บทที่ 2
แบบจำลองและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

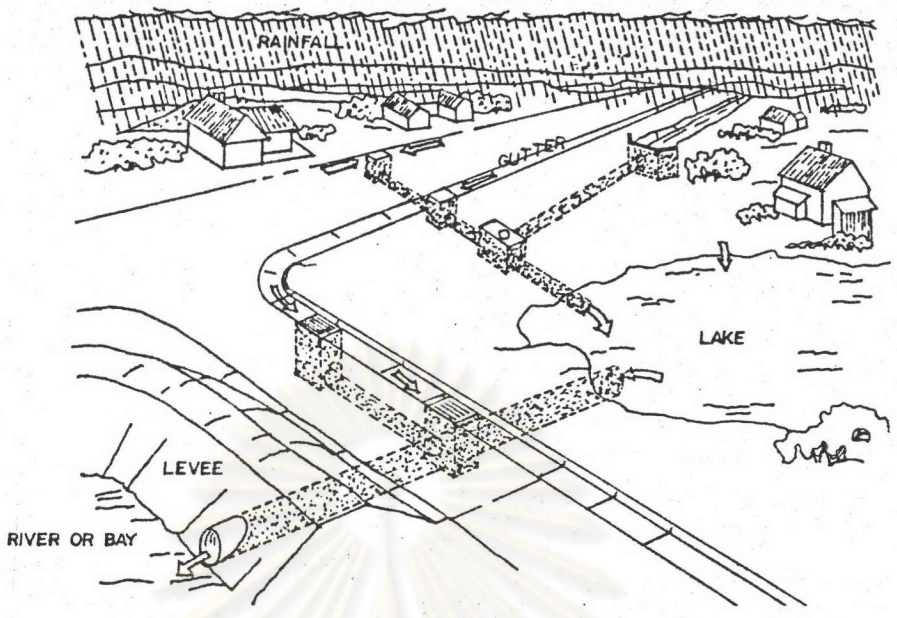
ในบทนี้จะกล่าวถึงการจัดระบบระบายน้ำและประเภทต่าง ๆ ของแบบจำลองระบายน้ำในเขตเมือง และจะกล่าวโดยสังเขปถึงแบบจำลอง SWMM ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้ โดยจะกล่าวรายละเอียดของทฤษฎีสำหรับเฉพาะในส่วนที่จะนำมาใช้ในการศึกษาเท่านั้น คือ RUNOFF Block และ EXTRAN Block

2.1 ระบบระบายน้ำในเขตเมือง

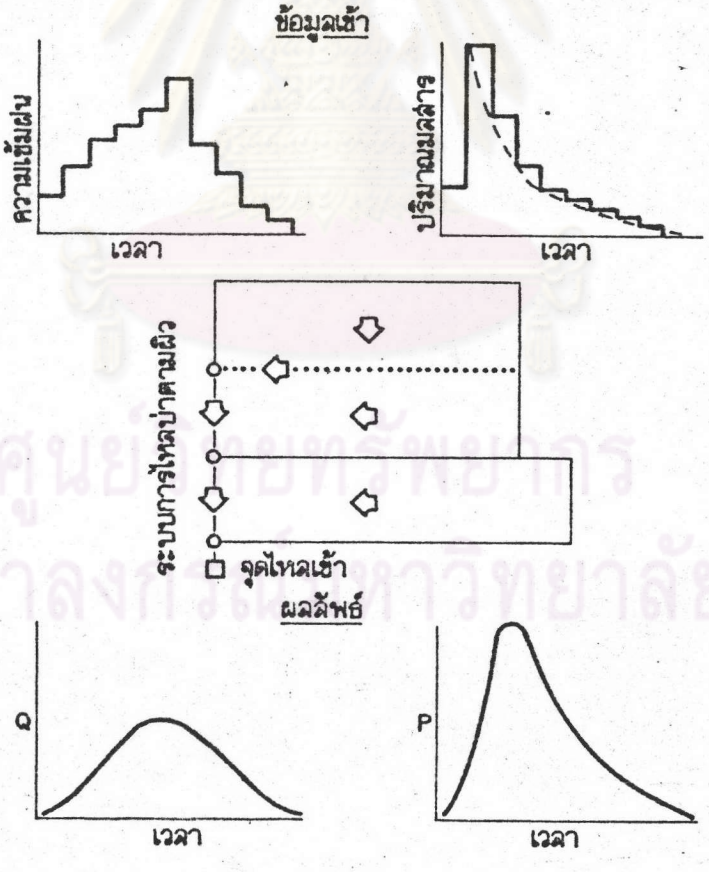
ลักษณะที่สำคัญของระบบระบายน้ำในเขตเมืองก็คือ มีการจัดสร้างทางเดินของน้ำแบบทึบน้ำ (impervious pathway) สำหรับใช้นำน้ำไหลออกจากพื้นที่ระบายน้ำ เช่น มีการจัดสร้างรางระบายน้ำขอบถนน (gutter), ทางระบายน้ำริมทาง, คลองดาดผิวด้วยคอนกรีต, ลานจอดรถดาดผิว, ถนนลาดยาง หรือถนนคอนกรีตพร้อมทั้งท่อระบายน้ำสองข้างขอบถนน เป็นต้น ระบบระบายน้ำประกอบด้วยอาคารระบายน้ำ และควบคุมน้ำ หรือไม่ก็เป็นอาคารสำหรับปรับปริมาณ, อัตราการไหล หรือคุณภาพของน้ำท่า จากพื้นที่ในเขตเมือง เช่น พื้นที่รับน้ำ (catch basins), พื้นที่พักน้ำ (storage basin), ทางน้ำเข้า (inlet), บ่อพัก (manhole), บ่อดักตะกอน (sediment traps), ฝาย และอาคารระบายน้ำออก (outfall structures) ดังรูปที่ 2-1 แสดงตัวอย่างระบบระบายน้ำในเมือง ประกอบด้วยพื้นที่รับน้ำแปลงย่อยซึ่งเป็นตัวรวบรวมน้ำฝนที่ตกลงมาไหลลงสู่ท่อระบายน้ำ แล้วไหลลงสู่แหล่งรับน้ำ (receiving water) ระบบระบายน้ำในเขตเมืองจำแนกตามคุณสมบัติได้ 3 ระบบย่อยคือ 1) น้ำหลากผิวดิน (surface runoff) 2) การขนส่งน้ำผ่านทางระบายน้ำ (transport through drainage facilities) และ 3) แหล่งรับน้ำ (receiving water) ซึ่งจะกล่าวโดยสังเขปในหัวข้อต่อไป

2.2 ระบบย่อยของน้ำท่าผิวดิน (surface runoff subsystem)

ระบบย่อยของน้ำท่าผิวดิน แสดงไว้ในรูปที่ 2-2 อธิบายถึงการไหลของน้ำหลากผิวดิน (overland surface flow) จากฝนส่วนเกินของพื้นที่รับน้ำแปลงย่อยไหลเข้าสู่ทางส่งน้ำของระบบระบายน้ำพื้นที่รับน้ำอาจจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า, รูปสามเหลี่ยม หรือรูปใด ๆ ก็ได้ มีทางระบายน้ำเล็ก ๆ แสดงด้วยเส้นไข่ปลา เพื่อรับน้ำจากพื้นที่รับน้ำ มีรางระบายน้ำ (drainage ditch) แสดงด้วยเส้นประเพื่อรับน้ำจากทางระบายน้ำเล็ก ๆ หรือจากพื้นที่รับน้ำแล้วส่งเข้าสู่ทางเข้าสู่ท่อระบายน้ำ การแบ่งพื้นที่รับน้ำแปลงย่อยจะอาศัยหลักการแบ่งโดยพิจารณาคุณสมบัติของแต่ละพื้นที่ คือ ความทึบน้ำ (imperviousness) ใช้แนวถนน, แนวสันเนิน (ridge), ความลาดชัน



รูปที่ 2-1 ระบบระบายน้ำในเขตเมือง



รูปที่ 2-2 ระบบย่อยของน้ำท่าผิวดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากพื้นที่ (slope), ความขรุขระชลศาสตร์ (hydraulic roughness), แหล่งกำเนิดน้ำเสีย, ลักษณะการใช้พื้นที่ (land use), และสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่าผิวดินจากพื้นที่ เป็นต้น ขบวนการของน้ำท่าผิวดินในระบบย่อย ๆ นี้ สามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ ข้อมูลนำเข้าทางอุทกวิทยา (hydrologic input) และขบวนการของน้ำหลากผิวดิน (overland flow process)

2.2.1 ข้อมูลนำเข้าทางอุทกวิทยา (hydrologic input)

ข้อมูลนำเข้าทางอุทกวิทยาสู่ระบบในที่นี้ หมายถึง ปริมาณของน้ำฝนที่เข้าสู่พื้นที่รับน้ำฝนย่อย ๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดน้ำท่าผิวดินขึ้น โดยธรรมชาติแล้วการเกิดของฝนจะมีรูปแบบการกระจายซึ่งสามารถนำมาพิจารณาได้ 2 รูปแบบ คือ การกระจายของความเข้มฝนกับพื้นที่และการกระจายของความเข้มฝนกับช่วงเวลา (duration) ในส่วนของการกระจายกับพื้นที่นั้นสามารถจะหาได้ถ้ามีความหนาแน่นของสถานีตรวจวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติ (automatic recording) เพียงพอ แต่เท่าที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ข้อมูลการกระจายของฝนกับพื้นที่ มักจะเป็นปัญหาอยู่มาก เพราะโดยทั่วไปยังไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติหนาแน่นเพียงพอ ดังนั้นการแบ่งพื้นที่รับน้ำออกเป็นพื้นที่แปลงย่อย จึงมีความสำคัญมากเพื่อให้สมมุติฐานในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของน้ำฝนและน้ำท่าที่ว่า ความเข้มฝนที่ตกในพื้นที่รับน้ำฝนย่อย ๆ มีความเข้มสม่ำเสมอ เป็นที่ยอมรับได้ ส่วนการกระจายความเข้มฝนกับช่วงเวลานั้นสามารถจะหาได้จากข้อมูลฝนของเครื่องวัดน้ำฝนแบบอัตโนมัติโดยตรง โดยทำการวิเคราะห์ในรูปแบบการกระจายของความเข้มฝนกับช่วงเวลา ที่เรียกว่าแผนภูมิของฝน (rainfall hyetograph) ดังรูปที่ 2-2 การกระจายของฝนนี้จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปในแต่ละภูมิภาคซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิศาสตร์กายภาพของแต่ละพื้นที่

2.2.2 ขบวนการไหลบ่าของน้ำหลากผิวดิน (overland flow process)

ขบวนการไหลบ่าของน้ำหลากผิวดินในที่นี้ หมายถึง ขบวนการที่เปลี่ยนจากน้ำฝนมาเป็นน้ำของผิวดิน หรือบางครั้งจะเรียกว่า ฝนส่วนเกิน (rainfall excess) ซึ่งเป็นส่วนที่ต้องการระบายออกจากพื้นที่รับน้ำฝน ขบวนการดังกล่าวก็คืออัตราการสูญเสีย (loss rate) ของน้ำฝนบนพื้นที่รับน้ำฝน ซึ่งสำหรับพื้นที่ในเขตเมือง แล้วจะพิจารณาว่าเกิดขึ้นเนื่องจาก 2 ขบวนการหลัก คือ ความสามารถในการซึมของน้ำลงดิน (infiltration) และการกักเก็บบนผิวดิน (surface storage) ของพื้นที่

2.2.2.1 การซึมผ่านของน้ำลงดิน (infiltration) คือ ขบวนการที่น้ำซึมผ่านผิวดินลงสู่พื้นดิน มีองค์ประกอบหลายประการที่มีอิทธิพลต่ออัตราการซึมผ่าน (infiltration rate)

ประกอบด้วยเงื่อนไขของชั้นผิวดิน และพืชคลุมดิน คุณสมบัติของดินในลักษณะของความพรุน (porosity) และการนำชลศาสตร์ (hydraulic conductivity) รวมทั้งความชื้นในดิน (moisture content)

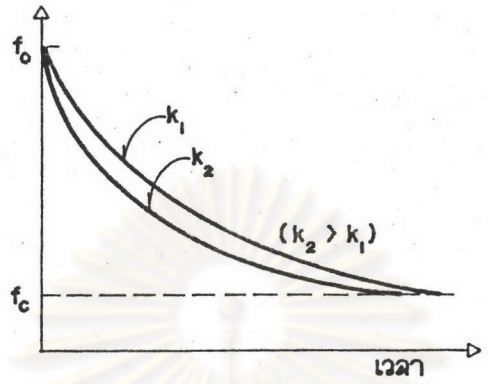
การซึมผ่านเป็นขบวนการที่สำคัญมากสำหรับพื้นที่ซึมน้ำ (pervious areas) ในเมือง เนื่องจากการสูญเสียของน้ำฝนจะขึ้นอยู่กับขบวนการนี้เป็นหลัก การวิเคราะห์เกี่ยวกับการซึมผ่านได้มีผู้ทำการศึกษาไว้เป็นจำนวนมากในแต่ละพื้นที่ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีที่ใช้ในแบบจำลอง SWMM ซึ่งใช้ในพื้นที่ของเขตเมือง คือ สมการของฮอร์ตัน (Horton equation) ฮอร์ตันเป็นผู้เสนอขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ.2483 โดยอาศัยการวิเคราะห์จากข้อมูลอัตราการซึมผ่านของน้ำลงดินที่ได้จากการตรวจวัด และพบว่า การซึมผ่านจะลดลงเป็นฟังก์ชั่นเอกโพเนนเชียล (exponentially decreases) กับเวลาในช่วงแรกและจะลดลงจนมีค่าคงที่ที่ค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2-3 (สมการที่ฮอร์ตันเสนอดังในสมการที่ (2.4))

2.2.2.2 การกักเก็บบนผิวดิน (surface storage) เป็นการสูญเสียของน้ำฝนในพื้นที่รับน้ำที่สำคัญอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนคือ การเก็บกัก (retention) เป็นส่วนที่ขังอยู่บนผิวดิน เป็นระยะเวลานาน ไม่มีการไหลออกจากแหล่งกักเก็บ แต่จะหมดไปโดยการระเหยหรือการซึม ได้แก่ การกักเก็บตามหลุมบ่อผิวดินและแอ่งน้ำต่าง ๆ เป็นต้น ส่วนที่ 2 ได้แก่ การหน่วงน้ำ (detention) เป็นส่วนที่ขังอยู่บนผิวดินชั่วคราว กล่าวคือ เป็นส่วนที่ขังอยู่บนดินที่จะเกิดเป็นน้ำนองผิวดินต่อไป โดยจะเกิดขึ้นตั้งแต่ความเข้มฝนเท่ากับอัตราซึมของน้ำลงดิน และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นในขณะที่ฝนยังตกต่อเนื่อง ก็จะทำให้เกิดปริมาณน้ำขังอยู่บนผิวดินเป็นชั้นน้ำที่มีความลึกขึ้นอยู่กับความเข้มฝนและคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของพื้นที่รับน้ำฝน และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหลากผิวดิน รวมทั้งจะสิ้นสุดลงในเวลาเดียวกัน

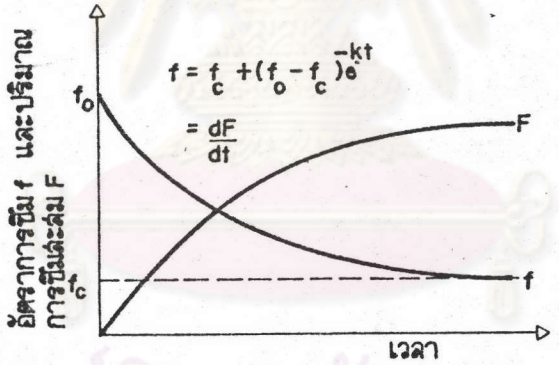
จากรายละเอียดของข้อมูลนำเข้าทางอุทกวิทยา และขบวนการน้ำหลากผิวดินดังได้กล่าวแล้วนั้น สรุปได้ว่า เมื่อมีฝนตกในพื้นที่รับน้ำฝนในเมืองแล้วก็จะมีการสูญเสียของน้ำฝนเกิดขึ้นเนื่องมาจากการซึมผ่านและการขังตามผิวพื้นที่เป็นหลัก ถ้ามีปริมาณของฝนที่ตกมากกว่าการสูญเสียแล้วก็จะเกิดน้ำท่าผิวดินไหลบ่าไปตามพื้นผิว และร่องน้ำสู่ระบบย่อยของการขนส่งน้ำ (transport subsystem) ต่อไป

2.3 ระบบย่อยของการขนส่งน้ำ (transportation subsystem)

ระบบย่อยของการขนส่งน้ำในที่นี้ หมายถึง องค์ประกอบของระบบงานทางกายภาพที่ใช้สำหรับขนส่งน้ำท่าจากทางส่งน้ำเข้าระบบระบายน้ำ ซึ่งประกอบด้วย ท่อหรือทางน้ำเปิดทั้งที่อยู่บนดิน และใต้ดินเชื่อมกันเป็นระบบโครงข่ายเพื่อระบายน้ำฝน สู่แหล่งการถ่ายเท (points of disposal) การเคลื่อนตัวไปตามระยะทางจากจุดส่งน้ำ ไปสู่การไหลในทางระบายน้ำ จะมีรูป



(1) ผลการแปรผันค่า k



(2) อัตราการซึม และปริมาณการซึมสะสม

รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง การซึมผ่าน-เวลา โดยสมการของฮอร์ตัน

017365

แบบของการกระจายของอัตราการไหลกับเวลาที่เรียกว่า ชลภาพ (hydrograph) เปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการกักเก็บของระบบระบายดังแสดงในรูปที่ 2-4 รูปดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ (output) จากระบบการขนส่งคือ ชลภาพจากจุดทางน้ำเข้าที่จุดต่าง ๆ จะรวมกันและมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบกลายเป็นชลภาพที่เข้าสู่แหล่งรับน้ำ จะเห็นได้ว่าระบบย่อยของการขนส่งนี้เป็นระบบที่มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชลภาพ จากชลภาพเข้าสู่ระบบ (input hydrograph) ไปเป็นชลภาพออกจากระบบ (output hydrograph)

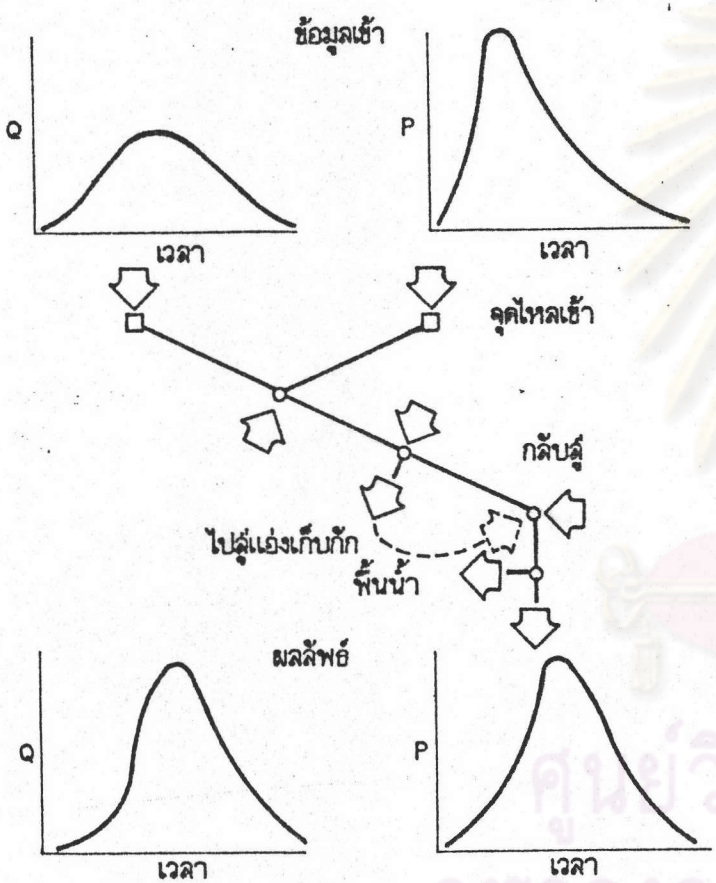
การคำนวณเกี่ยวกับระบบย่อยของการขนส่งนี้ คือ การคำนวณการหลาก (routing) ของชลภาพน้ำท่าผิวดิน (surface hydrograph) ผ่านโครงข่ายของท่อ/รางระบายน้ำ, จุดเชื่อมต่อ (junctions) และโครงสร้างผันน้ำ (diversion structures) ของระบบระบายหลัก (main drainage system) และออกสู่แหล่งรับน้ำ (receiving water) โดยธรรมชาติแล้วการไหลของน้ำในท่อ/รางระบาย จะเป็นการไหล 3 ทิศทาง (three-dimensional flow) แต่วิธีการคำนวณยุ่งยากสลับซับซ้อนต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาสูงมากในการหาคำตอบ รวมทั้งขาดแคลนข้อมูลเกี่ยวกับการไหลในแนวขวาง (cross sectional flow) ดังนั้น การคำนวณการไหลในท่อ/รางระบาย จึงถูกพัฒนาให้วิธีการคำนวณเป็นการประมาณในรูปแบบที่ง่ายขึ้น คือ การไหลในแบบทิศทางเดียว (one-dimensional flow) โดยมีสมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณ คือ สมการของการไหลที่เปลี่ยนแปลงกับระยะทาง แบบค่อย ๆ เปลี่ยน และแปรเปลี่ยนตามเวลา (the gradually varied unsteady flow equation) ซึ่งมีรูปสมการดังสมการที่ (2.7)

2.4 ระบบย่อยของแหล่งรับน้ำ (receiving water subsystem)

