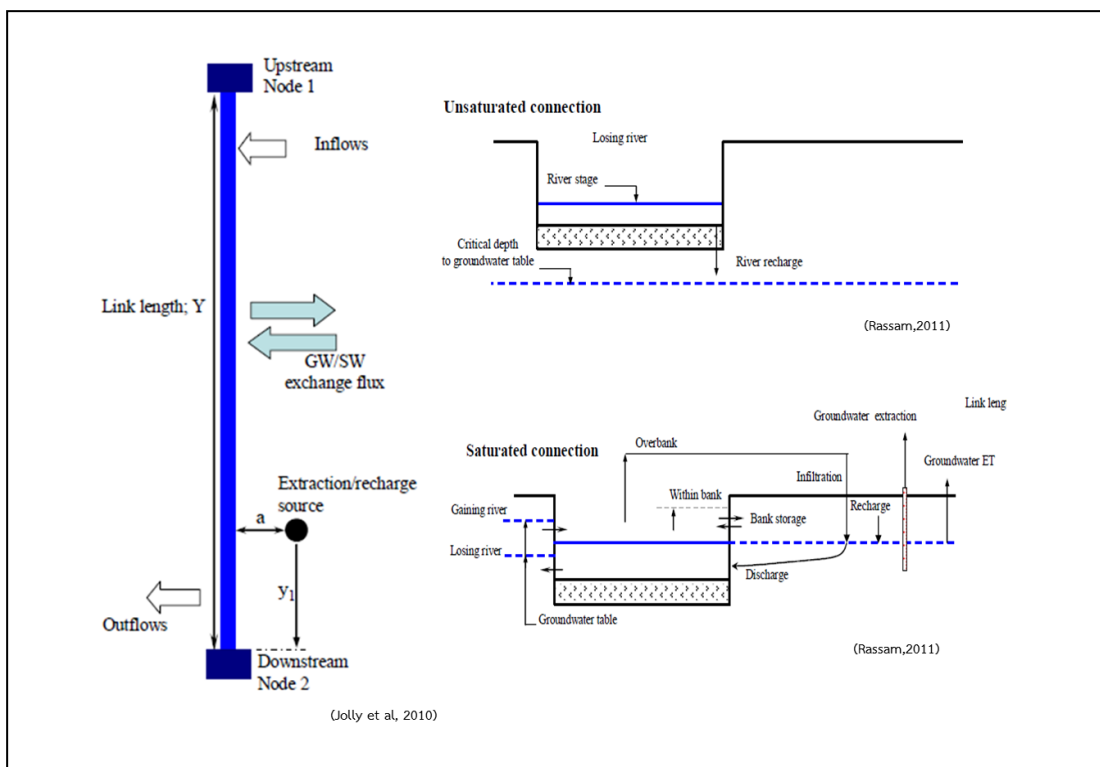
เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากการมีความรู้ที่ไม่เพียงพอหรือความผิดพลาดที่มีนัยสำคัญของแบบจำลอง เช่น ความผิดพลาดจากตัวแปรที่ใช้ ค่าข้อมูลปัจจัยตัวแปร (Input data) หรือความผิดพลาดจากบุคคลในการใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์ (Black,2011)

7. การรายงานผลแบบจำลอง (Model reporting)