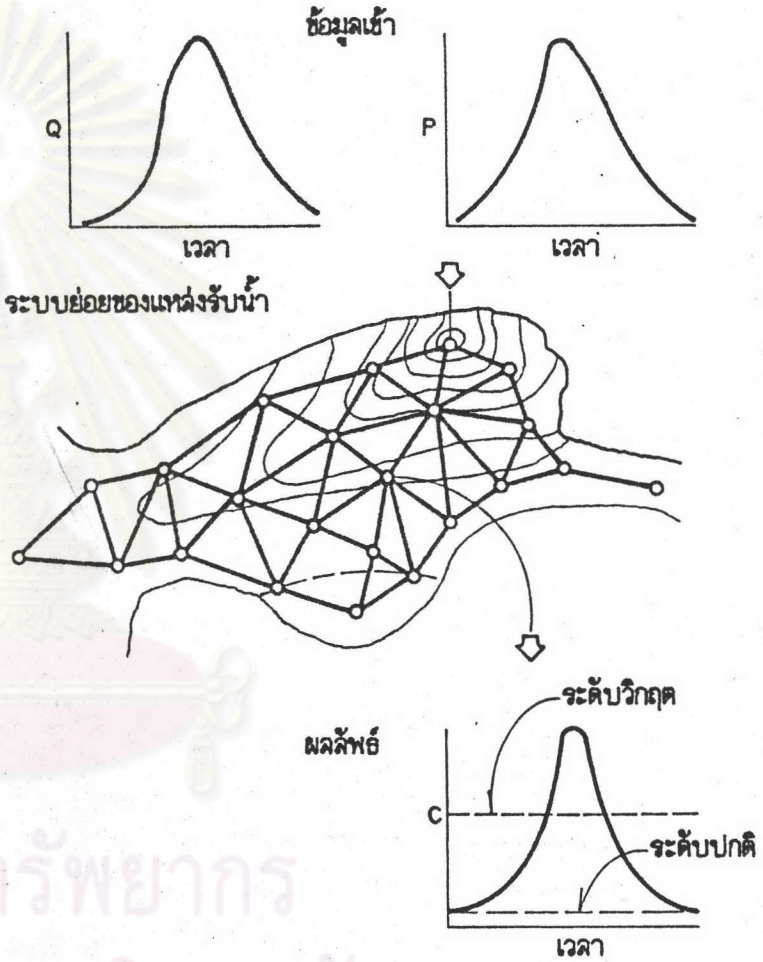
ระบบย่อยของแหล่งรับน้ำจะมีลักษณะต่าง ๆ กันในหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่ เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ บึง ปากแม่น้ำ หรือชายฝั่งทะเล เป็นต้น ดังรูปที่ 2-5 ระบบย่อยนี้จะมีผลกระทบต่อการกำหนดระบบย่อยของการขนส่งน้ำ เนื่องจากระดับผิวน้ำของแหล่งรับน้ำจะมีผลกระทบต่อความสามารถในการไหล ณ จุดทางออก (outlet) ของระบบการขนส่งสู่แหล่งรับน้ำ ดังนั้นการพิจารณาออกแบบ ขนาดและชนิดของจุดทางออกของระบบการขนส่ง เพื่อระบายน้ำสู่แหล่งรับน้ำจำเป็นต้องคำนึงถึงระดับน้ำของแหล่งรับน้ำด้วย

2.5 ระบบระบายน้ำรวม (combined sewer subsystem)

ระบบระบายน้ำในเขตเมืองอาจแยกระบบระบายน้ำฝน และระบบระบายน้ำเสียออกจากกันก็ได้ กรณีเช่นนี้เรียกว่าระบบระบายน้ำแยก แต่ก็มีเมืองเป็นจำนวนมากที่รวมระบบระบายน้ำฝนและระบบระบายน้ำเสียเข้าด้วยกัน กรณีนี้เรียกว่าระบบระบายน้ำรวม กรณีที่เป็นระบบระบายน้ำรวม, ในช่วงฤดูแล้ง น้ำที่ไหลในระบบระบายน้ำรวมส่วนใหญ่จะเป็นน้ำเสียจากเคหะสถาน, โรง



รูปที่ 2-4 ระบบย่อยของการขนส่งน้ำ



รูปที่ 2-5 ระบบย่อยของแหล่งรับน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

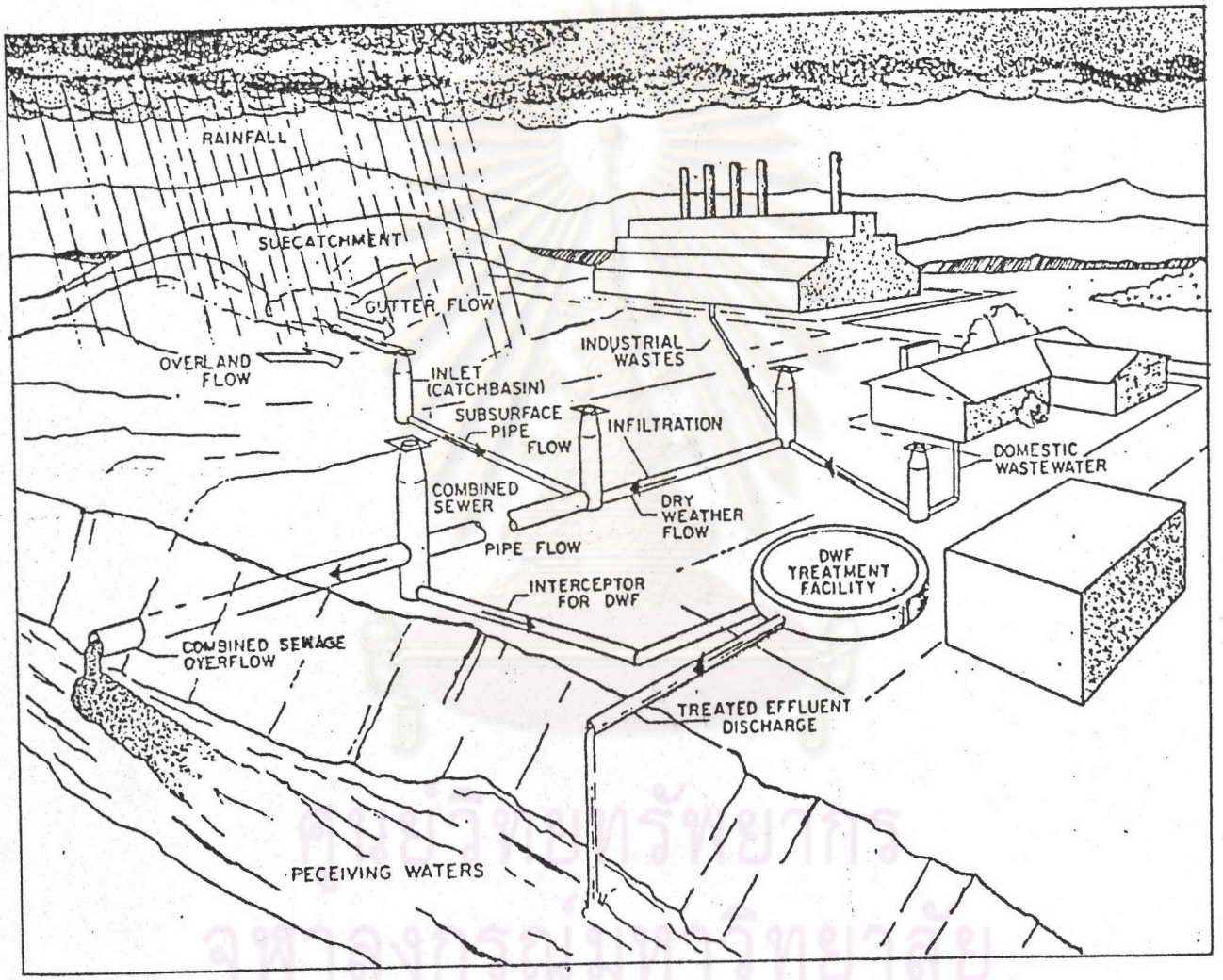
งานอุตสาหกรรม เป็นต้น ปริมาณน้ำส่วนนี้จะถูกส่งเข้าโรงกำจัดน้ำเสียเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นระดับหนึ่งเสียก่อนแล้วจึงระบายลงสู่แหล่งรับน้ำ ส่วนในช่วงฤดูฝนน้ำที่ไหลในระบบระบายน้ำรวมส่วนใหญ่จะเป็นน้ำฝน จึงมักจะระบายน้ำลงสู่ระบบแหล่งรับน้ำโดยตรง การทำเช่นนี้จะเกิดผลกระทบต่อระบบแหล่งรับน้ำได้ เพื่อที่จะลดผลกระทบดังกล่าวจะต้องออกแบบระบบระบายน้ำรวมให้สามารถจัดการควบคุมน้ำได้ตามต้องการ โดยบางครั้งอาจจะต้องการกักน้ำไว้ในช่วงการไหลด้านเหนือน้ำ หรือไม่ก็จะต้องส่งน้ำส่วนหนึ่งเข้าสู่โรงกำจัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยให้ไหลลงสู่ระบบระบายน้ำ หรือระบบแหล่งรับน้ำ งานออกแบบและการจัดการระบบระบายน้ำรวมจึงเป็นงานที่สำคัญ ทั้งนี้เพราะบางครั้งจะต้องลดอัตราการไหลของระบบบางส่วนและจะต้องสร้างแบบจำลองน้ำจากพายุฝนในเขตเมืองอีกด้วย ระบบระบายน้ำรวมดังรูปที่ 2-6

2.6 ชนิดแบบจำลองการระบายน้ำในเขตเมือง

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองการระบายน้ำในเขตเมืองต่าง ๆ ที่ได้พัฒนาขึ้นมาใช้และมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายจากอดีตจนถึงปัจจุบัน แบบจำลองโดยทั่วไปจะใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์และแง่คิดในทางปฏิบัติมาใช้อธิบายปรากฏการณ์ ขบวนการทางกายภาพที่เกิดขึ้นทางด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์แล้ววิเคราะห์หาขอบเขตที่ยอมรับได้ของเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนออกแบบ และดำเนินการ เกี่ยวกับระบบระบายน้ำฝนส่วนเกินที่เกิดขึ้นในเขตเมือง เพื่อบรรเทาความเสียหายและภัยจากน้ำท่วมซึ่งมีผลกระทบต่อเขตเมือง รวมทั้งอันตรายจากสภาพแวดล้อมเป็นพิษจากน้ำเน่าเสียและมลภาวะในแหล่งรับน้ำต่าง ๆ ความเสียหายเหล่านี้จะทวีความรุนแรงของความเสียหายตามการพัฒนาของพื้นที่ให้เป็นเขตเมืองเพิ่มขึ้น หากไม่มีการวางแผน ออกแบบ และดำเนินการ เกี่ยวกับการระบายน้ำฝนและน้ำเสียที่เหมาะสม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการระบายน้ำต่าง ๆ ซึ่งได้มีผู้พัฒนาขึ้นมากมาย โดยบทบาทของแบบจำลองการระบายน้ำฝนในเขตเมืองถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยแก้ปัญหาในการหาคำตอบของปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากพายุฝนโดยจำลองเหตุการณ์จากสภาพจริง มาอธิบายด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะสามารถคาดคะเนถึงผลที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากพายุฝน ที่มีความเข้มฝนค่าต่าง ๆ ได้ โดยไม่ต้องรอให้เหตุการณ์เหล่านั้นเกิดขึ้นก่อน ทั้งยังเป็นวิธีการที่ประหยัด สะดวก และรวดเร็ว

แต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่มีใช้กันอยู่จนถึงปัจจุบัน ได้ถูกพัฒนาขึ้นมายังไม่อาจจะจำลองเหตุการณ์ของขบวนการจากของจริงได้ทั้งหมด บางครั้งจำเป็นต้องอาศัยการทดแทนด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ที่อาจจะไม่ตรงกับธรรมชาติจริง ๆ แต่จะต้องให้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งโดยทั่วไปมักจะต้องอาศัยการกำหนดขอบเขตเงื่อนไข (boundary conditions) ดังนั้น แบบจำลองจึงมักจะมีข้อจำกัดที่เหมาะสมกับปัญหาที่ต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับปัญหาและความต้องการในการพัฒนาและพื้นที่เป้าหมายที่จะนำไปใช้ ดังนั้นแบบจำลองแต่ละแบบจำลองที่จะถูกนำไปใช้ จึงต้องคำนึงถึง



รูปที่ 2-6 ระบบระบายน้ำรวม (Kibler et al., 2518)

ความเหมาะสมทั้งประเภทของงาน สภาพพื้นที่ ข้อมูลที่มีอยู่ และข้อจำกัดอื่น ๆ ที่มีอยู่ในแบบจำลองแต่ละแบบจำลอง

ปัญหาต่าง ๆ ที่ต้องการนำแบบจำลองไปใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาจะมีอยู่หลากหลายรูปแบบ แต่ถ้าพิจารณาถึงผลที่ต้องการจากการใช้แบบจำลอง อาจจะกล่าวได้โดยหลักใหญ่ ๆ 4 ประการ ที่ต้องการทราบคือ

1) การปรับสภาพน้ำเสียอย่างไร จึงจะดีกว่ากันระหว่างการใช้สถานี บำบัดย่อย ๆ กับการใช้สถานีใหญ่เพียงสถานีเดียวต่อพื้นที่โครงการ
2) ควรจะระบายน้ำฝนส่วนเกินส่วนไหนออกจากพื้นที่ และควรจะนำส่วนไหนสู่แหล่งกักเก็บน้ำชั่วคราว หรือถาวรอย่างไร
3) การกักเก็บน้ำฝนส่วนเกิน ควรจะให้มีระบบกักเก็บอย่างไร ระหว่างแหล่งกักเก็บย่อย ๆ หรือจะเลือกการกักเก็บด้วยแหล่งกักเก็บขนาดใหญ่อย่างไร
4) ขนาดและชนิดของระบบระบายอย่างไร จึงจะลดค่าใช้จ่ายและความเสี่ยงในการเกิดน้ำท่วมได้ดีกว่ากัน รวมทั้งสภาพความสกปรกของน้ำท่าที่เกิดขึ้น จะต้องอยู่ในระดับที่ยอมรับได้อย่างไร

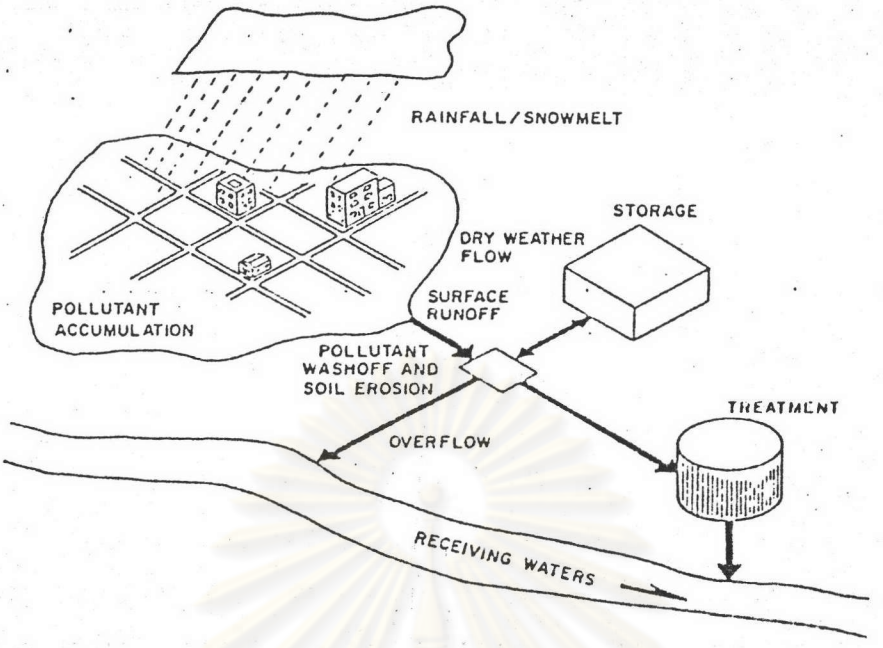
เห็นได้ชัดเจนว่าปัญหาทั้ง 4 ที่กล่าวมาข้างต้น มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันในบางส่วนของปัญหา เช่นเดียวกับแบบจำลองที่มีอยู่เป็นจำนวนมากนั้น จะมีส่วนประกอบคล้ายคลึงกัน เพราะฉะนั้นเป็นการสะดวกที่จะแยกประเภทของปัญหาออกเป็น 3 ระดับ เพื่อจะเลือกใช้แบบจำลองได้อย่างเหมาะสม คือ ระดับวางแผน ระดับวิเคราะห์/ออกแบบ และระดับดำเนินการและควบคุม ในระดับการวิเคราะห์วางแผน คือการพิจารณาเกี่ยวกับเงื่อนไขที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันเนื่องมาจากรูปแบบของการใช้ประโยชน์พื้นที่ ในรูปแบบต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับการเลือกระบบระบายน้ำฝน เช่น ผลที่จะเกิดจากการเลือกระหว่างแหล่งเก็บกัก กับการขนส่งน้ำฝนออกจากพื้นที่หรือแหล่งหน่วงน้ำกับการกำจัดน้ำเสีย ที่ระดับของการวิเคราะห์ ออกแบบ จะไม่เน้นที่จะตัดสินใจเกี่ยวกับชนิดของระบบ แต่จะเกี่ยวข้องกับการหาขนาดที่แท้จริงของส่วนต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นในรายละเอียดมากกว่าระดับการวางแผน ในระดับการดำเนินการและควบคุม จะเน้นการปรับปรุงการปฏิบัติงานของระบบการควบคุมทิศทาง และปริมาณการไหลของน้ำทั้งน้ำฝนและน้ำใช้จากอาคารบ้านเรือน เช่น การใช้ระบบการสูบ หรือประตูควบคุม เป็นต้น เพื่อผันน้ำสู่แหล่งกักเก็บ และแหล่งกำจัดน้ำเสีย เพื่อให้มีโอกาสน้อยที่สุดที่จะเกิดน้ำท่วมถนน และการล้นบ่าของน้ำเสียสู่แหล่งน้ำที่จะเป็นปัญหาต่อสุขภาพ การวิเคราะห์ในระดับนี้ต้องการรายละเอียดในการวิเคราะห์สูงที่สุด ดังนั้นจึงต้องการแบบจำลองที่สามารถใช้วิเคราะห์ในรายละเอียดมากที่สุดเท่าที่มีอยู่ เพื่อจะขยายความถึง แบบจำลองในระดับต่าง ๆ จะขอกล่าวถึงแบบจำลองประเภทต่าง ๆ โดยสังเขป

2.6.1 แบบจำลองแบบง่าย (simple models)

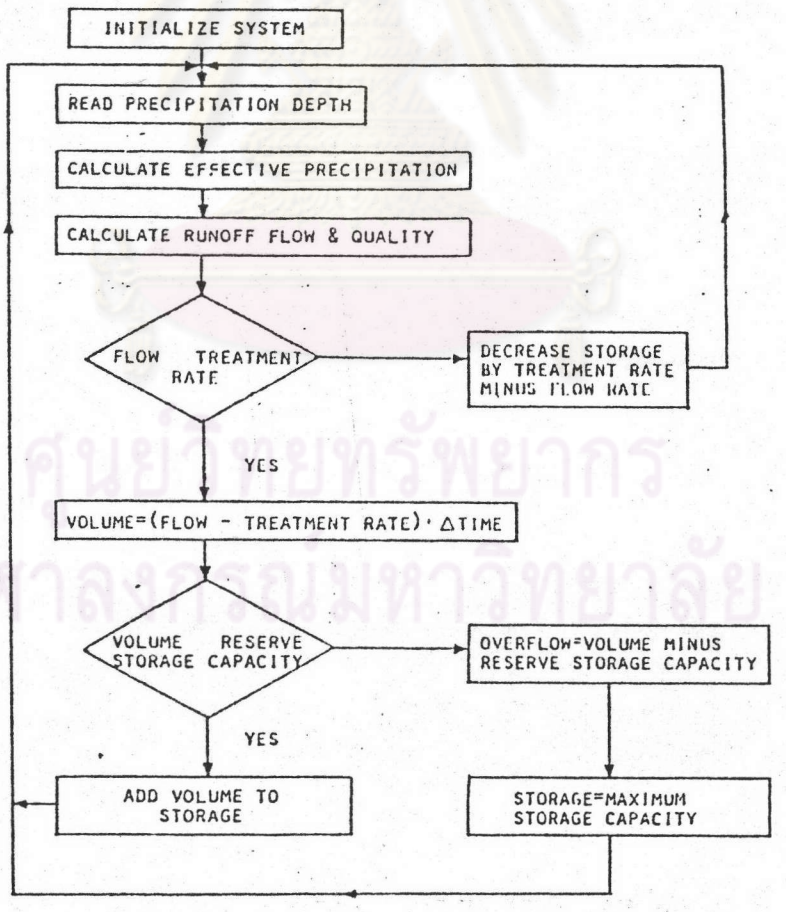
ในปี พ.ศ.2394 Mulvaney วิศวกรชาวไอริช ได้เสนอวิธีเรชั่นแนล ซึ่งต่อมาวิธีนี้ได้ถูกนำมาเผยแพร่ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดย Kuichling ในปี พ.ศ.2432 และในประเทศอังกฤษ โดย D.E.Lloyd-Davies ในปี พ.ศ.2448 ซึ่งวิธีการนี้ยังคงเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในประเทศอังกฤษในนามของวิธี Lloyd-Davies และในปัจจุบันวิธีเรชั่นแนลนี้ยังคงมีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบระบบระบายน้ำ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้ง่ายไม่ซับซ้อนและต้องการข้อมูลไม่มากนัก

2.6.2 แบบจำลองเพื่อการวางแผน (planning models)

หลักเกณฑ์การวางแผนนี้จะต้องพิจารณาถึงเงื่อนไขการระบายน้ำฝนซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาเมืองในอนาคต ผลกระทบต่อรูปแบบการใช้พื้นที่ ปัญหานี้จะเป็นแนวทางหลักของการจัดการน้ำฝน แบบจำลองเพื่อการวางแผนที่มีชื่อเสียงที่สุด คือ STORM (Storage, Treatment, Overflow, and Runoff Model) พัฒนาครั้งแรก โดย U.S.Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center เมื่อปี พ.ศ.2519 โปรแกรมนี้เริ่มต้นพัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับแผนแม่บทการระบายน้ำของเมือง ซาคราเมนโต เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณและคุณภาพของน้ำท่าจากลุ่มน้ำของเมืองขนาดใหญ่นี้ โดยมีจุดมุ่งหมาย เพื่อเลือกที่กักเก็บน้ำและโรงกำจัดน้ำเสียสำหรับควบคุมปริมาณน้ำท่าจากฝนและการกัดเซาะผิวหน้าดิน หลักการคือ การหาทางรวบรวมน้ำท่าและมลสารของลุ่มน้ำในเมืองเพื่อส่งไปสู่โรงกำจัดน้ำเสีย เก็บกักน้ำไว้ชั่วคราวหรือให้ไหลสู่แหล่งรับน้ำโดยตรง ปริมาณน้ำไหลล้นที่เหลือจะขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งกักเก็บและความจุของโรงกำจัดน้ำเสีย ดังในรูปที่ 2-7 ค่าการซึมจะประมาณรวมอยู่ในสัมประสิทธิ์น้ำท่าตามวิธีของ SCS รวมทั้งหิมะด้วย ชลภาพแบบสามเหลี่ยมนำมาใช้หาการไหลในพื้นที่แปลงย่อย โดยกำหนดช่วงเวลาไว้ที่ 1 ชั่วโมง ส่วนคุณภาพของน้ำท่าจะประมาณจากสมการเอมไพริคัล และยังคำนวณการกัดเซาะของดินด้วย โปรแกรมนี้เป็นแบบจำลองการจัดการน้ำฝนซึ่งไม่ได้รวมถึงการออกแบบระบบท่อระบายน้ำ โดยออกแบบมาใช้กับข้อมูลฝนปีรายชั่วโมงที่ต่อเนื่อง ข้อจำกัดของแบบจำลองนี้คือ จะต้องใช้กับพื้นที่ที่มีค่าเวลาการรวมตัวมากกว่า 1 ชั่วโมง และผลที่ได้จากโปรแกรม STORM คือ ผลทางด้านปริมาณจะได้ น้ำท่า, อัตราการไหล ผลทางด้านคุณภาพ จะได้น้ำท่า, บ่อเก็บมลสารทั้งหมดจากน้ำท่า และปริมาณมลสารที่ไหลล้น ส่วนการวิเคราะห์กราฟมลสาร จะได้ปริมาณมลสาร (ปอนด์/ชั่วโมง) และความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร) สำหรับแต่ละเหตุการณ์ ซึ่งค่าตัวแปรคุณภาพ คือ สารแขวนลอย, ค่า BOD, ปริมาณไนโตรเจน, และปริมาณฟอสเฟส การวิเคราะห์การกัดเซาะจะให้ปริมาณตะกอนที่ชะล้างจากพื้นที่รับน้ำ ในระหว่างเหตุการณ์และแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยรายปี โปรแกรม STORM ใช้ได้กับเครื่อง IBM 360/50, UNIVAC 7108 และ CDC 6600 และ 7600



รูปที่ 2-7 ลักษณะพื้นที่รับน้ำตามแนวความคิดของแบบจำลอง STORM



รูปที่ 2-8 ผังการทำงานของแบบจำลอง STORM

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

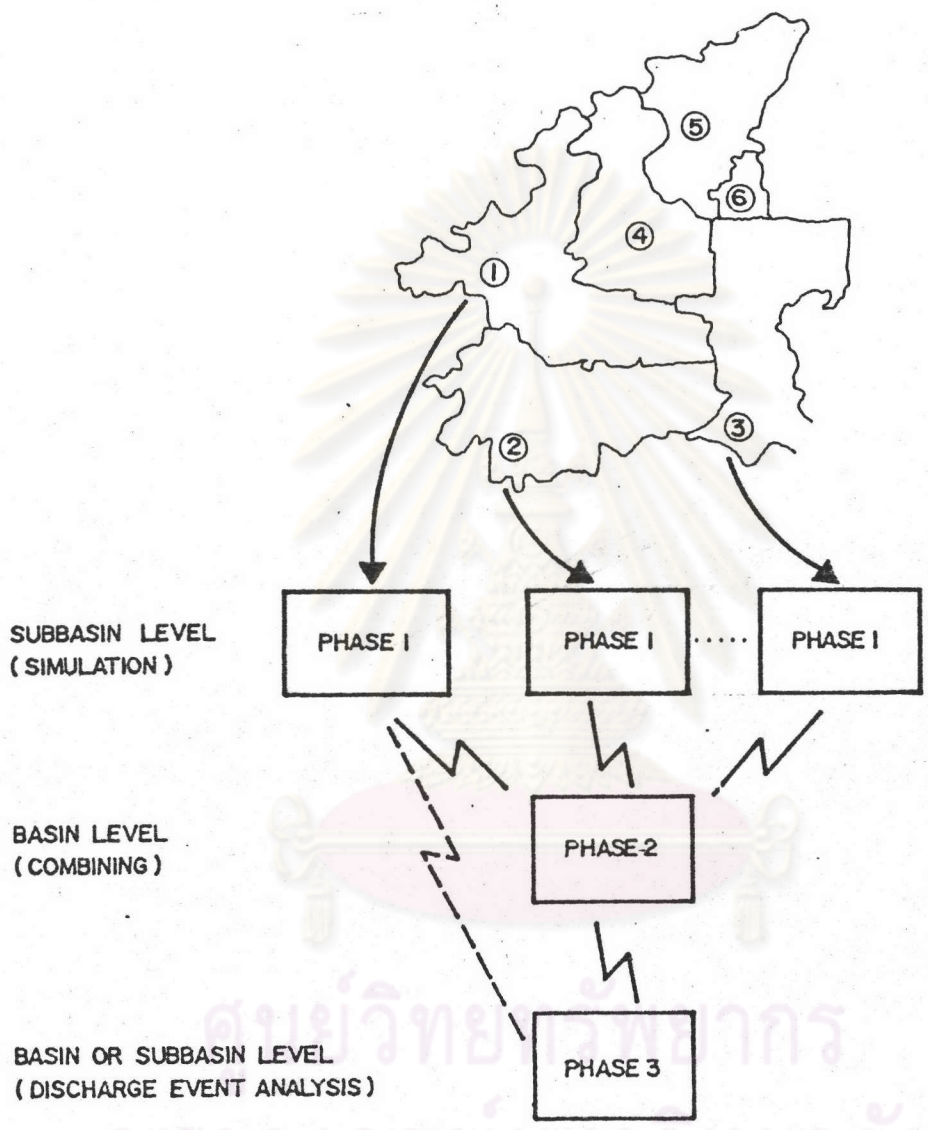
computer systems คู่มือการใช้ เขียนโดย U.S.Army, Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (พ.ศ.2519-2520) at Davis, California สำหรับแบบจำลองแหล่งรับน้ำได้ถูกพัฒนาเพิ่มเติมโดย Neana (2522) ผังการทำงานของแบบจำลอง STORM ดังรูปที่ 2-8

Shubinski และคณะ (2520) ได้พัฒนารุ่นใหม่ของ STORM เรียกว่า SEMSTORM เพื่อการศึกษาเหตุการณ์ ของพื้นที่ทางใต้ของเมืองมิชิแกน โดยยังคงไว้ซึ่งส่วนสำคัญของแบบจำลองเดิม และพัฒนาโปรแกรมโดยแยกเป็นเฟส แล้วแยกพื้นที่ศึกษาออกเป็นหลาย ๆ พื้นที่รับน้ำแปลงย่อย (subbasins) โดยใช้คุณสมบัติพื้นฐานของพื้นที่ในการออกแบบคือ ลักษณะภูมิประเทศ, ระบบระบายน้ำเป็นแบบแยก หรือรวมกัน ดังนั้นโปรแกรม จะแยกได้เป็น 3 เฟส คือ เฟส 1 จะเป็นโปรแกรมที่คำนวณทางด้านอุทกวิทยาและหาการไหลหลากของแต่ละพื้นที่ย่อย สำหรับเหตุการณ์ของฝนแต่ละครั้ง เฟส 2 จะมีหน้าที่รวมแต่ละส่วนย่อยเข้าด้วยกันตามเวลาที่เกิด (time lag) เฟส 3 เป็นส่วนสถิติที่วิเคราะห์ถึงการเกิดของเหตุการณ์ในเฟส 1 และ 2 SEMSTORM สามารถใช้กับพื้นที่ย่อยที่มีฝนแตกต่างกันได้ ทั้งมีท่อและไม่มีท่อระบายน้ำ ข้อจำกัดของแบบจำลองนี้ก็เช่นเดียวกับ STORM คือ ขนาดใหญ่ที่สุดของพื้นที่แปลงย่อย ค่าเวลา การรวมตัวต้องอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 ชั่วโมง และข้อจำกัดอีกอย่างคือในแต่ละพื้นที่แปลงย่อย จะมีที่เก็บกักน้ำได้เพียงที่เดียว ผังการทำงานของแบบจำลอง SEMSTORM ดังรูปที่ 2-9

2.6.3 แบบจำลองการวิเคราะห์และออกแบบ (analysis and design models)

แบบจำลองดั้งเดิมต้องการเสนอความสามารถที่จะนำมาใช้ทั้งการวางแผนและออกแบบจุดเด่นพื้นฐานทางวิชาการที่ดีนั้น ต้องการแยกแยะแบบจำลองเกี่ยวกับการวางแผน, ออกแบบ, และดำเนินการ องค์ประกอบที่จำเป็นของแบบจำลองเพื่อการออกแบบนั้นต้องสามารถหาการหลาก (routing) ของน้ำท่าที่ไหลไปตามโครงข่ายระบบท่อระบายน้ำ สำหรับแบบจำลองในระดับออกแบบนี้ ในปัจจุบันจะมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายบางแบบจำลองเท่านั้น

แบบจำลอง RRL ได้ถูกพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ.2505 โดย Brithish Road Research Laboratory เพื่อใช้ในการคำนวณชลภาพน้ำท่าสำหรับพื้นที่ทึบน้ำ (impervious area) ที่อยู่ติดกับทางระบายน้ำ ในประเทศอังกฤษ โดยมีแนวความคิดว่าปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากพื้นที่ไม่ทึบน้ำ (pervious area) มีค่าน้อย เนื่องจากการเกิดน้ำท่วมในเขตเมืองของประเทศอังกฤษ จะเกิดขึ้น ในฤดูร้อนซึ่งฝนที่ตกจะมีความเข้มสูงตกในช่วงเวลาสั้น ๆ ในขณะเดียวกันความชื้นในดินมีค่าน้อย จึงทำให้พื้นที่ไม่ตาดผิว (unpaved area) มีขีดความสามารถในการกักเก็บ (deficit) สูง แบบจำลอง RRL นี้ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศอังกฤษ และต่างประเทศในเวลาต่อมา ซึ่งผลจากการวิเคราะห์จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของพื้นที่นั้น ๆ ว่ามีความ



รูปที่ 2-9 ขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลอง SEMSTORM

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คล้ายคลึงกับสภาพที่ตั้งสมมุติฐานไว้มากน้อยเพียงใด ค่าชลภาพน้ำท่าผิวดินคำนวณโดยวิธีแผนภาพความสัมพันธ์-เวลา (area-time diagram) สำหรับข้อมูลนำเข้า (input) ของข้อมูลฝนในโปรแกรมสามารถใช้ได้ทั้งกราฟฝนจริงและกราฟฝนสังเคราะห์ ดังแผนภาพที่แสดงในรูปที่ 2-10

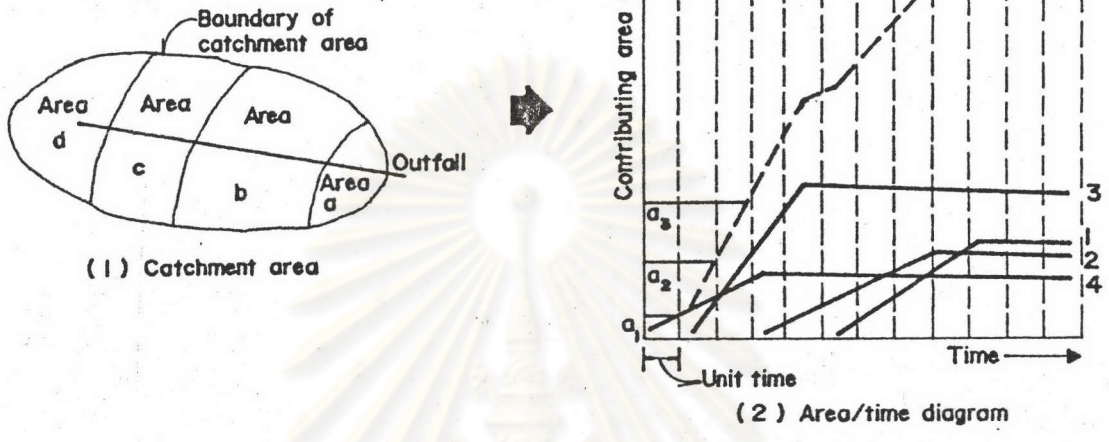
แบบจำลอง MITCAT เป็นแบบจำลองในเชิงปริมาณ (quantity model) ถูกพัฒนาและเสนอโดย P.E.Eagleson และคณะในสถาบัน MIT ในปี พ.ศ.2513 เพื่อใช้ในการจำลองเหตุการณ์หนึ่ง ๆ ของพายุฝนที่ทำให้เกิดน้ำนองผิวดิน ลักษณะของแบบจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการจำลองการไหลของน้ำท่าผิวดินบน simple plane และในส่วนที่ 2 คือ การจำลองการไหลในทางระบายน้ำ

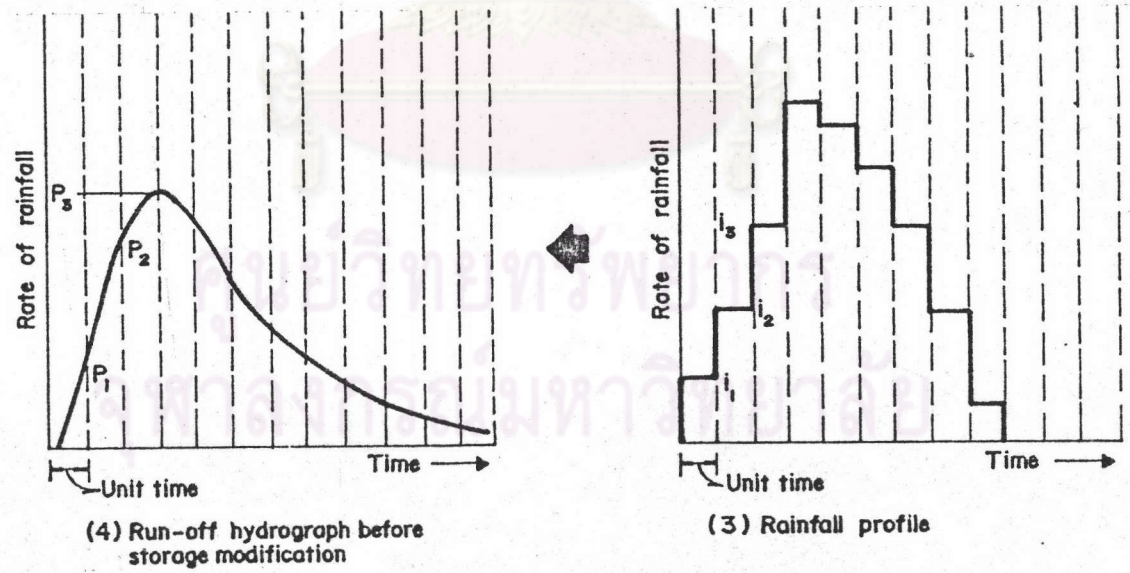
ในแบบจำลอง MITCAT นี้ ปริมาณของน้ำท่าผิวดินเท่านั้น จะถูกจำลองเหตุการณ์ การไหลของน้ำนองผิวดินคำนวณโดยวิธีการประมาณคลื่นจลนศาสตร์ (kinematic wave) และการไหลในทางระบายน้ำ จะใช้การหลากโดยวิธีการค่าเฉลี่ยเชิงเส้นของสมการ St.Venant (mean of a linearized form of St.Venant's equations) การคำนวณอัตราซึมผ่านลงดินใช้วิธีการของ ฮอร์ตัน และ SCS สำหรับช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการ แบบจำลองนี้นับได้ว่ามีความยากง่ายในการใช้งานปานกลาง แต่ไม่สามารถคำนวณในเชิงคุณภาพน้ำได้

หลังจากแบบจำลอง RRL ได้ถูกทดลองนำไปใช้ในสหรัฐอเมริกา โดย Illinois State Water Survey และพบว่าใช้ได้กับบางพื้นที่เท่านั้น เนื่องจากแบบจำลอง RRL ไม่คำนึงถึงปริมาณน้ำนองผิวดินที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ที่ไม่มีการคาดผิว เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวแล้ว แต่เหตุผลดังกล่าวไม่เป็นจริงสำหรับบางพื้นที่ในสหรัฐอเมริกา จึงทำให้ผลลัพธ์ของอัตราการไหลสูงสุด (runoff peak) และปริมาณน้ำท่า (runoff volume) ผิดไปจากความเป็นจริง Terstriep และ Stall จึงได้ปรับปรุงแบบจำลอง RRL โดยเพิ่มโปรแกรมคำนวณน้ำนองผิวดิน สำหรับพื้นที่ที่ไม่ได้คาดผิว เพื่อให้แบบจำลองใช้งานได้กว้างขวางขึ้น ในปี พ.ศ.2517 โดยมีหลักการคำนวณน้ำนองผิวดินคือ คิดจากน้ำฝนที่หักค่าการสูญเสียจากอัตราการซึม โดยวิธีของ ฮอร์ตัน

แบบจำลอง ILLUDAS มีลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 2-11 ซึ่งแสดงให้เห็นหลักการคำนวณคือ จะทำการคำนวณหาชลภาพของน้ำท่า จากพื้นที่รับน้ำย่อย ๆ ที่ถูกแบ่งเป็นส่วนพื้นที่ดาดผิว และไม่ดาดผิว แล้วนำชลภาพมารวมกัน ณ จุดทางออกของระบบย่อย ๆ เพื่อคำนวณการไหลสู่ทางระบายน้ำ และปริมาณน้ำท่าของพื้นที่ย่อย ๆ นี้ จะผ่าน (route) ไปรวมกับการไหลของน้ำท่าในพื้นที่รับน้ำย่อยอื่น ๆ จนสู่ทางออกของพื้นที่รับน้ำ

ขีดความสามารถของแบบจำลอง ILLUDAS นี้สามารถทำได้ทั้งวิเคราะห์ออกแบบ และประเมินผลระบายน้ำ โดยแบบจำลองจะแสดงผลลัพธ์ได้ทั้ง 2 แบบคือ ผลลัพธ์ของการออกแบบระบบระบาย และผลลัพธ์การประเมินผลในการออกแบบ ซึ่งในการออกแบบจะแสดงผลขนาดท่อระบาย ความสามารถในการรับอัตราการไหลของน้ำที่ระบาย อัตราการไหลที่ออกแบบ ปริมาณน้ำกักเก็บที่จุดออกแบบ ในส่วนของการประเมินผลจะแสดงผลคือความสามารถในการระบายน้ำของอาคารที่กำหนดจะรับได้ ปริมาณน้ำที่เกิดขึ้น และปริมาณเก็บกักที่ต้องการ ณ จุดที่ประเมินผล





$P1 = i_1 a_1$

$P2 = i_2 a_1 + i_1 a_2$

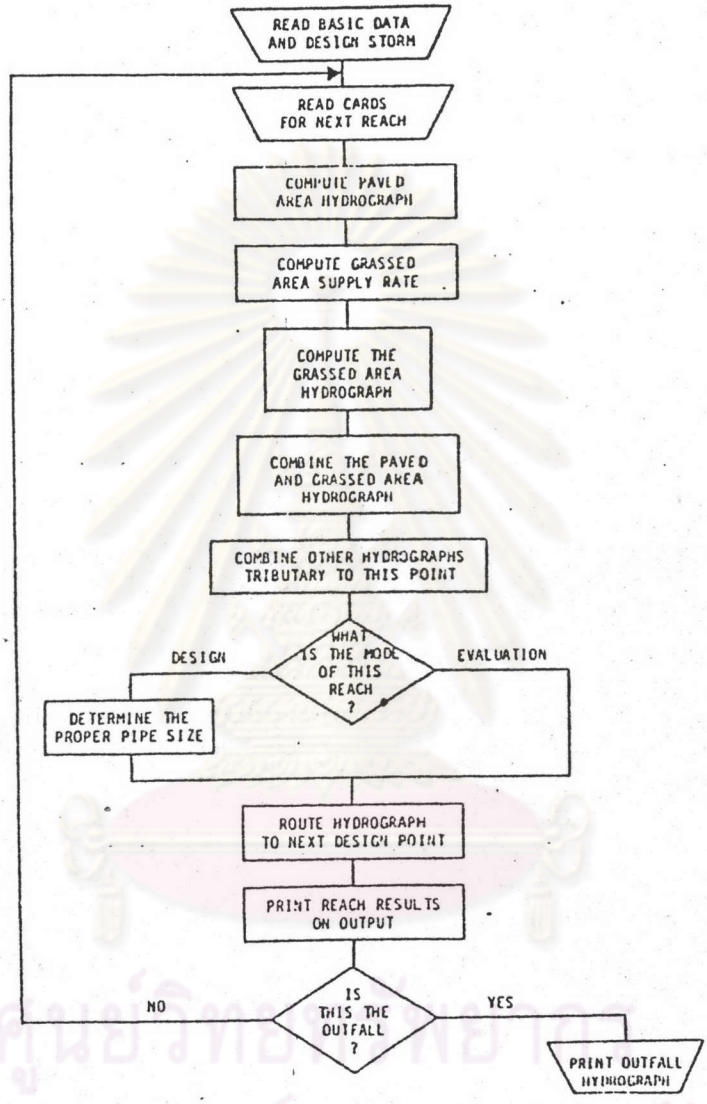
$P3 = i_3 a_1 + i_2 a_2 + i_1 a_1$

ect.

or $\begin{bmatrix} P1 \\ P2 \\ P3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i \\ i_2 \; i_1 \\ i_3 \; i_2 \; i_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}$

ect.