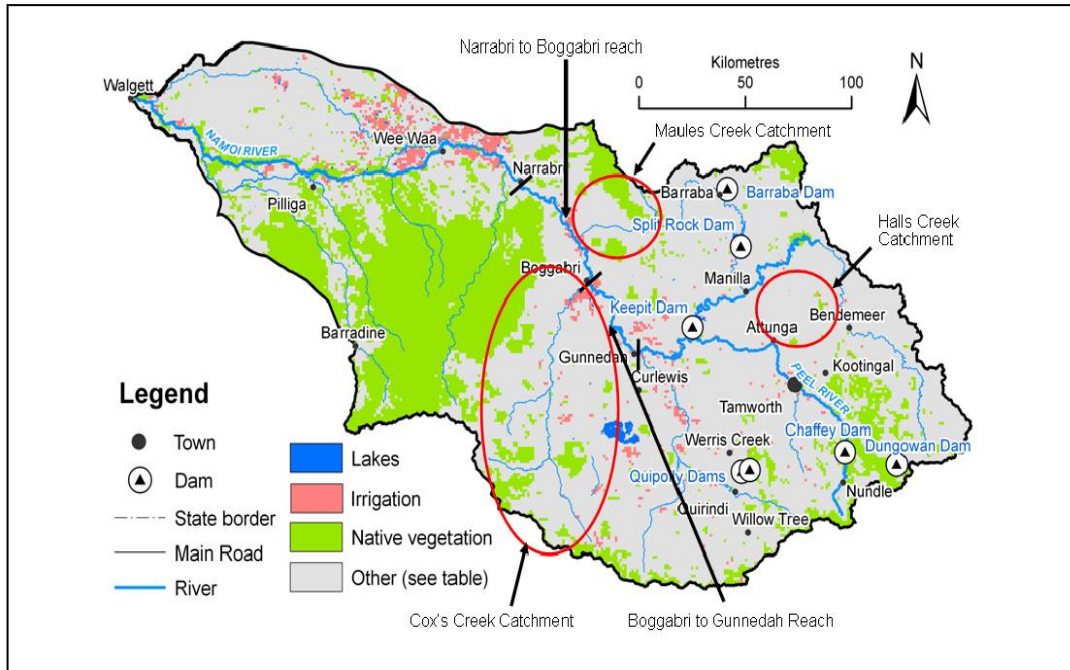
การรายงานผลแบบจำลอง จะเป็นการรายงานทางวิชาการที่ครอบคลุมเอกสารและกระบวนการการทำงานของแบบจำลองในแต่ละขั้นตอนที่แตกต่างกัน เนื้อหาของรายงานควรประกอบด้วยคำอธิบายลักษณะแบบจำลอง ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง ข้อมูลที่ได้สร้างขึ้นผ่านกระบวนการของแบบจำลอง ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์และข้อมูลสนับสนุนทั้งหมดที่สามารถนำเสนอในรายงานได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าว จะเป็นประโยชน์ในการนำกลับมาพิจารณาอีกครั้งในการทบทวนและปรับปรุงแบบจำลอง (Model review) (Barnett,2012)

การใช้แบบจำลองการบริหารจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดิน(ประเทศออสเตรเลีย)
(Modeling groundwater-surface water interaction in Australia)

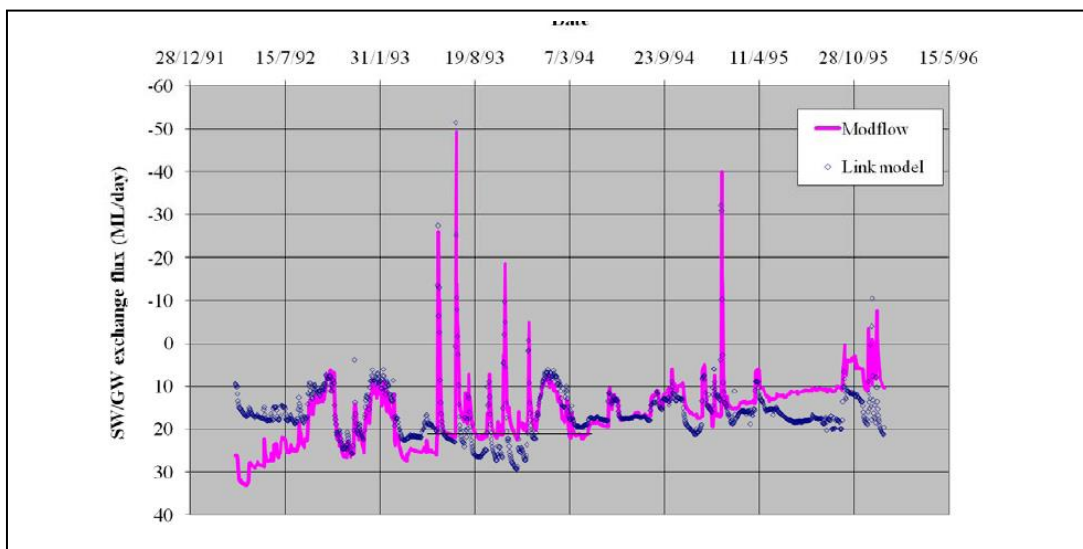
จากข้อตกลงความร่วมมือระหว่างรัฐ The National Water Initiative ได้นำไปสู่การดำเนินการเพื่อปรับปรุงการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศออสเตรเลีย การสร้างความมั่นใจในการลงทุนด้านน้ำในอนาคต (National Water Commission,2006) รวมทั้งการบริหารจัดการน้ำใต้ดินและผิวดิน เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศออสเตรเลียนั้น การสูบน้ำใต้ดินในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำผิวดินทำให้ปริมาณน้ำในแม่น้ำจะลดลง (Jolly *et al.*,2010) และส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง (Rassam,2011) เครื่องมือในการคาดการณ์ในความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างน้ำใต้ดินและผิวดินจึงเป็นเครื่องมือที่จำเป็นและช่วยสนับสนุนต่อการจัดสรรน้ำอย่างยั่งยืน โดยประเด็นดังกล่าว eWater Cooperative Research Center (eWater CRC) ได้ดำเนินโครงการ “Groundwater Surface Water Interaction Tool (GSWIT)” เพื่อศึกษาปริมาณและการถ่ายเทการไหลระหว่างระดับน้ำพื้นผิวน้ำใต้ดิน (Water Table) และแม่น้ำ (Jolly *et al.*, 2010) โดยการใช้แบบจำลอง “Sources River” เพื่อพิจารณาปริมาณและการถ่ายเทการไหลระหว่างจุดต้นน้ำและปลายน้ำ (Upstream and downstream nodes) ตลอดเส้นลำน้ำ จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญ คือ ปริมาณการสูบน้ำใต้ดิน (Groundwater extraction) และการระเหยของน้ำ (Evapotranspiration) การเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดิน (Aquifer recharge) และการเก็บกักน้ำของตลิ่ง (Bank storage) การเปลี่ยนแปลงทั้งหมดได้พิจารณา รวมถึงสภาพพื้นที่และช่วงเวลาที่จะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นและการลดลงในการถ่ายเทการไหลระหว่างน้ำใต้ดินและผิวดิน (Rassam,2011)