รูปที่ 2-10 วิธีการคำนวณชลภาพน้ำท่าก่อนการหลากของแบบจำลอง RRL



รูปที่ 2-11 ผังการทำงานของแบบจำลอง ILLUDAS

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

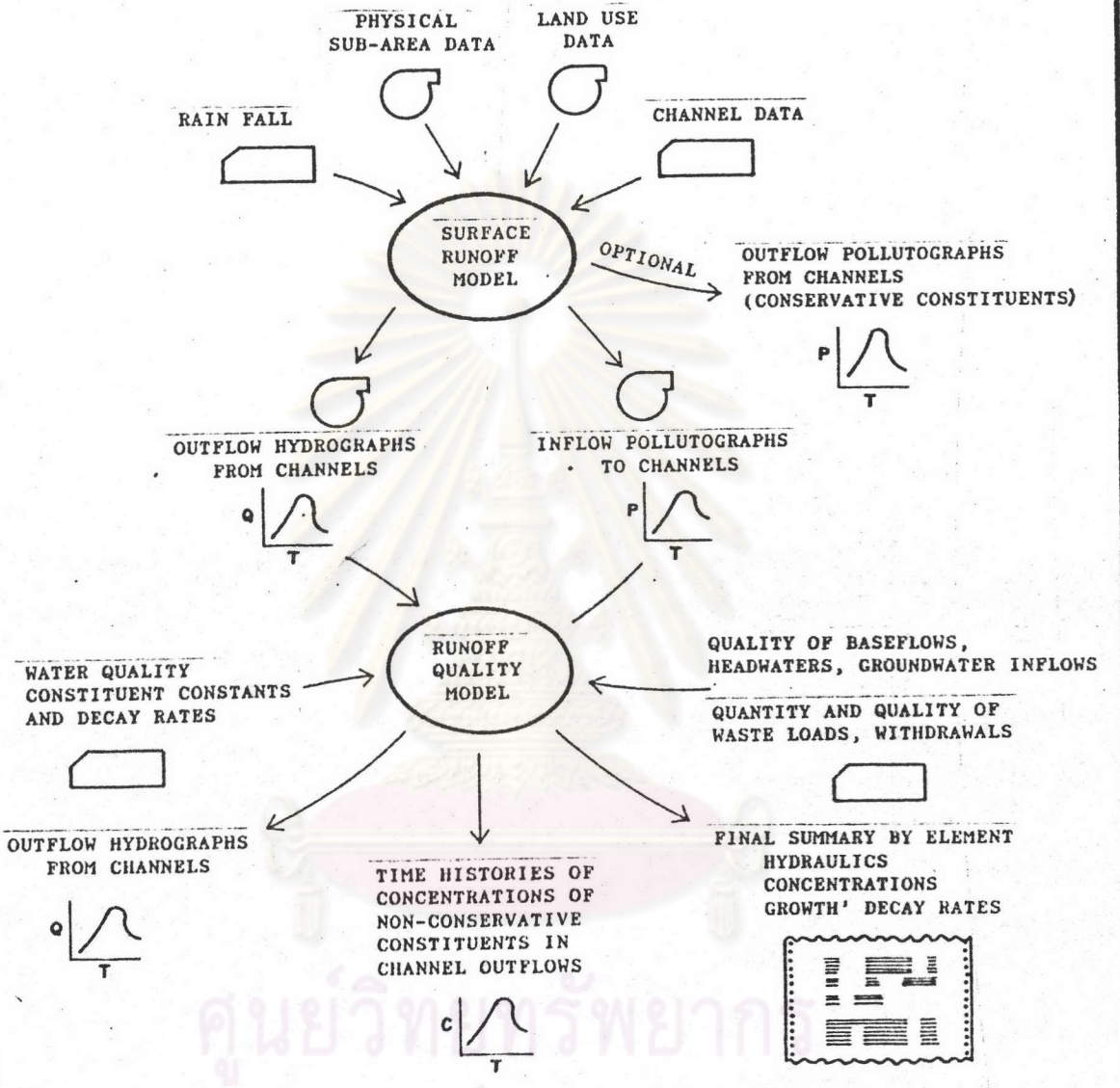
ขบวนการฝน-น้ำท่า และการไหลในท่อระบายน้ำเป็นส่วนหนึ่งของภาพรวมอุทกวิทยาของเมือง ขบวนการอื่น ๆ เช่น การแพร่, การกระจาย, การทำลายมลสาร ในโครงข่ายระบบท่อเป็นผลทางด้านคุณภาพน้ำที่จะต้องมีแหล่งเก็บกักน้ำและเครื่องมือปรับปรุงคุณภาพน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของแหล่งรับน้ำ แบบจำลองที่สามารถจำลองขบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ได้อย่างครบถ้วนคือแบบจำลอง SWMM ซึ่งพัฒนาขึ้นมาโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของอเมริกา (Metcalf & Eddy), มหาวิทยาลัยฟลอริดา, และ Water Resources Engineers, Inc. เมื่อปี พ.ศ.2518 เป็นแบบจำลองเหตุการณ์ฝนเดี่ยว (single-event simulation) โดยใช้สมการของฮอร์ตันหาอัตราการซึมและใช้วิธีคลื่นจลศาสตร์ (kinematic wave method) หาการหลากของน้ำท่าโดยช่วงเวลาแปรผันได้ ส่วนทางด้านคุณภาพน้ำจะใช้สูตรเอมไพริคัล

องค์ประกอบย่อยของแบบจำลอง SWMM สามารถพัฒนานำมาแยกใช้ได้อย่างอิสระ เช่น แบบจำลอง RUNQUAL (Roesner et al., 2520) โดยประยุกต์ใช้ในพื้นที่ทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของเมืองมิชิแกน RUNQUAL เป็นแบบจำลองที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับเหตุการณ์ฝนย่อยโดยใช้กับลักษณะการใช้พื้นที่ถึง 12 แบบ ที่มีมลสารหลากมาพร้อมน้ำท่า ซึ่งน้ำท่าและมลสาร จะหลากไปตามโครงข่ายระบบระบายน้ำที่ถูกจำลองสภาพด้วยแบบจำลองนี้ RUNQUAL ประกอบด้วย 2 บล๊อค คือ surface runoff block และ runoff quality block ทั้ง 2 บล๊อคจะสัมพันธ์กันโดยส่งผ่านเทปหรือดิสต์ คือผลจาก runoff block จะเป็นข้อมูลป้อนสู่ quality block โครงสร้างของแบบจำลอง RUNQUAL ดังในรูปที่ 2-12 พื้นที่รับน้ำจะถูกแบ่งเป็นพื้นที่แปลงย่อยที่มีคุณสมบัติเฉพาะ แล้วคำนวณหาการหลากด้วยวิธีประมาณคลื่นจลนศาสตร์ โดยมิได้คำนึงถึงผลอันเกิดจากน้ำไหลย้อน (backwater effect)

HYDRAN เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อีกแบบจำลองหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นจาก แบบจำลอง RRL โดย British Road Research Laboratory ในปี ค.ศ.1982 เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดเกี่ยวกับสมมุติฐานว่าปริมาณน้ำท่าบนพื้นที่ไม่ตาดผิวมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทั้งนี้เพื่อให้ HYDRAN เป็นแบบจำลองที่ใช้งานได้กว้างขวางขึ้นกับพื้นที่ทั่ว ๆ ไปในทุกพื้นที่ของโลก ซึ่งหลังจากได้นำแบบจำลอง RRL ไปทดลองใช้กับพื้นที่ในแอฟริกาตะวันออก ลักษณะเป็นพื้นที่เขตร้อน พบว่า ต้องดัดแปลงวิธีการคำนวนน้ำนองผิวดิน เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพที่เกิดขึ้นจริง คือ

1) วิธีการคำนวน delay และ attenuate ของกราฟน้ำฝน เนื่องจากการกักเก็บบนผิวดิน โดยใช้วิธี Linear reservior submodel
2) วิธีคำนวนอัตราส่วนของฝนที่ตกลงบนพื้นที่ไม่ทึบน้ำ ที่ก่อให้เกิดการไหลในระบบระบายน้ำ โดยใช้อัตราส่วนปรับแก้ค่าด้วย "ตัวคูณประกอบพื้นที่" (contributory area factor)

คุณลักษณะที่เหมือนกันของแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์และออกแบบนี้ คือ จำลองสภาพสมรรถภาพของระบบระบายน้ำฝนภายใต้สภาวะฝนตก ความแตกต่างของการออกแบบนี้สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน มหาวิทยาลัยอิลินอยจึงได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับ



รูปที่ 2-12 โครงสร้างของแบบจำลอง RUNQUAL

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ออกแบบระบบระบายน้ำที่ให้ราคาต่ำสุดขึ้น การหาความเหมาะสมนี้คำนวณด้วยลักษณะไดนามิก โปรแกรมมิ่ง พัฒนาเป็นแบบจำลองคอมพิวเตอร์ขึ้น 3 โปรแกรม คือ แบบจำลองอันแรกจะคำนวณหาความเหมาะสมของความลาด, ระดับ, ขนาดท่อระบายน้ำ, และขนาดที่เก็บกักน้ำ แบบจำลองที่สอง หาค่าความเสี่ยงและค่าเสียหายอันเกิดจากน้ำท่วมของระบบที่ออกแบบนั้น การเสี่ยงจะหาโดยใช้กราฟ risk-safety factor curve ซึ่งสอดคล้องกับอายุใช้งานของท่อระบายน้ำ แบบจำลองที่สามจะรวมส่วนต่าง ๆ ของระบบที่ออกแบบนั้น

2.6.4 แบบจำลองเพื่อการดำเนินการและควบคุม (operation and control models)

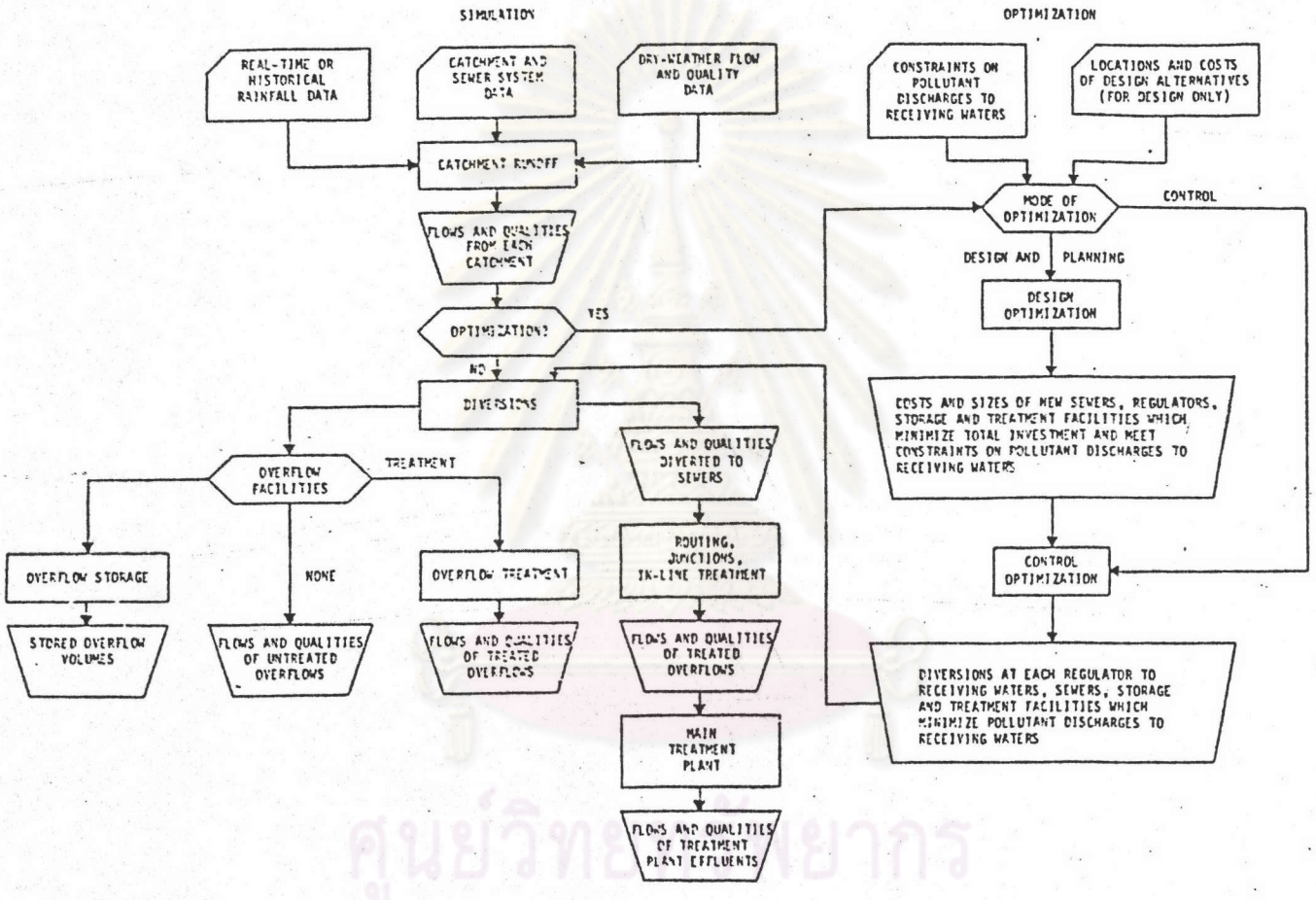
แบบจำลองที่นิยมใช้ในการประเมินวิธีดำเนินการที่เหมาะสมที่สุดเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ Urban Wastewater Management Model พัฒนาขึ้นโดยสถาบัน Battelle Memorial (Brandsetter, 1976, Brandsetter et al., 2516) โครงสร้างพื้นฐานของการดำเนินการดังในรูปที่ 2-13 แบบจำลองนี้ได้ใช้ส่วนหนึ่งของแบบจำลองคณิตศาสตร์ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัย มินนิโซตา และจำลองสภาพเกี่ยวกับประสิทธิภาพขององค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบระบายน้ำในระหว่างเงื่อนไขของเหตุการณ์ฝนแต่ละเหตุการณ์

แบบจำลองนี้สามารถหาปริมาณน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุดที่จะปล่อยลงสู่แหล่งรับน้ำโดยหาวิธีดำเนินการที่ควบคุมอาคารต่าง ๆ และแบบจำลองนี้ยังสามารถใช้ออกแบบระบบระบายน้ำใหม่ หรือใช้ประเมินระบบเดิมก็ได้ พร้อมทั้งหาค่าลงทุนต่ำสุดตามแนวทางเผื่อเลือกที่กำหนด

2.6.5 แบบจำลองอื่น ๆ (other models)

ยังคงมีแบบจำลองอื่น ๆ อยู่อีกที่นำมาใช้ในการศึกษาอุทกวิทยาของพื้นที่ในเมือง ซึ่งบางแบบจำลองจะประสบความสำเร็จในขอบข่ายแคบ ๆ สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับอุทกวิทยาในเมือง และบางแบบจำลองเหมาะสมสำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ ในการศึกษาเกี่ยวกับการป้องกันน้ำท่วมและชลประทานซึ่งแบบจำลองเหล่านี้จะมีอยู่ตามหน่วยงานต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในหน่วยงานนั้น ๆ เช่น แบบจำลองของ Hydrologic Engineering Center ของ U.S.Army, Corps of Engineers และ Soil Conservation Service ของ U.S. Department of Agriculture นอกจากนี้ยังมีแบบจำลอง Stanford เดิม ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาสมดุลย์ของน้ำ (water balance) ของพื้นที่รับน้ำ รวมทั้งแบบจำลองที่มีอยู่ในยุโรป ซึ่งสำหรับการศึกษาเกี่ยวกับพฤติการณ์ทางชลศาสตร์ของระบบระบายน้ำเสีย แบบจำลองต่าง ๆ ดังกล่าวนี้จะได้กล่าวถึงโดยสังเขปต่อไป

หน่วยงาน Hydrologic Engineering Center ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของแบบจำลองทางอุทกวิทยาอื่น ๆ นอกเหนือจาก STORM ได้แก่ แบบจำลอง HEC-1 แบบจำลอง



รูปที่ 2-13 ผังการทำงานของแบบจำลอง Urban Wastewater Management Model

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SSARR และแบบจำลอง WQRRS แบบจำลอง HEC-1 เป็นแบบจำลองคิดปริมาณน้ำท่าจากน้ำฝน โดยมีสมมุติฐานว่าอัตราการซึมผ่าน มีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชั่นไม่เชิงเส้นแบบง่าย (simple nonlinear function) กับปริมาณฝน (precipitation) และการสูญเสีย (loesses) รวมทั้งสามารถใช้ในการประมาณค่าชลภาพของน้ำท่า จากการละลายของหิมะด้วย สำหรับการประมาณค่าของน้ำท่าในพื้นที่รับน้ำย่อย ๆ จะใช้วิธี Clark Unit Hydrograph ในการคิด และการหลาก (flood routing) ของน้ำท่าในทางน้ำจะใช้วิธีการ modified storage routing หรือ Muskingum routing แบบจำลอง HEC-1 นี้ เป็นแบบจำลองพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ยังไม่ได้พัฒนาเป็นเมือง สำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่เขตเมืองนั้น จะประสบปัญหาในการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง เนื่องจากพารามิเตอร์บางตัวจะแปรผันไปตามพายุฝนแต่ละลูก อนึ่ง HEC-1 เป็นแบบจำลองที่ไม่มีการคิดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดย U.S. Army, Corps of Engineers คือ แบบจำลอง SSARR เป็นแบบจำลองเพื่อการลอกเลียนปรากฏการณ์การไหลในลำน้ำ และการกักเก็บของอ่างเก็บน้ำโดยการจำลองจะเป็นแบบปรากฏการณ์ต่อเนื่อง (continuous event) ในแบบจำลองนี้มีสมมุติฐานเกี่ยวกับการซึมผ่านว่าเป็นฟังก์ชั่นกับความชื้นในดิน ดังนั้นการประมาณค่าน้ำท่าจึงใช้วิธีสัมประสิทธิ์ของน้ำท่า (runoff coefficient) การผ่านการหลากของการไหลในลำน้ำใช้วิธี multiple reservoirs ช่วงเวลา (time step) ที่ใช้สามารถแปรผันได้ แต่ไม่มีการคิดในเรื่องของคุณภาพน้ำ

แบบจำลองที่พัฒนาโดย U.S. Army, Corps of Engineers เพื่อใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำท่าในลำน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ คือ แบบจำลอง WQRRS ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2517 โดยมีลักษณะของแบบจำลอง 1 มิติ ของชั้นตามแนวดิ่ง (one dimensional model of vertical stratification) ในอ่างเก็บน้ำ หรือทะเลสาบ สำหรับในลำน้ำแบบจำลองจะพิจารณาเป็นช่วง ๆ ไปในทิศทางต้นน้ำสู่ท้ายน้ำ

แบบจำลองอีกแบบจำลองหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในงานอุทกวิทยาในเมืองคือ แบบจำลอง SCS-TR20 ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกโดย U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service ในปี พ.ศ.2508 ในแบบจำลองนี้จะใช้วิธีการประมาณน้ำท่าด้วยวิธี SCS Curve number ซึ่งจะเป็นการประเมินค่าน้ำนองสูงสุดสำหรับพื้นที่ที่พัฒนาแล้ว สำหรับแบบจำลองนี้มีวิธีที่ถูกประยุกต์ให้ง่ายขึ้นอยู่ในชุด TR55 ซึ่งเป็นวิธีการคำนวนแบบ Manual Methods

2.6.6 แบบจำลองการสมดุลย์ของน้ำ (water balance models)

แบบจำลองต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้วทั้งหมด จะพิจารณาขบวนการทางอุทกวิทยาในส่วนที่เป็นการสูญเสียของน้ำฝนก่อนที่จะมาเป็นน้ำท่านั้น เป็นส่วนที่ไม่สำคัญจะเน้นการประเมินค่าน้ำ

ท่าจากน้ำฝนเท่านั้น แต่ขบวนการสูญเสียดังกล่าว เช่น การซึมผ่าน (infiltration) การไหลของน้ำใต้ผิวดิน (interflow) และการระเหย (evaporation) เป็นต้น จะเป็นสิ่งกำหนดสภาพเริ่มต้นของพื้นดิน ซึ่งมีความสำคัญต่อการเกิดน้ำท่ามากน้อยแปรผันไปตามสภาพของภูมิประเทศ ดังนั้น ในบางครั้งการสูญเสียต่าง ๆ อาจจะกลับกลายเป็นสิ่งที่ละเลยที่จะพิจารณาไม่ได้

อย่างไรก็ตามยังคงมีแบบจำลองบางส่วน ที่ต้องการพิจารณาวัฏจักรของขบวนการทางอุทกวิทยาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เพื่อต้องการทราบถึงปริมาณความชื้นของพื้นที่รับน้ำที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น แบบจำลอง HSPE (Hydrological Simulation Program Model) เป็นแบบจำลองที่เขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทน มีลักษณะเป็นแบบจำลองเหตุการณ์ต่อเนื่องที่ใช้หาค่าต่าง ๆ ของน้ำทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ ในทุก ๆ ขบวนการของน้ำที่เกิดขึ้น ทั้งบนผิวดินและใต้ดิน ในการคำนวนเกี่ยวกับคุณภาพน้ำได้อาศัยวิธีการของ U.S. Environmental Protection Agency Center (EPA) วิธีการ kinematic wave method ได้ถูกใช้เพื่อการผ่านการหลาก (flood routing) ของการไหลในพื้นที่รับน้ำย่อย ๆ และในทางน้ำหลัก ผังการทำงานของแบบจำลอง HSPE ดังรูปที่ 2-14 นอกจากนี้ยังมีแบบจำลองอื่น ๆ ที่พิจารณาขบวนการย่อย ๆ ของอุทกวิทยา เช่น แบบจำลอง NPS (nonpoint source) และแบบจำลอง ARM (agricultural runoff management) เป็นต้น

NPS เป็นแบบจำลองสำหรับการจำลองเหตุการณ์แบบต่อเนื่อง ของการแพร่กระจายของมลภาวะจากพื้นที่ที่มีน้ำ และพื้นที่ไม่มีน้ำ ซึ่งสามารถจะจำลองเหตุการณ์ทั้งขบวนการทางอุทกวิทยาบนผิวดิน และใต้ดิน ทั้งการสะสมของมลภาวะ และการแพร่กระจายของมลภาวะ แต่ NPS ไม่มีการคิดเกี่ยวกับการหลาก ดังนั้นจึงไม่สามารถประเมินค่ามลภาวะที่เกิดขึ้นภายหลังในแหล่งรับน้ำได้ จะคิดได้เฉพาะที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่เท่านั้น ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการประมาณค่าที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่เล็ก ๆ ไม่เกิน 2 ตารางไมล์เท่านั้น ซึ่งหากใช้กับพื้นที่ใหญ่ ๆ จำเป็นต้องใช้แบบจำลองประเมินค่าเริ่มต้น ในแต่ละพื้นที่ย่อย ๆ แล้วนำผลที่ได้ไปเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองอื่น ๆ เช่น MSPF เป็นต้น