รูปที่ 3 แผนผังแนวคิดแบบจำลอง (Concept Model) แบบจำลอง “Sources River”



รูปที่ 4 พื้นที่ทดสอบแบบจำลอง “Sources River” (จาก Boggabri ถึง Narrabri) (Jolly *et al.*, 2010)



รูปที่ 5 ผลทดสอบเบื้องต้นจากแบบจำลอง “Sources River” ในพื้นที่ลุ่มน้ำ Namoi (Jolly *et al.*, 2010)

แบบจำลอง “Sources River” ได้นำไปทดสอบในพื้นที่ลุ่มน้ำ Namoi ทางตะวันออกของประเทศออสเตรเลีย ซึ่งเป็นแม่น้ำสาขาของลุ่มน้ำ Murray-Darling โดยผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การถ่ายเทการไหลระหว่างน้ำผิวดินและใต้ดินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำของแม่น้ำ ปริมาณการสูบน้ำใต้ดิน อัตราการการถ่ายเทระหว่างน้ำผิวดินและใต้ดิน และการเปลี่ยนแปลงการระเหยของน้ำ (Rassam, 2011)

2. จากการเปรียบเทียบผลการทดลอง (รูปที่ 5) กับแบบจำลอง MODFLOW ปรากฏว่าค่าที่ได้รับจากการทดสอบไม่สอดคล้องกับผลของแบบจำลอง MODFLOW (Jolly *et al.*, 2010) ซึ่งอาจจะเกี่ยวข้องกับเงื่อนไขธรรมชาติทางสภาพภูมิศาสตร์ โดยการเปลี่ยนแปลงระหว่างน้ำใต้ดินและผิวดินในพื้นที่ที่ไม่มีไหลหรือการถ่ายเท (no-flow boundary) ซึ่งห่างไกลจากพื้นที่ที่พิจารณาคุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำ (Heterogeneity) (Raminwong,2003) และความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ (Aquifers) มีผลต่อการถ่ายเทการไหลระหว่างน้ำผิวดินและใต้ดิน (Rassam,2011)

3.แบบจำลอง “Sources River” สามารถสนับสนุนการพยากรณ์การถ่ายเทปริมาณน้ำระหว่างน้ำผิวดินและใต้ดินได้ดีในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมีปริมาณน้ำในแม่น้ำไหลน้อย (low-flow) (Rassam,2011)

การประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง (Evaluation of Modeling Tools)

จากความแตกต่างตามลักษณะและเป้าหมายของโครงการ การวิเคราะห์การบริหารจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดินได้เชื่อมโยงไปสู่การประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง การใช้แบบจำลองในการวิเคราะห์นั้น จำเป็นจะต้องเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก การต้องการเวลาในการศึกษาและใช้งานแบบจำลอง การพัฒนาแบบจำลอง (Model development) การปรับเทียบแบบจำลอง (Model calibration) และการพยากรณ์สถานการณ์ (Predictive scenarios) ดังนั้น การดำเนินการดังกล่าว จะต้องพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลอง ค่าใช้จ่ายในการนำแบบจำลองมาใช้งาน ความยากง่ายและความสามารถในการผนวกการใช้งานกับฟังก์ชันใหม่ในการใช้งาน รวมถึงความสามารถในการแสดงผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS)

Evaluation Criteria		Priority	Definition of Rankings			
#	Description		0	1	2	3
1	Regulatory Acceptance	1	New product, not known to most regulators	Known to some regulatory users	Known to most regulatory users	Industry Standard
2	Cost	1	High	Moderate	Low	Public Domain
3	Ease of Use (Interface)	1	No interface available	Basic Built-in or public domain GUI* available	Proprietary GUI available	Extensive Built-in GUI available
4	Intermodel Connectivity	1	Not Feasible	Possible but difficult	Can be easily coupled with other models	Fully integrated, therefore not applicable
5	GIS Integration	1	None	Some GIS ArcView extension available to aid in preprocessing	Some GIS ArcView extensions available to aid in pre- and postprocessing	Comprehensive GIS tools available for pre- and postprocessing
6	Service & Support	1	Not available	Available but difficult to obtain	Readily available at moderate cost	Readily available at low cost
7	Model Limitations	1	Specialized Model	Limiting	Moderately limiting	Minimally limiting
8	Limit on Model Size	1	Very High	Moderate	Minimal	None
9	Expandability	2	Very difficult to add new program components	Not Applicable	Not Applicable	Relatively easy to add new program components
10	Platform-Flexibility of Operating System	2	Only usable on Linux or Unix systems	DOS Only	WinNT, Win95, Win98	WinNT, Win95, Win98, Unix, Dos, Linux
11	Experience Required	2	Extensive	Moderate to Extensive	Moderate to Minimal	Minimal
12	Percent of Market Share	2	Still in Development/ Used in University	Minimal Number of Users	Moderate Number of Users	Extensive Number of Users
13	Documentation and Training	2	Not Available	Little	Moderate	Extensive

*GUI – Graphical User Interface

รูปที่ 6 ตารางแสดงเกณฑ์การประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง (Camp Dresser & McKee, 2001)

สำหรับการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง (รูปที่ 6) สามารถสรุปประเด็นการประเมินได้ดังนี้