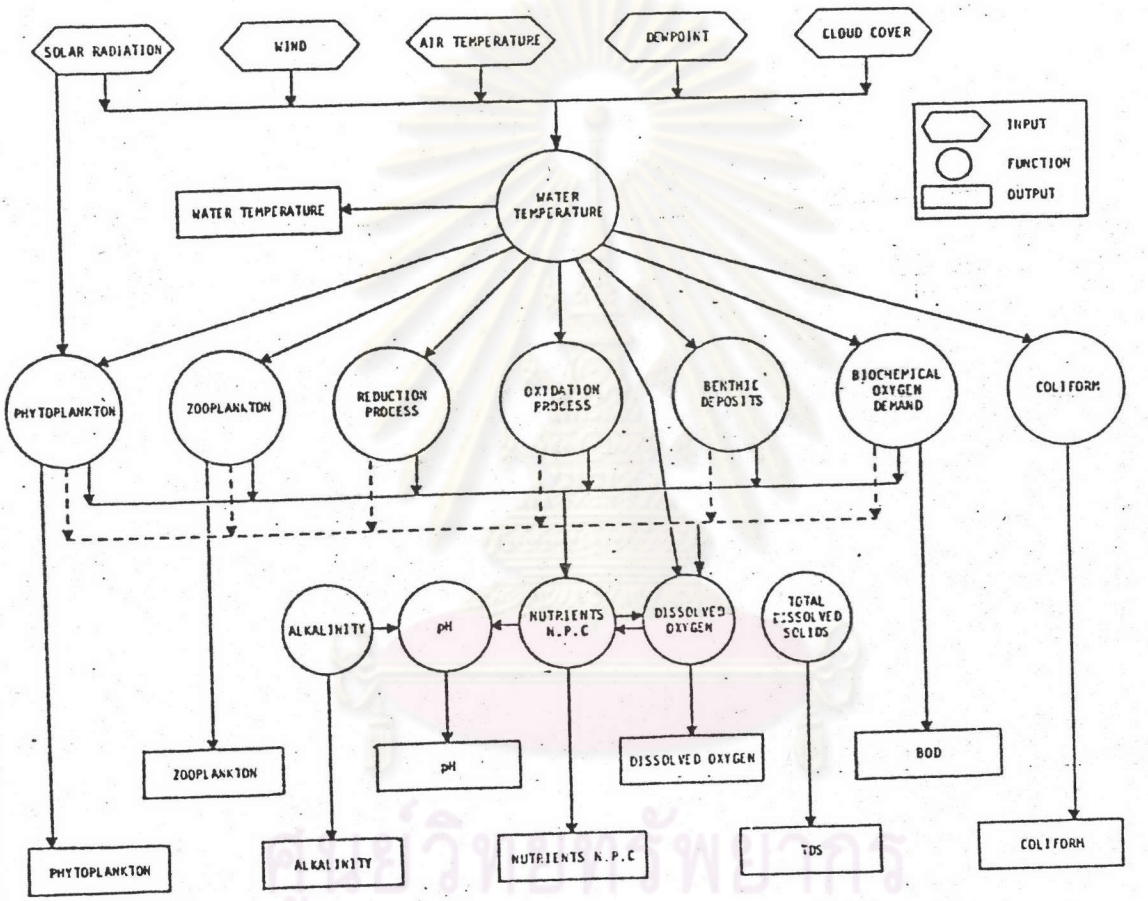
ศูนย์วิทยทรัพยากร

2.6.7 แบบจำลองพื้นฐานทางชลศาสตร์ (hydraulically based models)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองที่กล่าวมาทั้งหมดแล้วนั้น เน้นการประเมินค่าและการจำลองเหตุการณ์ทางอุทกวิทยา และคุณภาพน้ำ ของน้ำท่าในเมือง ไม่มีแบบจำลองใดที่สามารถใช้ในการศึกษาทางด้านพลศาสตร์ของไหล อย่างไรก็ตามยังคงมีแบบจำลองที่เน้นการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของการไหลและการออกแบบทางด้านชลศาสตร์ ของระบบระบายน้ำในเมืองอยู่บ้าง เช่น แบบจำลอง CAREDAS และแบบจำลอง HVM-QQS ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย DORSCH CONSULT

แบบจำลอง CAREDAS พัฒนาโดย SOGREAH เป็นแบบจำลองชนิด sophisticated model เพื่อใช้ในการคำนวณการไหลเปลี่ยนแปลง (unsteady flow) ของการไหลแบบบ่วง



รูปที่ 2-14 ผังการทำงานของแบบจำลอง HSPE

(looped) และการไหลแบบก้างปลา (branched) ของข่ายงานท่อระบบระบาย ซึ่งสามารถคำนวนได้ทั้งการไหลแบบภายใต้ความดัน (pressurized flow) และการไหลแบบผิวอิสระ (free surface flow) โดยใช้สมการของ St.Venant นอกจากนี้แบบจำลอง CARESAS ยังมีส่วนโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองปรากฏการณ์ทางอุทกวิทยา ในส่วนที่เป็นการไหลเข้าสู่ระบบท่อระบายและการจำลองเหตุการณ์เกี่ยวกับคุณภาพน้ำรวมอยู่ด้วย ในปี พ.ศ.2521 Chevreay และ Holly ได้นำแบบจำลอง CAREDAS ไปใช้กับข่ายงานท่อที่มีความยุ่งยากสลับซับซ้อนมากใน Seine Saint Denis ซึ่งอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ประกอบด้วยพื้นที่ 100 ตารางกิโลเมตร โดยแบ่งออกเป็นพื้นที่รับน้ำย่อย ๆ 200 พื้นที่ มีท่อระบายมากกว่า 400 ท่อ ความยาวรวม 280 กิโลเมตร (สำหรับท่อที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป) และมีจุดที่ทำการคำนวนมากกว่า 200 จุด นอกจากนี้แบบจำลองยังสามารถคำนวนระบบท่อที่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ต่าง ๆ คือ ประตูระบาย (gates) เขื่อน (dams) อ่างเก็บน้ำ (reservoirs) กาลักน้ำ (siphons) แฟลบวาว์ว (flap valves) ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลในหลายรูปแบบ เช่น การไหลย้อน (backwater) การไหลภายใต้ความดัน (pressurization) การไหลล้น (overflow) รวมทั้งการไหลผ่านอาคารพิเศษต่าง ๆ จากระบบข่ายงานท่อดังกล่าว

แบบจำลอง QQS (quantity-quality) พัฒนาขึ้นโดย DORSCH ในประเทศเยอรมันนี เพื่อใช้คำนวนหาค่าชลภาพของน้ำท่า แผนภาพมลภาวะและประเมินค่าความถี่ และช่วงเวลาของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน และน้ำท่าของระบบระบายน้ำในเมือง ข่ายงานระบายน้ำที่แบบจำลองได้รับการพัฒนาขึ้นประกอบด้วย 450 จุดต่อ (node) และ 70 จุดต่อของทั้งหมดสามารถใช้แทนพฤติกรรมการไหลล้น สถานีสูบน้ำ (pumping stations) แหล่งหน่วงน้ำ (detention basins) และแหล่งบำบัดน้ำเสีย (treatment plants) ระบบของแหล่งน้ำสามารถคิดได้ไม่เกิน 150 แหล่งย่อย ๆ สำหรับช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มลดได้ช่วงละ 5 นาที การคำนวนชลภาพน้ำท่าในพื้นที่รับน้ำย่อย ๆ ใช้วิธี instantaneous unit hydrograph หลังจากหักการสูญเสียของน้ำฝน เนื่องจากการระเหย การซึมผ่าน และการกักเก็บบนผิวพื้น การไหลในทางระบายน้ำหลักและโครงสร้างทางชลศาสตร์ต่าง ๆ ใช้วิธีการผ่านการหลาก dynamic wave equation ซึ่งใช้สมการของ St. Venant สมการการไหลต่อเนื่อง สำหรับการคิดค่ามลภาวะจะคิดแต่ละจุดฟังก์ชั่นของการหน่วงการไหลขึ้นอยู่กับ ความลาดเอียงของพื้นที่ สำหรับแบบจำลอง QQS นี้ได้เคยถูกนำไปใช้กับพื้นที่ในเมือง Toronto Rochester และ Vancouver ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของสหรัฐอเมริกา และเป็นแบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในประเทศเยอรมัน

I10312993

2.7 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ จะใช้สูตรของเรชั่นแนลในการวิเคราะห์หาคุณสมบัติของพื้นที่ ส่วนในการวิเคราะห์เพื่อประเมินและออกแบบระบบระบายน้ำจะใช้ทฤษฎีของแบบจำลอง SWMM

2.7.1 วิธีเรชั่นแนล

วิธีเรชั่นแนล ตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่าฝนตกกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งพื้นที่ และกรณีที่ก่อให้เกิดปริมาณน้ำท่าสูงสุด คือ กรณีที่ฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานานเท่ากับเวลาของการรวมตัว (time of concentration) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของเวลาที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดจนถึงจุดทางเข้าระบบระบายน้ำ (time of entry) กับเวลาของการไหลในท่อ (time of flow) ที่คำนวณมาจากการคิดความเร็วการไหลแบบเต็มท่อ สำหรับฝนที่ใช้ออกแบบนั้น สมมติให้มีช่วงระยะเวลาฝนตกเท่ากับเวลาของการรวมตัว ค่าปริมาณน้ำท่าคำนวณได้จากค่าความเข้มฝน และพื้นที่รับน้ำ ตามสมการ

$$Q = \frac{CiA}{3.6 \times 10^{6}} \qquad \text{----------(2.1)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำท่าสูงสุด (ลบ.ม./ว.)

C = ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient)

i = ความเข้มฝน (rainfall intensity) (มม./ชม.)

A = พื้นที่รับน้ำ (ตร.ม.)

ในการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของพื้นที่ และค่าเวลาน้ำหลากสูงสุด (time to peak) โดยประมาณว่าเวลาน้ำหลากสูงสุดมีค่าเท่ากับเวลาของการรวมตัว ซึ่งค่าตัวแปรทั้งสองตัวนี้มีแฟคเตอร์หลายอย่างที่เกี่ยวข้อง โดยจะกล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.7.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (runoff coefficient, C)

ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า, C เป็นอัตราส่วนของอัตราการไหลออกสูงสุดกับค่าความเข้มฝนเฉลี่ย Ramser, Norton, และ Ellison (พ.ศ.2472) ได้รวมแฟคเตอร์หลักที่มีผลต่อค่า C ไว้ดังนี้ (1) ธรรมชาติของดิน, (2) ความลาดชันของพื้นที่ผิว, (3) ลักษณะสิ่งปกคลุมผิว, (4) ความเข้มฝน, (5) ระดับความชื้นของพื้นที่รับน้ำก่อนฝนตก และ (6) การเก็บกักตามผิวจากทั้งหมด นี้แฟคเตอร์อื่น ๆ ที่มีผลต่อค่า C อีก คือ เปอร์เซนต์พื้นที่ทึบน้ำ, ช่วงเวลาฝนตก, รูปร่างของพื้นที่รับน้ำ, ความถี่ที่ใช้ออกแบบ, การดัก, การระบายน้ำจากหลังคาที่เชื่อมต่อกับท่อระบายน้ำฝน, ทางระบาย หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ แม้ว่าค่า C มักจะสมมุติให้มีค่าคงที่สำหรับพื้นที่รับน้ำที่กำหนด แต่ก็มีค่า

เปลี่ยนแปรตามลักษณะเหตุการณ์ฝน (Ramser, 2470; Gregory and Arndd, 2475) และจะไม่คงที่ตลอดช่วงเวลาที่ฝนตก (Horner, 2453; Horner and Jens, 2484) ถ้าค่าเวลาถึงการรวมจุดเกิดขึ้นช่วงต้น ๆ ที่ฝนตก สภาพความชื้นของดินจะเป็นค่าที่สำคัญ แต่ถ้าเวลาถึงการรวมเกิดขึ้นปลาย ๆ ช่วงเวลาฝนตกหนัก พื้นดินจะเกิดการอิ่มตัวและการเก็บกัก (depression) จะเต็ม ในทั้งสองกรณีนี้ค่า C จะแตกต่างกัน Horn และ Schwab (2506) ได้ศึกษาและวิจารณ์ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่ากับค่าความเข้มฝน ตามวิธีเรชั่นแนลสำหรับลักษณะการใช้พื้นที่แบบเกษตรกรรม ดังรูปที่ 2-15 และกรมทางหลวงได้ศึกษา ความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ไว้เช่นกันตามลักษณะพื้นที่ในประเทศไทยเพื่อใช้ออกแบบโครงสร้างระบายน้ำของถนน ดังรูปที่ 2-16 สำหรับความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่ากับลักษณะของพื้นที่และการใช้พื้นที่ได้มีผู้ศึกษาไว้มากมาย ดังในตารางที่ 2-1 ซึ่งเสนอโดย Stephenson, 2524 ตารางที่ 2-2 ใช้ในพื้นที่เมือง Austin, Texas ตารางที่ 2-3 ถึง 2-5 เป็นค่าที่มีผู้ศึกษาไว้สำหรับพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร รูปที่ 2-17 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝน ที่ช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมง ที่คาบการกลับ 2 และ 5 ปี

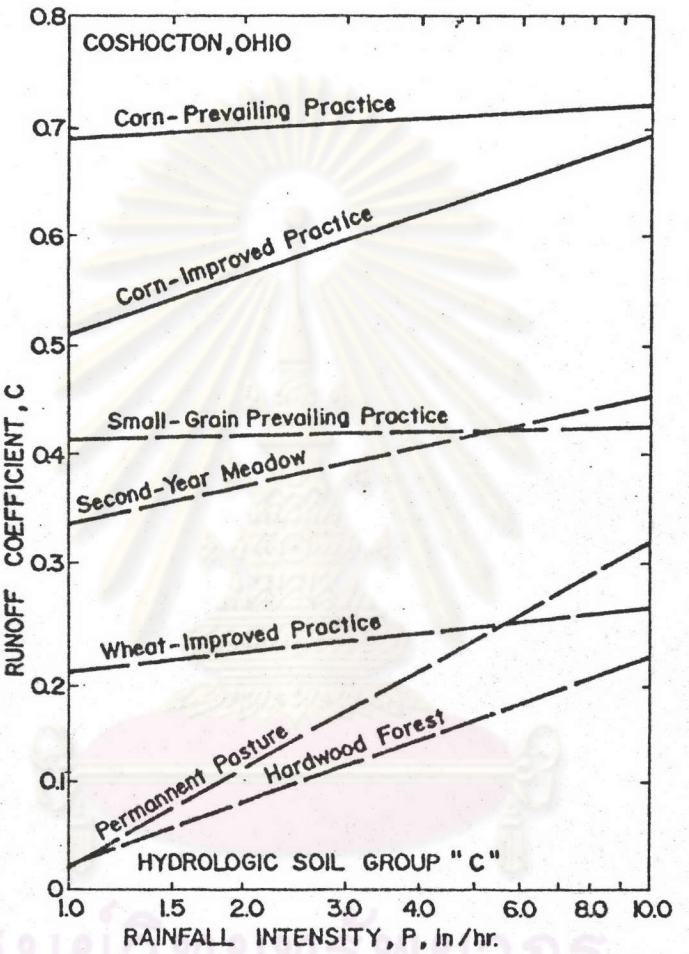
2.7.1.2 ค่าเวลาน้ำหลากสูงสุด (time to peak, T_p)

ค่าเวลาน้ำหลากสูงสุด คือ เวลาระหว่างจุดที่ฝนเริ่มตก จนถึงเวลาที่เกิดน้ำหลากสูงสุด (Linsley, Kohler and Paulhus, 2501) ดังรูปที่ 2-18 และปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลานี้สามารถนำมาคำนวณหาค่าความเข้มของฝน (rainfall intensity) ได้ ซึ่งความเข้มฝนนี้จะถือเป็นความเข้มฝนเฉลี่ยที่ตกสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ ตามสมมติฐานของวิธีเรชั่นแนล จากค่าความเข้มฝนที่ได้ และค่าอัตราการไหลออกสูงสุดสามารถนำมาหาค่าคุณสมบัติของพื้นที่ได้คือ ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า ตามสูตรเรชั่นแนล

สำหรับค่าเวลาน้ำหลากสูงสุด ได้มีผู้เสนอสูตรจากการทดลอง (empirical formulae) ไว้มากมาย ที่ใช้สำหรับพื้นที่ขนาดเล็ก และพื้นที่ในเขตเมือง (urban area) ดังในตารางที่ 2-6

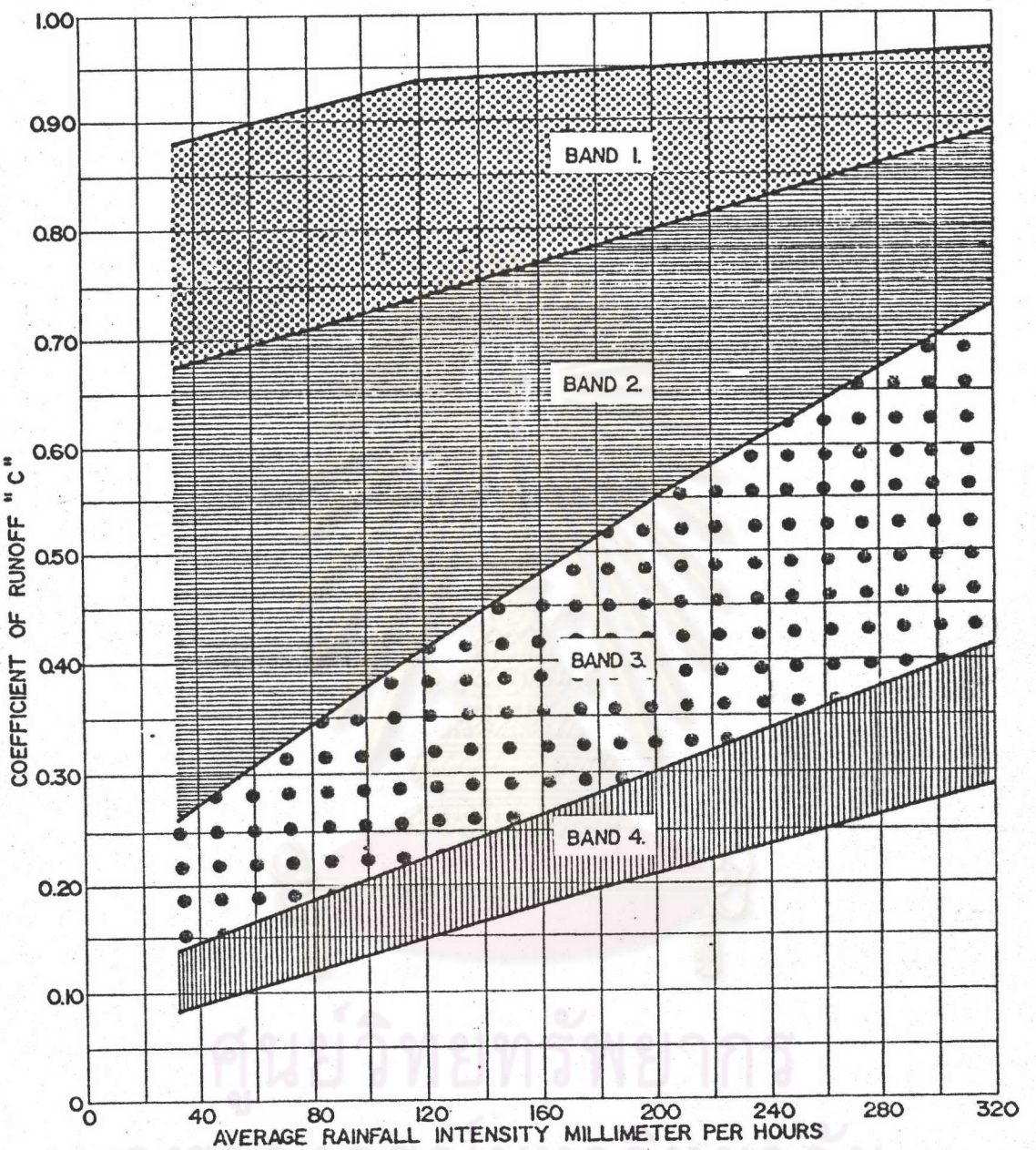
2.7.2 ทฤษฎีที่ใช้ในแบบจำลอง SWMM

ทฤษฎีที่ใช้ในแบบจำลองของการศึกษาครั้งนี้ จะเป็นไปตามหลักการของแบบจำลอง SWMM (Stormwater Management Model) ซึ่งแบบจำลอง SWMM เริ่มแรกพัฒนาสำหรับองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (Environmental Protection Agency, EPA) ในปี พ.ศ. 2512-2514 ซึ่งเป็นแบบจำลองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นครั้งหนึ่ง) (single-event model) สำหรับจำลองสภาพของขบวนการทั้งทางปริมาณและคุณภาพน้ำในระบบระบายน้ำรวม โดย Metcalf & Eddy, Inc., The University of Florida, และ Water Resources Engineers,



รูปที่ 2-15 ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับพื้นที่เกษตรกรรม (Horn and Schwab, 1963)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



BAND 1. STEEP, BARREN, IMPERVIOUS SURFACES

BAND 2. ROLLING BARREN IN UPPER BAND VALUES, FLAT BARREN IN LOWER PART OF BAND STEEP FORESTED & STEEP GRASS MEADOWS

BAND 3. TIMBERS LANDS OF MODERATE TO STEEP SLOPES, MOUNTAINOUS, FARMING

BAND 4. FLAT PERVIOUS SURFACES, FLAT FARMLAND WOODED AREAS AND MEADOWS

รูปที่ 2-16 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าต่อความเข้มฝนตามลักษณะภูมิประเทศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-1 สัมประสิทธิ์การไหล C (Stephenson, 1981)

URBAN CATCHMENTS

General Description	C	Surface	
City	0.7-0.9	Asphalt paving	0.7 -0.9
Suburban business	0.5-0.7	Roofs	0.7 -0.9
Industrial	0.5-0.9	Lawn heavy soil, +7° slope	0.25-0.35
Residential Multiunits	0.6-0.7	2-7°	0.18-0.22
Housing estates	0.4-0.6	-2°	0.13-0.17
Bungalows	0.3-0.5	Lawn sandy soil, +7°	0.15-0.2
Parks, cemetries	0.1-0.3	2-7°	0.10-0.15
		-2°	0.05-0.10

Frequency factor:

Recurrence interval	Multiplier
2-10 years	1.0
25	1.1
50	1.2
100	1.25

RURAL CATCHMENTS (less than 10 km²)

Ground cover	Basic factor	Corrections : Add or subtract
Bare surface	0.40	Slope<5% : - 0.05
Grassland	0.35	Slope>10% : + 0.05
Cultivated land	0.30	Recurrence interval<20y : -0.05
Timber	0.18	Recurrence interval>50y : +0.05
		Mean annual precipitation<600mm: -0.03
		Mean annual precipitation>900mm: +0.03

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-2 สัมประสิทธิ์การไหล C (used by City of Austin, Texas)

(used by City of Asutin, Texas)

Character of surface	Return Period (years) 2	5	10	25	50	100	500
Developed							
Asphaltic	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concrete/roof	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Grass areas (lawns, parks, etc.)							
Poor condition (grass cover less than 50% of the area)							
Flat, 0–2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Average, 2–7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Steep, over 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Fair condition (grass cover on 50% to 75% of the area)							
Flat, 0–2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2–7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Good condition (grass cover larger than 75% of the area)							
Flat, 0–2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Average, 2–7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Steep, over 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Undeveloped							
Cultivated Land							
Flat, 0–2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Average, 2–7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Steep, over 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pasture/Range							

ตารางที่ 2-3 สัมประสิทธิ์ของการไหลออก C ของ กทม. (CDM, 1968)

การใช้พื้นที่	ขนาดของพื้นที่ (ตร.กม.) 0-0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	1.0-5.0	5.0-20.0
ธุรกิจ	0.60	0.50	0.40	0.30	0.25
ที่พักอาศัย หนาแน่น	0.55	0.45	0.35	0.30	0.25
ปานกลาง	0.50	0.40	0.35	0.30	0.25
ต่ำ	0.45	0.35	0.30	0.25	0.20
สถานที่ราชการ โรงงาน	0.40	0.35	0.25	0.20	0.20
สวนสาธารณะ เกษตร	0.30	0.25	0.20	0.15	0.15

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

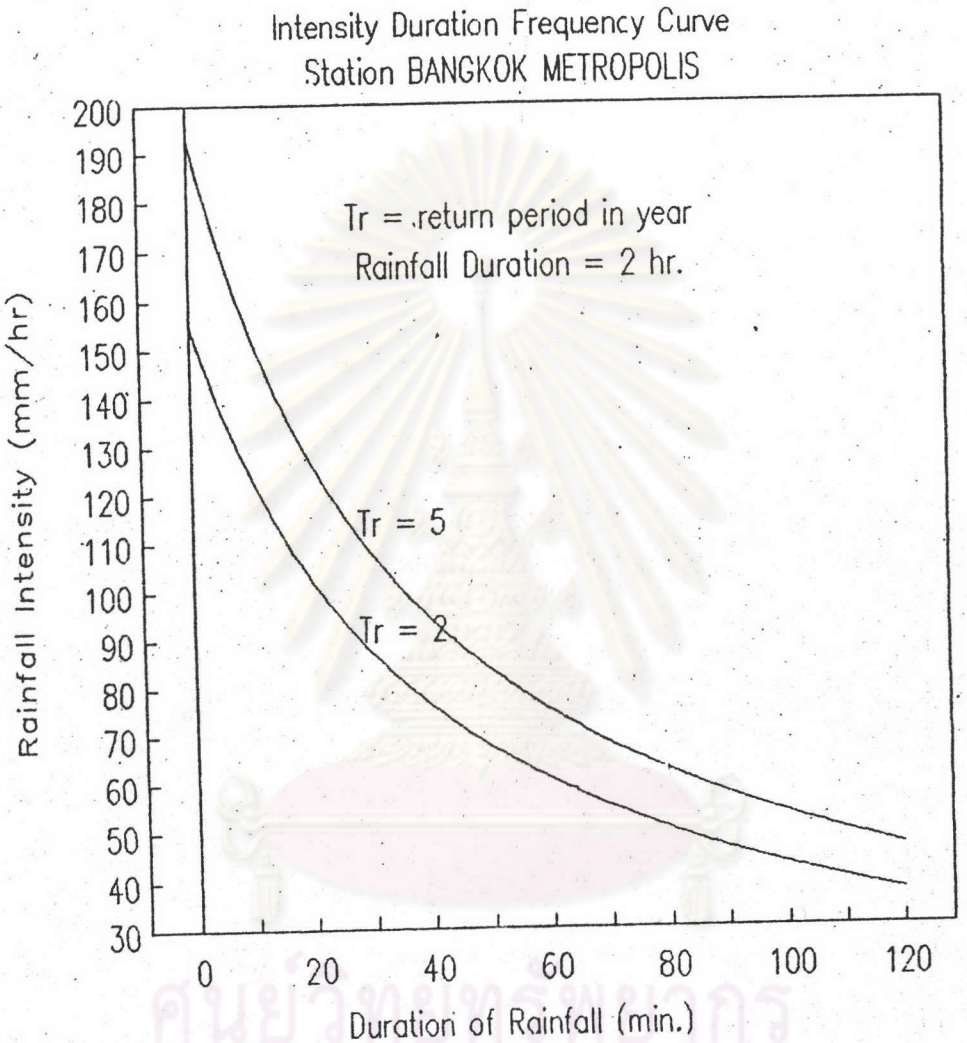
ตารางที่ 2-4 สัมประสิทธิ์ของการไหลออก C (ASCE, 1976)

การใช้พื้นที่	C
ธุรกิจ	
ในตัวเมือง	0.70-0.95
รอบที่พักอาศัย	0.50-0.70
ที่พักอาศัย	
บ้านเดี่ยว	0.30-0.50
บ้านแถว	0.40-0.60
บ้านชุด	0.60-0.75
ที่พักอาศัย ชานเมือง	0.25-0.40
ห้องชุด	0.50-0.70
อุตสาหกรรม	
เบา	0.50-0.80
หนัก	0.60-0.90
สวนสาธารณะ	0.10-0.25
ที่พักรถไฟ	0.20-0.35
ที่ไม่ใช้งาน/รกร้าง	0.10-0.30

ตารางที่ 2-5 สัมประสิทธิ์การไหล C ของ กทม. (NEDECO, 1985)

การใช้พื้นที่	C
ธุรกิจ/ที่อยู่อาศัย หนาแน่น	0.75
ที่อยู่อาศัย ปานกลาง	0.50
ที่อยู่อาศัย ต่ำ	0.40
สถานที่ราชการ	0.40
สวนสาธารณะ/เกษตร	0.15
อุตสาหกรรม	0.70
ที่พักรถไฟ	0.35

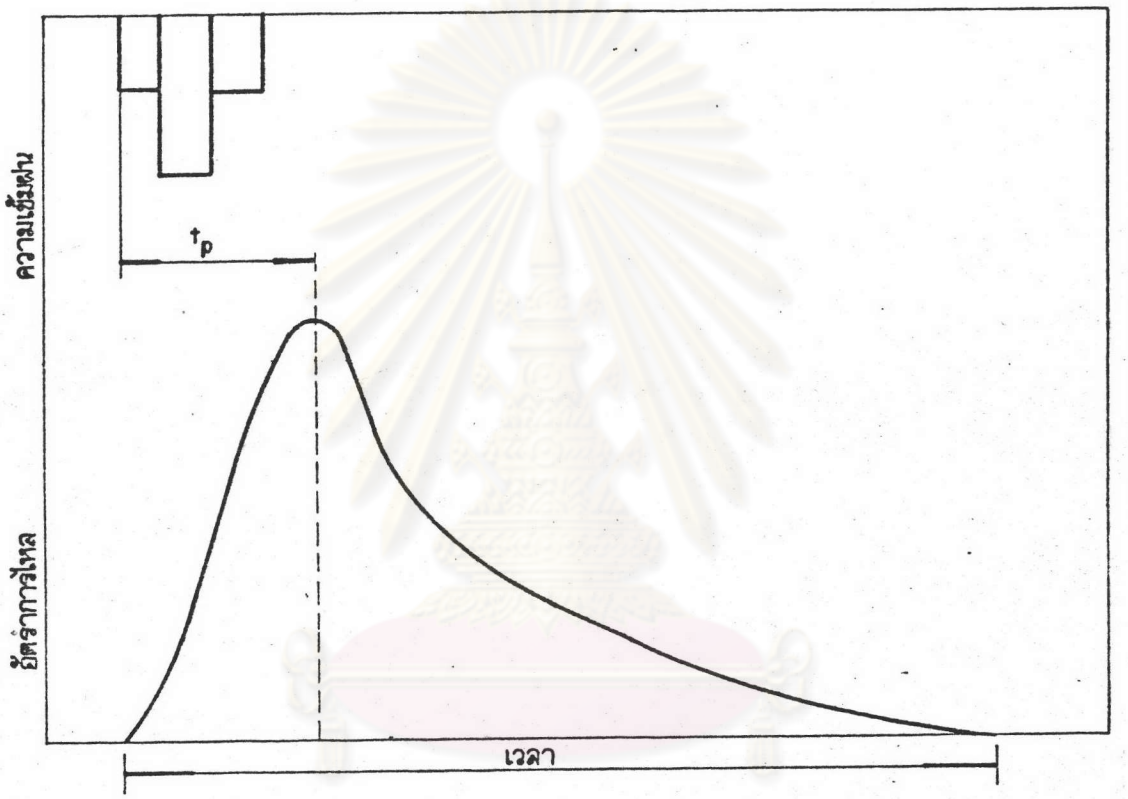
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ที่มา : นิตยา (2532)

รูปที่ 2-17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ ของฝนที่ช่วงเวลาฝนตก 2 ชั่วโมง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-18 ช่วงเวลาน้ำหลากสูงสุด (time to peak, Tp)
(Linsley, Kohler and Paulhus, 2501)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-6 สูตรการหาค่าเวลาน้ำหลากสูงสุด, Tp

ชื่อและเวลา	สูตร Tp (นาที)	หมายเหตุ
Kerby/Hathaway (1959)	$1.44n^{0.47}L^{0.47}S^{-0.235}$	L<400เมตร, Area<10aere, s<1% n=0.02(smooth pavement) 0.1 (bare packed soil) 0.3 (poor grass or rough bare) 0.4 (average grass) 0.8 (dense grass, timber)
Bransby-Williams Izzard (1946)	$\frac{0.058L\ S^{-0.2}A^{-0.1}}{\frac{525.2(2.76\times10^{-5}i+c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}}$	c=retardance coefficient =0.007 (smooth asphalt) 0.012 (concrete pavement) 0.046 (close clipped sod) 0.06 (dense bluegrass turf)
Kinematic wave formulas Morgali and Linsley (1965) Aron and Erborge (1973)	$7.0L^{0.6}n^{0.6}i^{-0.4}s^{-0.3}$	n=Manning roughness coefficient

A = พื้นที่ (ตร.ม.)

i = ความเข้มฝน (มม./ชม.)

L = ความยาวของพื้นที่ (ม.)

s = ความลาดชันของพื้นที่ (ม./ม.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Inc. (Huber et al., 2518) ได้มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางสำหรับระบบระบายน้ำในเขตเมือง เพื่อการวิเคราะห์และออกแบบระบบระบายน้ำที่มีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ทั้งพื้นที่เล็กและพื้นที่ใหญ่ โดยพื้นที่ใหญ่จะถูกแบ่งเป็นพื้นที่ย่อยแล้วหาการหลากไปทางท้ายน้ำของระบบระบายน้ำ ดังนั้น แบบจำลอง SWMM จึงสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่ได้เกือบทุกขนาดตั้งแต่ลานจอดรถไปจนถึงเมืองใหญ่ ๆ ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงมาอย่างต่อเนื่อง จนถึงรุ่นที่ 3 (Huber et al, 2527)

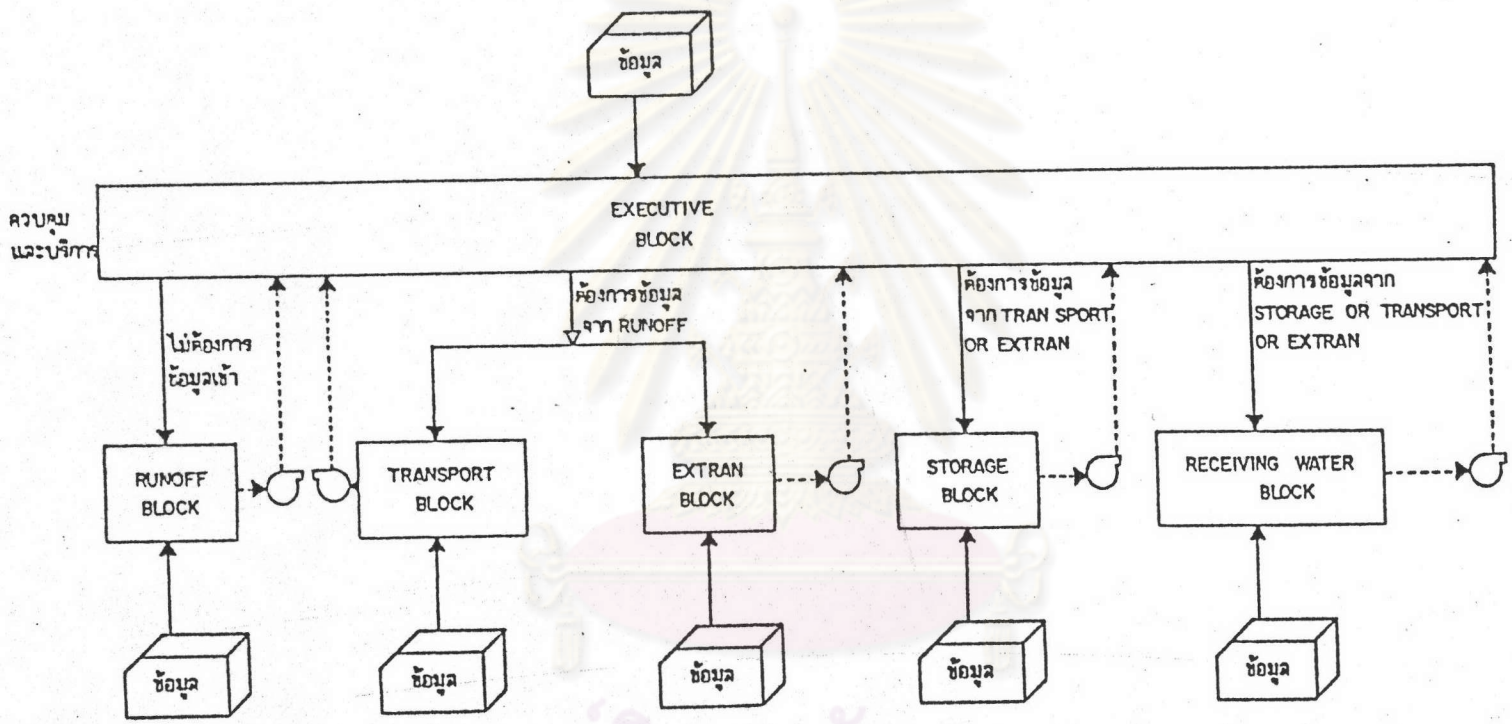
SWMM เป็นโปรแกรมใหญ่ที่ใช้ภาษาฟอร์แทรน ที่สมบูรณ์ทั้งฝน/น้ำท่าในเขตเมือง รวมถึงการไหลหลากตามผิวและระบบท่อระบายน้ำ, ที่เก็บกักน้ำภายในและภายนอกระบบ, มีขบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำพร้อมทั้งคิดราคาของขบวนการนี้ด้วย และรวมถึงส่วนของแหล่งรับน้ำ ซึ่งมีผลกระทบทางด้านคุณภาพน้ำ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ต้องเทียบได้กับเครื่อง IBM 360/65 ผลที่ได้จะอยู่ในรูปตาราง, กราฟน้ำท่า และกราฟมลสาร ซึ่งสามารถแสดงในแต่ละจุดที่ต้องการภายในระบบ ส่วนทางด้านคุณภาพน้ำจะแสดงถึงค่า BOD, สารแขวนลอย, คลอลิฟอร์ม แบบจำลอง SWMM มีโปรแกรมหลักประกอบด้วย 6 บล๊อค ดังรูปที่ 2-19 คือ EXCECUTIVE Block, RUNOFF Block, TRANSPORT Block, EXTRAN Block, STORAGE/TREATMENT Block, และ RECEIVING WATER Block สำหรับหน้าที่หลักของแต่ละบล๊อคมีดังนี้

1. EXECUTIVE Block เป็นบล๊อคจัดการ ซึ่งจะกำหนด Logical Unit (ดิสก์/เทป) ให้ทำหน้าที่เป็นหน่วยรับข้อมูลเข้า (input unit), หน่วยแสดงผล (output unit) และหน่วยเก็บผลชั่วคราว (scratch file) โดยบล๊อคนี้จะเป็นบล๊อคกำหนด ควบคุมและเรียกใช้บล๊อคคำนวณต่าง ๆ ทั้ง 5 บล๊อค เรียงตามลำดับ

2. RUNOFF Block มีหน้าที่คำนวณหาน้ำท่าพร้อมทั้งคุณภาพ จากข้อมูลฝน โดยใช้การประมาณคลื่นจลนศาสตร์เชิงเส้น (linear kinematic wave) เป็นพื้นฐานหาการหลากไหลตามผิวด้วยสมการต่อเนื่อง และสมการของแมนนิ่ง ซึ่งคิดถึงการสูญเสียจากการซึมลงดินด้วย พร้อมทั้งหาการหลากในทางน้ำด้วยวิธีการเดียวกัน แล้ววิเคราะห์หาผลลัพธ์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยที่ยังไม่พิจารณาถึงผลกระทบอันเกิดจากน้ำไหลย้อน (backwater effect) และอาคารควบคุมการไหล

3. TRANSPORT Block จะหาการหลากของการไหลในทางระบายน้ำหลักโดยใช้วิธีประมาณคลื่นจลนศาสตร์แบบไม่เชิงเส้น คือใช้สมการต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัมร่วมกับสูตรแมนนิ่ง ซึ่งพิจารณาถึงผลอันเกิดจากน้ำไหลย้อน และมีอาคารควบคุมการไหล แล้ววิเคราะห์หาผลลัพธ์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข ได้ไฮโดรกราฟ, ระดับน้ำ, และคุณภาพน้ำที่เวลาใด ๆ ณ จุดพิจารณา

4. EXTRAN Block ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ TRANSPORT Block ซึ่งหาการหลากของการไหลในทางระบายน้ำหลักที่มีโครงข่ายของระบบเป็นรูปบ่วง (loop) โดยจำลองระบบระบายน้ำด้วย link-node พิจารณาผลอันเกิดจากน้ำไหลย้อน หรือเมื่อเกิดการไหลแบบกึ่งความดัน (partial surcharge) และอุปกรณ์ควบคุมการไหลต่าง ๆ ซึ่งใช้สมการการไหลในทางน้ำเปิด



รูปที่ 2-19 โครงสร้างหลักของแบบจำลอง SWMM

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบการไหลไม่คงที่และเปลี่ยนแปลงน้อย (the gradually varied, unsteady flow equation for open channels or Saint-Venant or shallow water equation) เต็มรูปแบบ แล้วหาคำตอบโดยวิธีทาง explicit finite-difference ได้อัตราการไหลที่ link หรือท่อและระดับน้ำที่ node หรือบ่อพัก (manhole) ณ เวลาใด ๆ

5. STORAGE/TREATMENT Block จะคำนวณหาการหลากผ่านหน่วยเก็บกักน้ำพร้อมทั้งการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยใช้สมการต่อเนื่องเป็นสมการพื้นฐาน และการไหลออกจะใช้อาคารควบคุมการไหล คือ ฝาย, สูบน้ำ, และออริฟิส พร้อมทั้งคำนวณค่าลงทุนสำหรับวิธีการนั้นด้วย

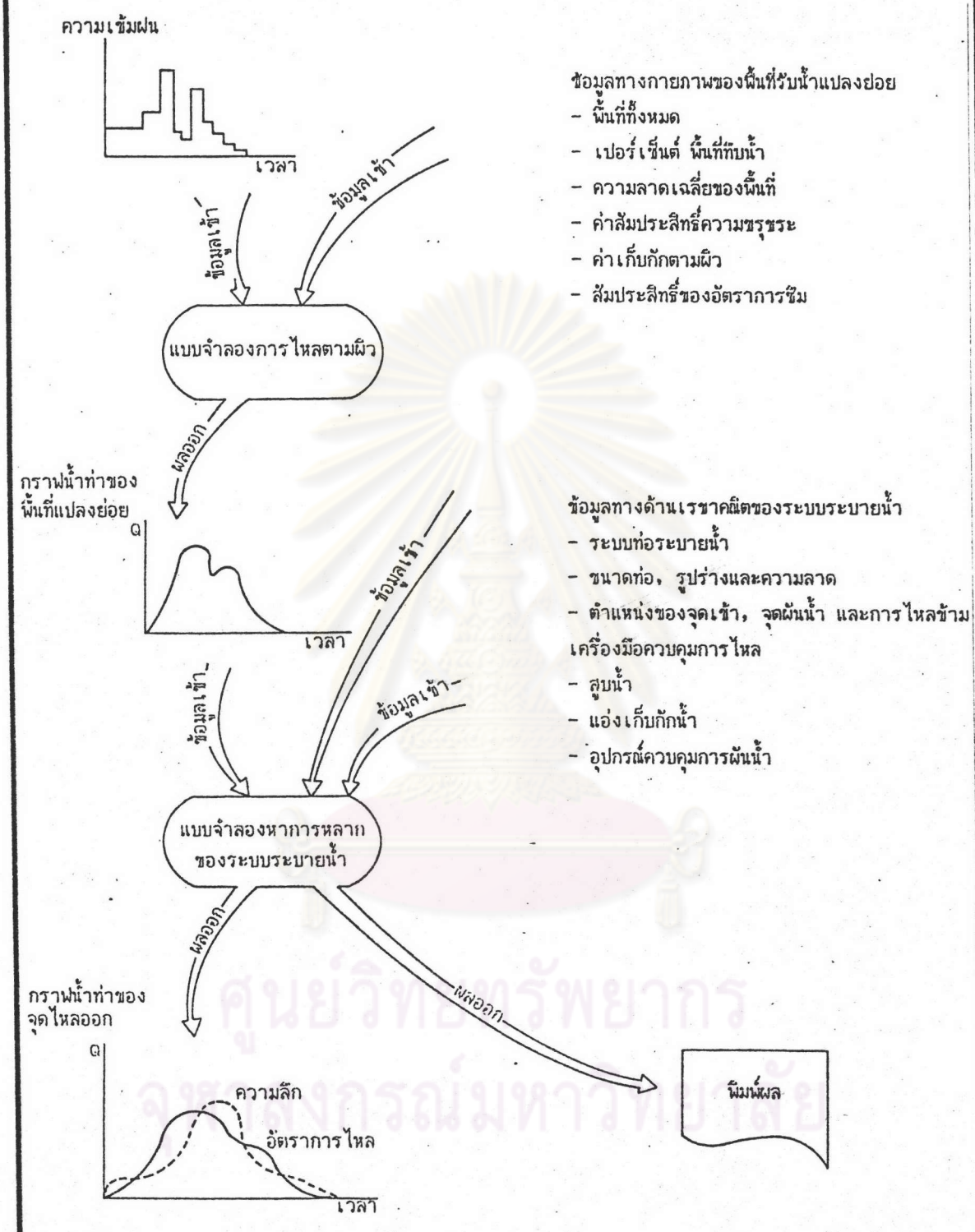
6. REVEIVING WATER Block คำนวณผลกระทบอันเกิดจากการระบายน้ำลงสู่แหล่งรับน้ำเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ ระดับน้ำของแหล่งรับน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยจำลองแหล่งรับน้ำเป็นระบบโครงข่ายหนึ่งมิติ แล้วใช้สมการโมเมนตัมและสมการต่อเนื่องเป็นพื้นฐานของการไหลทางชลศาสตร์ และคำนวณหาผลลัพธ์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข (modified Runge-Kutta method) จะได้การแพร่กระจายของมลสารและการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแหล่งรับน้ำที่เวลาใด ๆ

ปัจจุบันแบบจำลอง SWMM ได้พัฒนาถึงรุ่นที่ 3 (Huber et al., 2527) ได้เพิ่มบล็อคคำนวณอีกบล็อคหนึ่งคือ STATISTIC Block จะแยกการจำลองสภาพที่ต่อเนื่องของไฮโดรกราฟและกราฟมลสาร ในแต่ละเหตุการณ์ฝน, คำนวณวิเคราะห์ผลทางสถิติ พร้อมทั้งวิเคราะห์ความถี่ เบื้องต้น SWMM ยังมีรุ่นที่พัฒนาขึ้นมาใช้ได้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ (James and Robinson, 2527)

ในการศึกษานี้จะใช้บล็อคคำนวณของแบบจำลอง SWMM 2 บล็อค คือ RUNOFF Block และ EXTRAN Block โครงสร้างของแบบจำลองทั้งสอง ดังรูปที่ 2-20 สำหรับทฤษฎี และหลักการในส่วนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีดังต่อไปนี้