1. ด้านการยอมรับในการใช้งาน (Regulatory Acceptance) การยอมรับในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้งานของผู้ใช้ โดยการประเมินที่มีค่าการประเมินสูง ได้แก่ แบบจำลองที่นิยมใช้โดยทั่วไป เช่น MODFLOW หรือ SWMN และแบบจำลอง/ผลิตภัณฑ์ใหม่ จะมีค่าในการประเมินที่ต่ำ
2. ต้นทุนการใช้แบบจำลอง (Cost) แบบจำลองที่ค่าใช้จ่ายที่ต่ำหรือเป็นแบบจำลองที่สามารถเข้าถึงได้สาธารณะ จะให้ค่าการประเมินที่สูงกว่าแบบจำลองที่มีค่าใช้จ่ายที่หรือมีต้นทุนที่สูง
3. ความยากง่ายในการใช้งาน (Ease of Use) การประสาน/ผนวกการใช้งานด้านรูปภาพ (Graphics) เข้ากับโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมที่มีความสามารถดังกล่าวจะได้รับการประเมินค่าสูงและแสดงถึงประสิทธิภาพของแบบจำลอง
4. ความสามารถในการเชื่อมโยงกับแบบจำลองอื่นๆ (Intermodel connectivity) โดยความสามารถดังกล่าว ทำให้สามารถวิเคราะห์ความเชื่อมโยงได้หลากหลายมากขึ้น เช่น แบบจำลอง MODFLOW สามารถเชื่อมโยงกับโปรแกรมหรือแบบจำลองอื่นๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อมโยงระหว่างน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน
5. การผนวกเข้ากับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS integration) เทคโนโลยีด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้ถูกพัฒนาสำหรับการจัดการบริหารข้อมูลเชิงพื้นที่และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองและการแสดงผลการวิเคราะห์ โดยแบบจำลองที่มีความสามารถในการผนวกเข้ากับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) จะได้รับการประเมินค่าที่สูง
6. การสนับสนุนและการให้บริการ (Service and Support) ประเด็นที่สำคัญประเด็นหนึ่งคือความสามารถในการให้การสนับสนุนและบริการของผู้ผลิตแบบจำลอง โดยบางแบบจำลองนั้น อยู่ในขั้นของการพัฒนา ดังนั้น อาจเกิดข้อจำกัดในการขอรับการสนับสนุนและการให้บริการ
7. ข้อจำกัดของแบบจำลอง (Model limitations) แบบจำลองที่มีการใช้งานที่จำกัดและเฉพาะเจาะจงนั้น จะได้รับค่าการประเมินที่ต่ำ ในส่วนแบบจำลองที่มีเครื่องมือในการใช้งานทั่วไป (generic tools) และมีการใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย (variety of applications) จะได้รับค่าการประเมินที่สูง
8. ข้อจำกัดด้านขนาดของแบบจำลอง (Limit on model size) ซึ่งแบบจำลองที่มีขนาดที่ใหญ่มาก จะได้รับค่าในการประเมินที่ต่ำ
9. การเพิ่มฟังก์ชันโปรแกรม (Expandability) จะเกี่ยวข้องกับความยากง่ายในการเพิ่มฟังก์ชันใหม่ของโปรแกรม เช่น MODFLOW อาจง่ายต่อการดำเนินการ ในขณะที่ MIKE SHE อาจจะมีข้อยุ่งยากในการดำเนินการ
10. การใช้งานร่วมกับระบบปฏิบัติการ (Platform-flexibility of Operating System) ค่าการประเมินที่สูงนั้น จะเหมาะสมกับแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้งานร่วมกับระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย เช่น Microsoft Window, UNIX, และ Linux
11. ความต้องการประสบการณ์ในการใช้งาน (Experience required) ความต้องการในการสะสมประสบการณ์ในการใช้แบบจำลองมีผลต่อระยะเวลาที่ต้องการในการฝึกอบรม และเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการใช้งานแบบจำลอง ค่าการประเมินนั้น จะพิจารณาประเด็นที่เกี่ยวข้องกับความซับซ้อนของแบบจำลอง ขอบเขตของความสามารถในการใช้แบบจำลอง รวมถึงความซับซ้อนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ
12. ส่วนแบ่งการตลาด (Percent of market share) โดยขนาดของส่วนแบ่งตลาดจะสามารถสะท้อนได้ถึงความยอมรับในการใช้งานแบบจำลอง โดยเป็นแบบจำลองที่มีการใช้ประโยชน์ได้หลากหลายในการวิเคราะห์ที่มีต้นทุนที่เหมาะสม และสามารถผนวกเข้ากับแบบจำลอง/ฟังก์ชันใหม่ของโปรแกรมได้ดี
13. การฝึกอบรมและเอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (Documentary and training) การฝึกอบรมและเอกสารดังกล่าวจะทำให้สามารถเข้าใจแบบจำลองในการพัฒนา ข้อจำกัด และการใช้ประโยชน์ การเข้าถึงเอกสารที่เกี่ยวข้องได้ง่าย จะลดเวลาในการค้นหาและการเรียนรู้การใช้แบบจำลอง (Camp Dresser & McKee, 2001)

สรุป (Conclusion)

จากแนวทางการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำแบบผสมผสาน (Integrated Water Resources Management: IWRM) ได้นำไปสู่ความเชื่อมโยงในการบริหารจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดิน การศึกษาและสร้างความเข้าใจในการบริหารจัดการที่ซับซ้อนดังกล่าวให้ประสบความสำเร็จได้นั้น จำเป็นจะต้องมีเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจ และการกำหนดเป้าหมายในการบริหารจัดการอย่างชัดเจน เพื่อกำหนดทิศทางและทางเลือกในการบริหารจัดการ รวมถึงการพัฒนาศักยภาพองค์กรลุ่มน้ำให้มีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างขีดความสามารถของบุคลากร การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี การกำหนดบทบาทและความรับผิดชอบของหน่วยงานและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียอย่างชัดเจน ซึ่งจากความท้าทายด้านน้ำที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน การบริหารจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับผิวดิน จะสามารถสนับสนุนให้เกิดความหลากหลายในการบริหารจัดการ รวมทั้งการพร้อมรับต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความมั่นคงทางอาหาร ทรัพยากรน้ำและพลังงานในอนาคต

เอกสารอ้างอิง (References)

Barnett et al, 2012, *Australian groundwater modelling guidelines*, Waterlines report, National Water Commission, Canberra, retrieved from : <http://www.groundwater.com.au/media/W1siZiIsIjIwMTIvMTAvMTcvMjFfNDZfMzZfOTYwX0F1c3RyYWxpYW5fZ3JvdW5kd2F0ZXJfbW9kZl9xsaW5nX2d1aWRlOGluZXMucGRml1d/Australian-groundwater-modelling-guidelines.pdf>

Black,D.,Wallbrink,P.,Waters,D.,Carroll,C.,&Blackmore,J,(2011),*Guideline for Water Management modeling, Toward best-practice model application*, Department of Sustainability, Environment, Water, Population and Communities, Department of Innovation, Industry, Sciences and Research, and National Water Commission, Australian Government, retrieved form : <http://www.ewater.com.au/publications/guidelines-for-water-management-modelling/>

Camp Dresser & McKee, (2001), *Evaluation of Integrated Surface Water and Groundwater Modelling Tools*, Camp Dresser & McKee, Water Resources, Research & Development Program, retrieved from : http://www.mikebydhi.com/upload/dhisoftwarearchive/papersanddocs/waterresources/MSHE_Code_Evaluations/CDM_ISGW_Report.pdf

Environment Canada,(2013),*The Hydrologic Cycle*, Water Basics, Water, Environment Canada, retrieved from : <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=En&n=23CEC266-1#evaporation1>

Jolly,I.,Rassam,D.,Pickett,T.,Gilfedder,M.,&Stenson,M,(2010), *Modelling groundwater-surface water interactions in the new generation of river systems models for Australia*, Groundwater 2010, The challenge of sustainable management, 13 October – 4 November 2010, National Convention Center, Canberra, retrieved form : http://www.ewater.com.au/uploads/files/Jollylan_000.pdf

Michigan Department of Environmental Quality (MDEQ),(2014), *Groundwater Modeling, Remediation and Redevelopment Division Resources Materials*, MDEQ, retrieved from: http://www.michigan.gov/documents/deq/deq-rd-GroundwaterModelingGuidance_447643_7.pdf

National Water Commission.,(2006),*The National Water Initiative (NWI)*, Introduction to AWR 2005, National Water Commission, Australian Government, retrieved from: http://www.water.gov.au/introductiontoawr2005/TheNationalWaterInitiative/index.aspx?Menu=Level1_2_3

Park,C,(2011), *Oxford Dictionary of Environment and Conservation*, Oxford University Press Inc., New York

Rassam, D. W., (2011). *A conceptual framework for incorporating surface-groundwater interactions into a river operation-planning model*. *Environmental Modelling & Software*, 26(12), 1554-1567, retrieved from : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815211001800>

Raminwong,T,(2003), *Groundwater, Faculty of Science, Chiang Mai University*, ISBN 974-658-043-4, retrieved from: <http://it.geol.science.cmu.ac.th/gsc/courseware/groundwater/documents/Groundwater.pdf>

Royal Irrigation Department (RID), (2010), *Glossaries of irrigation and drainage*, Royal Irrigation Department, retrieved from : http://www.tumcivil.com/engfanatic/media/RID_vocab/RID_Vocaburary.pdf

U.S. Geological Survey's (USGS),(2014), *The Water Cycle, Water Science for School*, (USGS), retrieved from <http://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>

Welsh, W. D., Vaze, J., Dutta, D., Rassam, D., Rahman, J. M., Jolly, I. D.,& Lerat, J. (2013). *An integrated modelling framework for regulated river systems*,*Environmental Modelling & Software*, 39, 81-102.