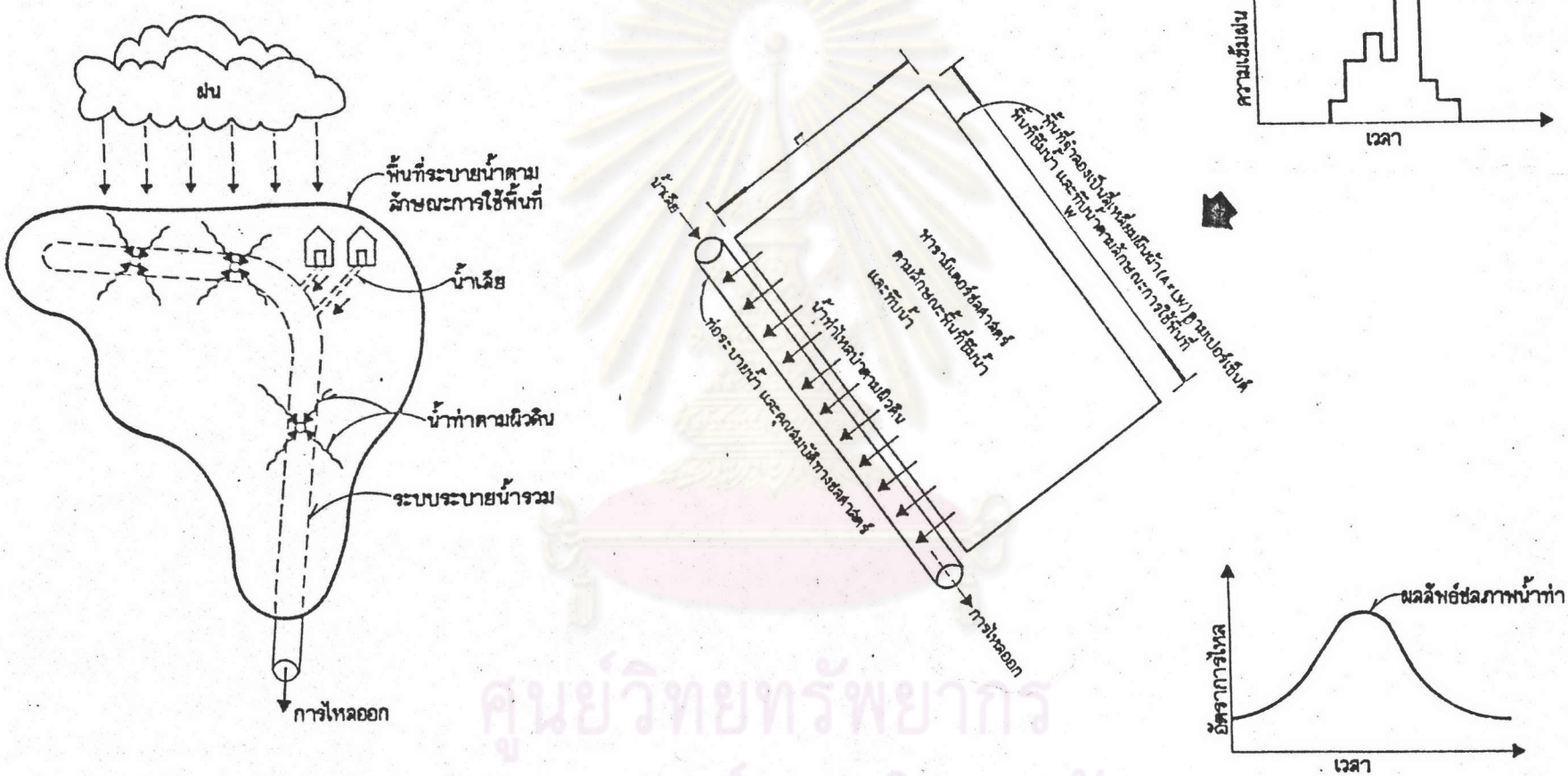
2.7.2.1 ทฤษฎีที่ใช้ใน RUNOFF Block

แม้ว่าระบบน้ำท่าผิวดินจะเป็นระบบระบายน้ำที่อยู่บนดิน แต่บ่อยครั้งที่มักจะรวมท่อระบายน้ำบางส่วนเข้ากับระบบนี้ในการนำมาใช้คำนวณหาปริมาณน้ำท่า เหตุผลก็คือวิธีการคำนวณที่ใช้คำนวณการไหลผ่านทางน้ำผิวดินสามารถนำมาใช้คำนวณการไหลผ่านท่อได้เช่นเดียวกัน การทำเช่นนี้จะทำให้สามารถคำนวณได้เร็วกว่าวิธีที่ใช้ในระบบขนส่งน้ำ ในพื้นที่ระบายน้ำแปลงย่อยดังรูปที่ 2-21 อาจจะมีการใช้ที่ดินหลายประเภทอยู่ในพื้นที่นั้น โดยแต่ละประเภทมีพื้นที่ที่รับน้ำคิดเป็นเปอร์เซนต์ต่างกัน ดังนั้นจึงแบ่งผิวราบ ออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ประกอบด้วยผิวที่รับน้ำทั้งหมดที่มีแอ่งพักน้ำรวมอยู่ด้วยไม่คำนึงว่าจะอยู่ที่ส่วนไหน ปริมาณน้ำจากส่วนนี้จะไหลลงสู่ทางระบายน้ำริมทางหรือท่อระบายน้ำเล็ก ๆ ส่วนที่ 2 ประกอบด้วยผิวที่รับน้ำส่วนที่ไม่มีแอ่งชลอน้ำรวมอยู่ด้วยเลย ฉะนั้นเมื่อฝนตกลงมาก็จะเกิดน้ำท่าทันที ส่วนที่ 3 ประกอบด้วยผิวที่น้ำซึมผ่านได้ น้ำที่ไหลออกมาจากพื้นที่ทั้ง 3 ส่วนรวมกันเป็นน้ำท่าทั้งหมดแล้วไหลไปตามทางระบายน้ำเล็ก ๆ หรือท่อระบายน้ำเล็ก ๆ



รูปที่ 2-20 โครงสร้างของแบบจำลอง SWMM (แบบจำลอง RUNOFF และ EXTRAN)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-21 หลักการจำลองพื้นที่ระบายน้ำของแบบจำลองน้ำท่าผิวดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RUNOFF Block จะคำนวณการไหลอยู่ 2 แบบ คือ การไหลบ่าไปตามผิวดิน และการไหลหลากในทางระบายน้ำ ผังการคำนวณ ของ RUNOFF Block ดังรูปที่ 2-22

1. การคำนวณการไหลบ่าไปตามผิวดิน (overland flow computation)

การคำนวณการไหลบ่าไปตามผิวดินจะใช้การประมาณค่าคลื่นจลนศาสตร์ (kinematic wave approximation) ซึ่งสมมติให้ความลาดชันเสียดทาน (friction slope) มีค่าเท่ากับความลาดชันของระนาบ (slope of the plane) และใช้สมการต่อเนื่อง (continuity equation) กับสมการการไหลสม่ำเสมอ (uniform flow equation, Manning's equation) หาคำตอบได้ทันทีในแต่ละก้าวเวลา (time step) ที่กำหนด คำตอบที่ได้คือความลึกการไหล และปริมาณการไหลของแต่ละพื้นที่ย่อยที่แฝงไว้ ขั้นตอนหาการไหล (flow routing algorithm) จะใช้เรียงตามลำดับจากพื้นที่ผิวทึบน้ำมีแอ่งน้ำ (impervious with detention) พื้นที่ผิวทึบน้ำที่ไม่มีแอ่งน้ำ (impervious without detention), และพื้นที่ผิวที่น้ำซึมผ่านได้ (pervious planes) การคำนวณการไหลของน้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดิน ดังรูปที่ 2-23 การคำนวณจะหาความลึกการไหลใหม่ คือ d_1, ที่หาได้จากปริมาณการไหล Q และขณะเดียวกันก็ยังคงดำรงความต่อเนื่องมวลอยู่ตลอดเวลา การหาความลึกการไหลสามารถกระทำได้ดังนี้

สมการที่ใช้มีอยู่ 2 สมการ ดังนี้

1) สมการความต่อเนื่อง หรือสมการสะสม (continuity or storage equation)

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = R - I \pm \frac{Q_i}{L} \qquad \text{----------(2.2)}$$

เมื่อ $d = d_1 - d_o$

R = ปริมาณฝนตกระหว่างเวลา t (มม./ชม.)

I = ปริมาณไหลซึมลงดินระหว่าง t (มม./ชม.)

Q_i = ปริมาณไหลออกจากพื้นที่ระบายน้ำแปลงย่อยระหว่างเวลา t (ลบ.ม./ว./ม.)

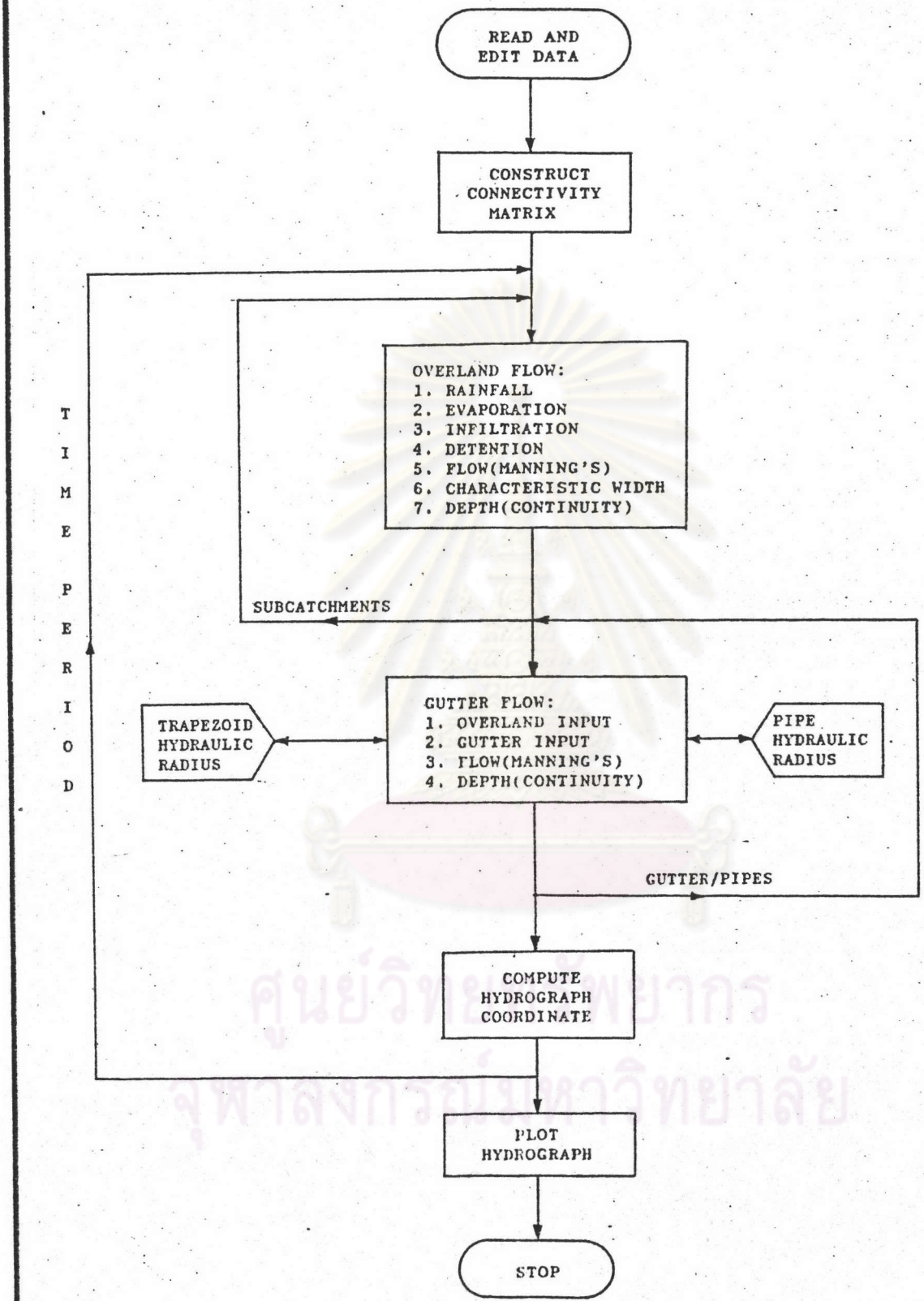
L = ความยาวของพื้นที่ระบายน้ำแปลงย่อย (เมตร)

กรณีที่มีน้ำไหลเข้ามาทางด้านเหนือน้ำของพื้นที่ที่พิจารณาด้วย และพิจารณาพื้นที่ให้กว้าง 1 หน่วย สมการที่ (2.2) จะเปลี่ยนเป็น

$$\frac{\Delta d}{\Delta t} = R - I + \frac{Q_i - Q}{L} \qquad \text{----------(2.2ก)}$$

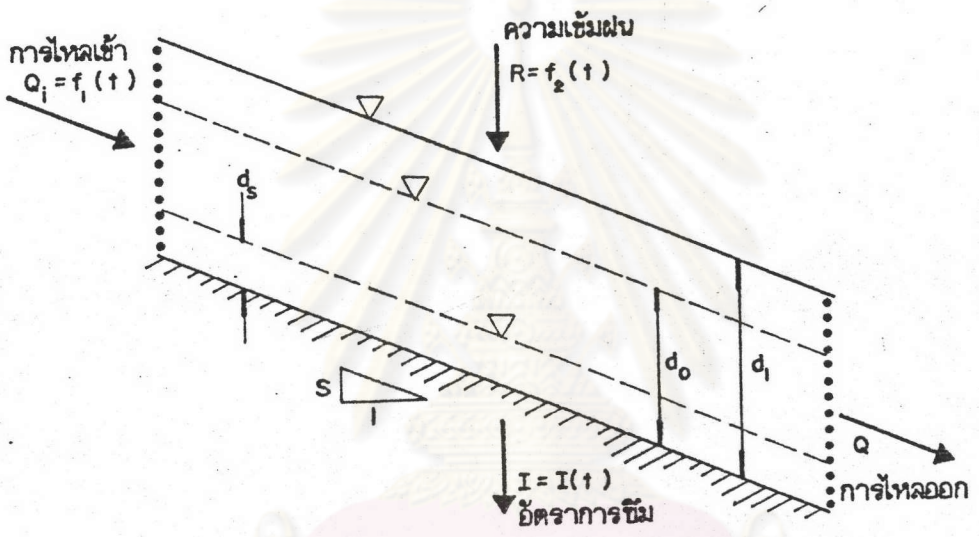
เมื่อ Q_i = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามา

$= f_i(t)$



รูปที่ 2-22 ผังการคำนวณของ RUNOFF Block

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-23 หลักการคำนวณการไหลของน้ำที่ไหลบ่าไปตามผิวดินสำหรับพื้นที่รับน้ำย่อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) สมการแมนนิ่งสำหรับการไหลบ่าไปตามผิวดิน

สมมติให้การไหลบ่าไปตามผิวดินเป็นการไหลในทางน้ำเปิดกว้าง (wide channel flow) ดังนั้นรัศมีชลศาสตร์ (R) ซึ่งมีค่าเท่ากับความลึกการไหลเฉลี่ย และสมการแมนนิ่ง จะเป็น

$$Q = \frac{1}{n}S^{1/2}w\left(\left(\frac{d_0+d_1}{2}\right)-d_s\right)^{5/3} \qquad \text{----------(2.3)}$$

เมื่อ S = ความลาดชันของผิวดิน

n = สัมประสิทธิ์แมนนิ่ง

w = ความกว้างของระนาบการไหล (characteristic width) (เมตร)

d_o = ความลึกการไหลที่เวลา t (เมตร)

d_1 = ความลึกการไหลที่เวลา t + t (เมตร)

d_s = ความลึกเก็บกัก (depression depth) ค่ามากที่สุด (เมตร)

ค่าความเข้มของฝนที่ใส่เข้าไปจะแปรผันตามเวลา แต่จะมีค่าคงที่ในช่วงเวลา t ปริมาณการไหลซึมลงดินจะคำนวณจากสมการฮอร์ตัน (Horton's formula) คือ

$$I = f_c+(f_0-f_c)e^{-kt} \qquad \text{----------(2.4)}$$

เมื่อ I = อัตราไหลซึมลงดิน (มม./ชม.)

f_c, f_o = อัตราการซึมลงดินน้อยที่สุดและมากที่สุดตามลำดับ (มม./ชม.)

k = อัตราชี้กำลังของความสูญเสียในความจุปริมาณการไหลซึม $(\text{นาที})^{-1}$

t = เวลา (นาที)

ค่าอัตราการซึมนี้อาจใช้จากกราฟมาตรฐาน ดังรูปที่ 2-24 สำหรับการศึกษานี้ได้ทำการทดลองวัดค่าอัตราการซึมในสนาม ซึ่งจะกล่าวไว้ในบทที่ 3

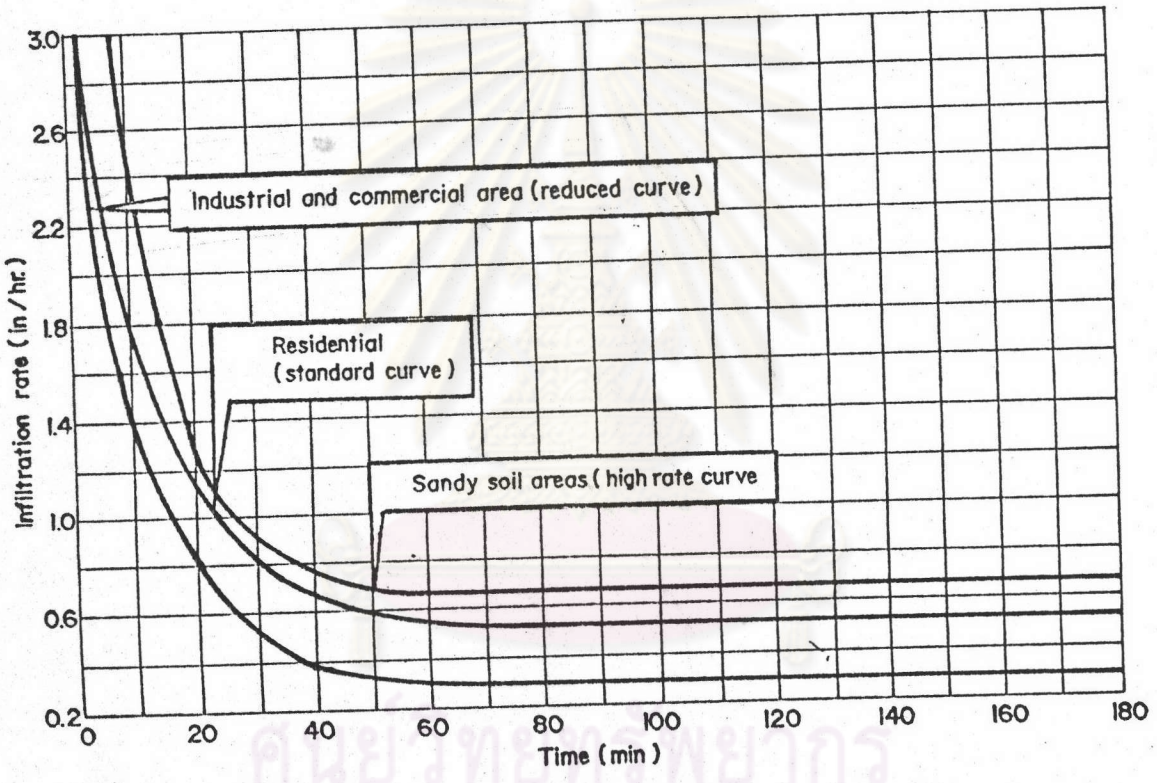
สมการที่ (2.3) และ (2.4) ไม่เป็นสมการเชิงเส้น การแก้สมการจะทำโดยใช้เทคนิคทำซ้ำของ นิวตัน-รัฟสัน (Newton-Raphson iterative technique)

กรณีผิวทึบน้ำที่ไม่มีแอ่งน้ำ I = 0

กรณีผิวทึบน้ำที่มีแอ่งน้ำ I = 0 และ d_s = 0

2. การหาการหลากของน้ำในทางน้ำ (channel routing)

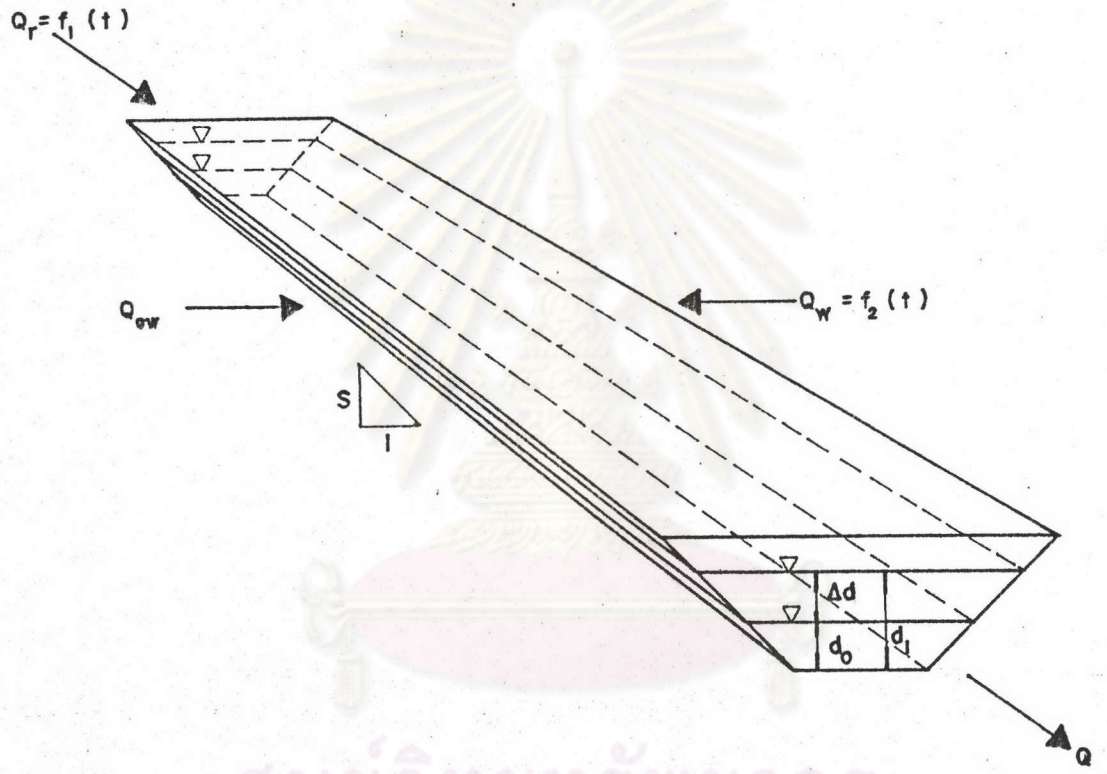
น้ำท่าที่คำนวณได้นั้นที่ผิวทั้งสามส่วนของพื้นที่ระบายน้ำแปลงย่อยรวมกันมีค่าเท่ากับ Q_u ซึ่งจะไหลระบายไปตามทางน้ำหรือท่อระบายน้ำ ซึ่งนำน้ำออกจากพื้นที่ระบายน้ำ ดังรูปที่ 2-25 ดังนั้นในแต่ละก้าวเวลา, t จะต้องคำนวณหาปริมาณน้ำ, Q ที่ไหลออกมาจากทางน้ำ



รูปที่ 2-24 กราฟค่าอัตราการซึมมาตรฐาน

ที่มา : American Society of Civil Engineers

Manual of Engineering Practice NO.37, 2503.



รูปที่ 2-25 หลักการคำนวณปริมาณการไหลของน้ำในทางน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการคำนวณหาค่า d_1 และ Q โดยใช้วิธีการประมาณคลื่นจลนศาสตร์และสมการความต่อเนื่องกับสมการการไหลสม่ำเสมอ (Manning's equation)

1) สมการต่อเนื่อง คือ

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_I + Q_W + Q_{GW} - Q \qquad \text{----------(2.5)}$$

เมื่อ d_0 = ความลึกการไหลที่เวลา t (เมตร)

d_1 = ความลึกการไหลที่เวลา t + t (เมตร)

Q_1 = ปริมาณน้ำที่ไหลมาจากทางน้ำด้านเหนือน้ำ = f_1 (t) (ลบ.ม./ว.)

Q_L = ปริมาณน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่ระบายน้ำแปลงย่อย = f_2 (t) (ลบ.ม./ว.)

Q_{GW} = ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลลงทางระบายน้ำ, ถือว่ามีค่าคงที่ (ลบ.ม./ว.)

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากทางน้ำ (ลบ.ม./ว.)

เมื่อ V = ปริมาณที่เปลี่ยนไป (เพิ่มขึ้นหรือลดลง) เนื่องจาก d และปริมาณที่ไหลออกจากทางน้ำ, Q หาได้จากสมการแมนนิ่ง

2) สมการการไหลสม่ำเสมอ

$$Q^* = \frac{1}{n} R_H^{2/3} S^{1/2} A \qquad \text{----------(2.6)}$$

เมื่อ Q^* = ค่า Q เฉลี่ยที่คำนวณจากความลึกการไหล d_0 และ d_1 (ลบ.ม./ว.)

n = ค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่ง

R_H = รัศมีชลศาสตร์ (เมตร)

S = ความลาดชันของทางน้ำ (เมตร/เมตร)

A = หน้าตัดการไหล (ตร.ม.)

การแก้สมการจะใช้เทคนิคทำซ้ำของนิวตัน-รัฟสัน เช่นกัน

2.7.2.2 ทฤษฎีที่ใช้ใน EXTRAN Block

หน้าที่เฉพาะของระบบขนส่งน้ำ คือ เป็นเส้นทางลำเลียงน้ำท่าผิวดินและสิ่งสกปรกไหลไปตามโครงข่ายของท่อ, จุดเชื่อมและอาคารพิเศษของระบบระบายน้ำสายหลัก ผ่านไปยังโรงกำจัดน้ำเสียหรือไปยังแหล่งรับน้ำโดยตรง การแบ่งระหว่างระบบน้ำท่าผิวดินกับระบบขนส่งน้ำจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการจำลองสภาพ การคำนวณในระบบขนส่งน้ำจะใช้เมื่อมีการพิจารณาเงื่อนไขการเกิดน้ำไหลย้อน (backwater conditions) ทางน้ำที่ต่อเชื่อมเป็นรูปบ่วง (looped channel) หรือเมื่อเกิดการไหลด้วยความดันในท่อระบายน้ำ (partial surcharge), และเมื่อมีอุปกรณ์และอาคารควบคุมการไหล เช่น ฝาย, ออริฟิซ, สูบน้ำ, แอ่งเก็บกักน้ำ และประตูระบายน้ำ (tide

gates) สำหรับแบบจำลองน้ำท่า (runoff model) จะเหมาะกับการจำลองสภาพการไหลบ่าไปตามพื้นผิวดิน (overland flow) และท่อระบายมีขนาดเล็กซึ่งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของระบบระบาย

2.7.2.2.1 หลักการคำนวณของระบบขนส่งน้ำ

ระบบขนส่งน้ำ จะใช้วิธี link-node ดังรูปที่ 2-26 ซึ่งมีความเหมาะสมกับทางน้ำแบบโครงข่าย (network) ทางน้ำจะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ที่จุดแบ่งจะคิดเป็น storage tank หรือจุดเชื่อมเรียกว่า node และทางน้ำหรือท่อที่เชื่อมระหว่าง node เรียกว่า link แนวความคิด link-node นี้เป็นประโยชน์สำหรับแทนอาคารควบคุมการไหล และคุณสมบัติเฉพาะของ link และ node ดังในตารางที่ 2-7

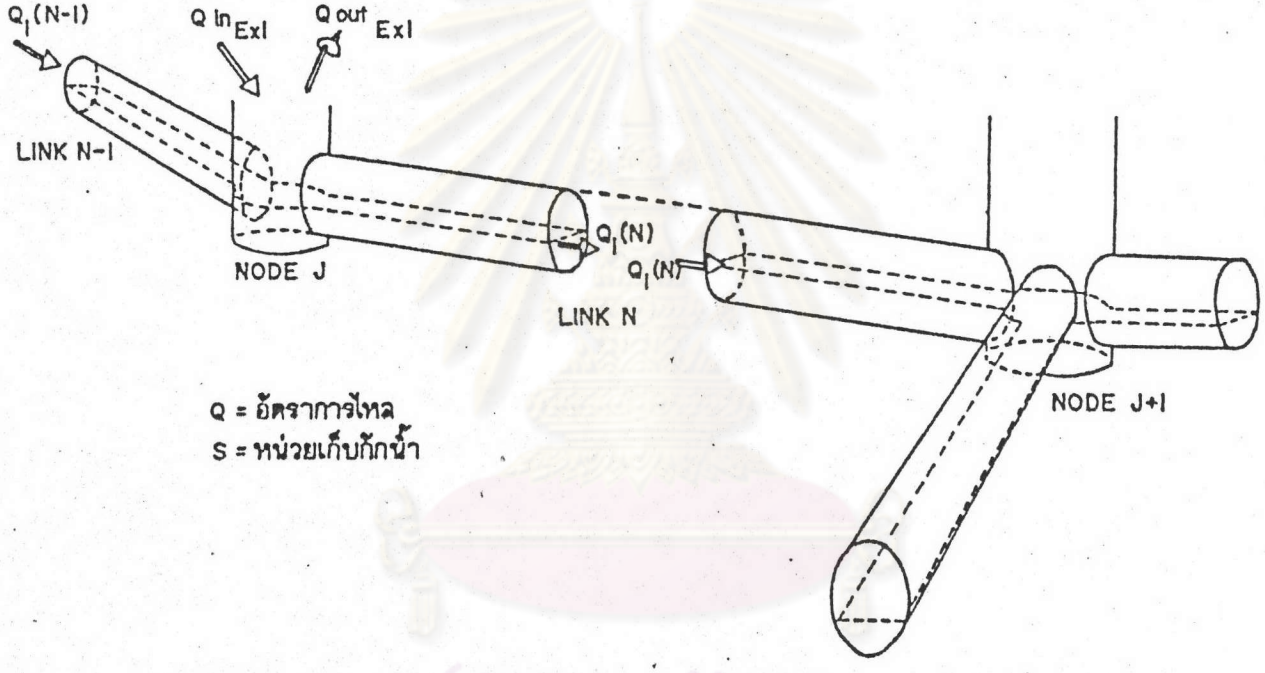
ตารางที่ 2-7 คุณสมบัติของ link และ node ในแบบจำลองขนส่งน้ำ (EXTRAN Model)

รายการ	คุณสมบัติและเงื่อนไขบังคับ
<u>nodes</u> - เงื่อนไขบังคับ - คุณสมบัติที่คำนวณในแต่ละช่วงเวลา - คุณสมบัติคงที่	 - Q = การเปลี่ยนแปลงในปริมาณสะสม - ปริมาตร, พื้นที่ผิว, ความสูงพลัง (head) - ระดับก้น node, ระดับหลัง node, ระดับพื้นดิน
<u>links</u> - เงื่อนไขบังคับ - คุณสมบัติที่คำนวณในแต่ละช่วงเวลา - คุณสมบัติคงที่	 - $Q_{in} = Q_{out}$ - พื้นที่หน้าตัดการไหล, รัศมีชลศาสตร์, ความกว้างผิวน้ำ อัตราการไหลและความเร็วการไหล - สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน รูปร่างของท่อ, ความยาว, ความลาดชัน, ความขรุขระ ระดับก้นท่อและระดับหลังท่อ

สมมุติฐานของการจำลองวิธี link-node มีดังนี้

1) ความสูงพลังงาน, H จะสมมุติให้มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา แต่ถือว่าคงที่ตลอดใน node ใด ๆ

2) น้ำที่ไหลเข้ามา เช่น กราฟน้ำท่าที่จุดทางเข้า และน้ำที่ไหลออกไป เช่น ฝายผันน้ำออกไปจะถือว่าเกิดขึ้นที่ node



หลักการแทนแบบจำลองการขนส่งน้ำ

รูปที่ 2-26 หลักการจำลอง link-node ของแบบจำลอง EXTRAN

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ปริมาตรของ node ที่เวลาใด ๆ จะถือว่ามีค่าเท่ากับปริมาตรของน้ำที่อยู่ใน link หรือในท่อซึ่งมีความยาวครึ่งหนึ่งของ link หรือท่อทุกสายที่มาเชื่อมกับ node ที่พิจารณา

4) ค่าอัตราการไหล, Q จะจำลองไว้ที่กลาง link และมีค่าคงที่ตลอดใน link นั้น แต่ถือว่าความเร็ว, พื้นที่หน้าตัดการไหลหรือความลึกเป็นตัวแปรค่า

5) ระดับก้น node จะถือว่าเทากับระดับก้นท่อที่ต่ำที่สุดที่มาเชื่อมกับ node นั้น

สำหรับผังการคำนวณของ EXTRAN Model ดังรูปที่ 2-27

2.7.2.2.2 สมการการไหลพื้นฐาน (basic flow equation)

สมการการไหลพื้นฐานสำหรับเทคนิค link-node ที่ใช้ในแบบจำลองมีดังนี้

1) สมการโมเมนตัม

สมการโมเมนตัมจะนำมาจากสมการการไหลแบบไม่คงที่ที่มีการเปลี่ยนแปรที่ละน้อยของการไหลในทางน้ำเปิด (the gradually varied unsteady flow equation for open channels or Saint Venant equation) สมการสำหรับหาอัตราการไหลแบบไม่คงที่ และมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง (the unsteady spatially varied discharge) คือ

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -gAS_f + 2V\frac{\partial A}{\partial t} + V^2\frac{\partial A}{\partial x} - gA\frac{\partial H}{\partial x} \qquad \text{----------(2.7)}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลใน link หรือท่อ (ลบ.ม./ว.)

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลใน link หรือท่อ (ม./ว.)

A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ตร.ม.)

H = ความสูงพลังงาน (hydraulic head) (เมตร)

S_f = ความลาดชันเสียดทาน (friction slope)

$$S_f = \frac{k}{gAR^{4/3}}Q|V| \qquad ,k = g(n-1)^2$$

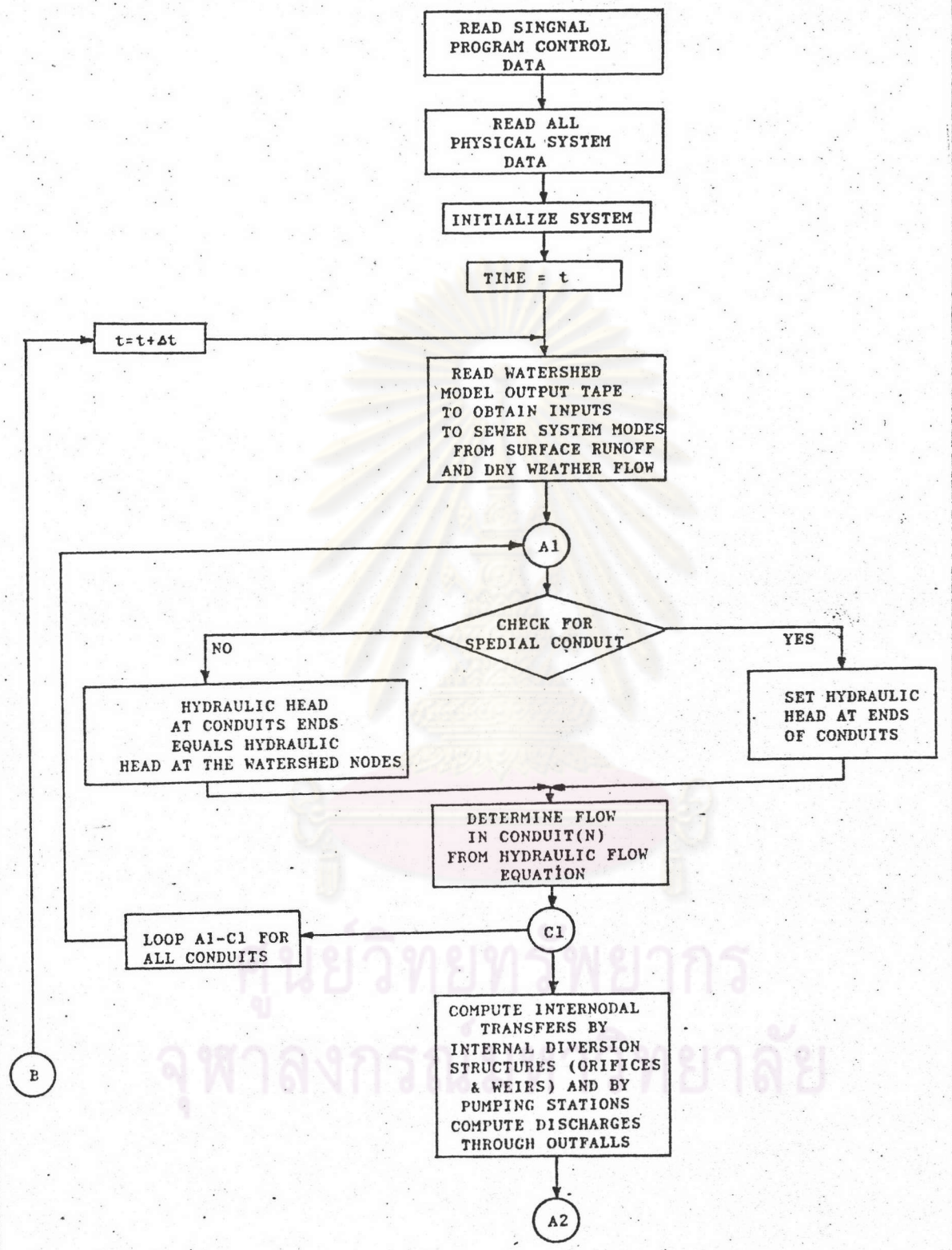
t = เวลา (วินาที)

2) สมการต่อเนื่องที่ node

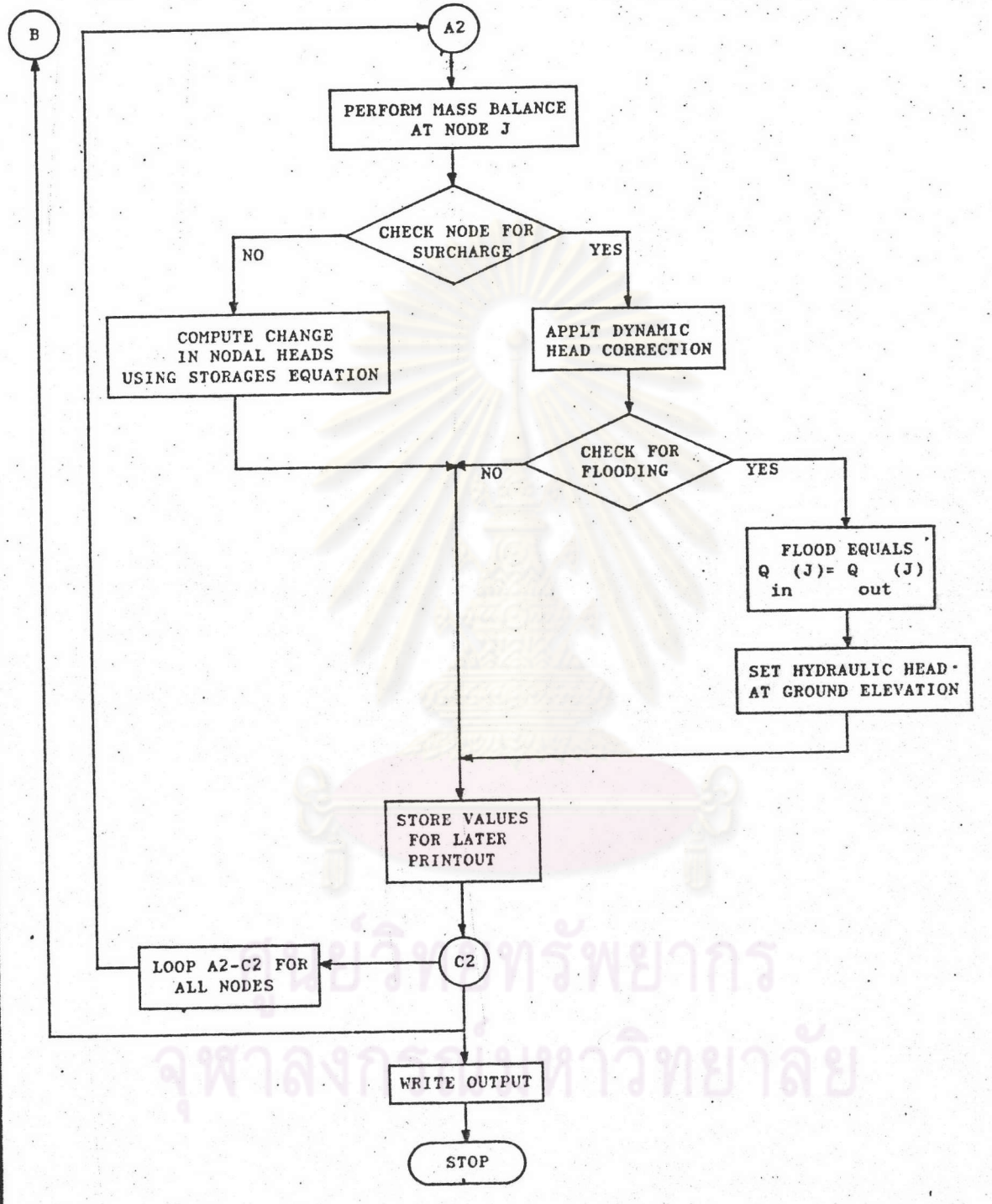
$$\left(\frac{\partial H}{\partial t}\right)_t = \Sigma Q_t / AS_t \qquad \text{----------(2.8)}$$

เมื่อ A_{st} = พื้นที่ผิวน้ำที่ node

สมการที่ (2.7) และ (2.8) จะทำให้อยู่ในรูปผลต่างต่อเนื่อง (finite difference form)



รูปที่ 2-27 ผังการคำนวณของ EXTRAN Model



รูปที่ 2-27 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และนำมาใช้ตามลำดับ เพื่อหาค่าอัตราการไหล, Q ในแต่ละ link และหาค่าความสูงพลังงาน, H ในแต่ละ node ของแต่ละช่วงเวลา, t การอินทิเกรตเชิงตัวเลขของสมการที่ (2.7) และ (2.8) จะกระทำได้โดยวิธีแปรออยเลอร์ปรับปรุง (a modified Euler method)

2.7.2.2.3 อาคารควบคุมการไหล

อาคารควบคุมการไหลจะติดตั้งไว้ที่ node ซึ่งอาจจะทำหน้าที่ผันน้ำจาก node หนึ่งสู่อีก node หนึ่ง เช่น ฝาย, ออริฟิส, ปั๊ม เป็นต้น หรือที่เก็บกักน้ำชั่วคราว

1) แอ่งเก็บกักน้ำ (storage devices)

แอ่งเก็บกักน้ำนี้จะเป็นอาคารควบคุมการไหลโดยกักน้ำไว้ด้านเหนือน้ำ ทำให้อัตราการไหลของน้ำเนื่องจากน้ำฝนลดลง และช้าลง (attenuating and lagging) หลักการของการจำลองสภาพแอ่งเก็บกักน้ำ ดังรูปที่ 2-28 ซึ่งค่าพื้นที่ผิวของแอ่งเก็บกักน้ำนี้จะรวมถึงพื้นที่ผิวน้ำของท่อที่มาเชื่อมต่อด้วยคือ ASTORE + AS และ ZCROWN(J) คือค่าระดับบนหลังแอ่งเก็บกักน้ำ เมื่อค่าความสูงพลังงานมีค่าสูงกว่าระดับ ZCROWN(J) ที่ node นั้นก็จะเกิดการไหลแบบกึ่งความดัน (surcharge)

2) ออริฟิส (orifices)

วัตถุประสงค์ของออริฟิส จะใช้เพื่อการผันน้ำทิ้งที่ไหลมาตามท่อระบายไปสู่โรงกำจัดน้ำเสียในช่วงฤดูแล้ง และอาจจะเป็นส่วนช่วยผันน้ำฝนมิให้ไหลไปสู่โรงบำบัดน้ำเสียในช่วงเกิดน้ำท่า หรืออาจจะใช้ผันน้ำจากท่อหนึ่งไปสู่ท่ออื่น ๆ, สถานีสูบน้ำ หรือ แอ่งเก็บกักน้ำ รูปที่ 2-29 แสดงลักษณะออริฟิสผันน้ำ 2 แบบ คือ 1) การไหลลอดด้านล่าง (sump orifice) และ 2) ออริฟิสไหลออกด้านข้าง (side outlet orifice) EXTRAN จะจำลองสภาพโดยปรับออริฟิสทั้งสองนี้ไปเป็นท่อสมมูลย์ จากสมการมาตรฐานของการไหลแบบออริฟิส คือ

$$Q_0 = C_0 A\sqrt{2gh} \qquad \text{----------(2.9)}$$

เมื่อ C_0 = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของออริฟิส (ขึ้นกับรูปร่างทางเข้าและความยาวของท่อออริฟิสนั้น)

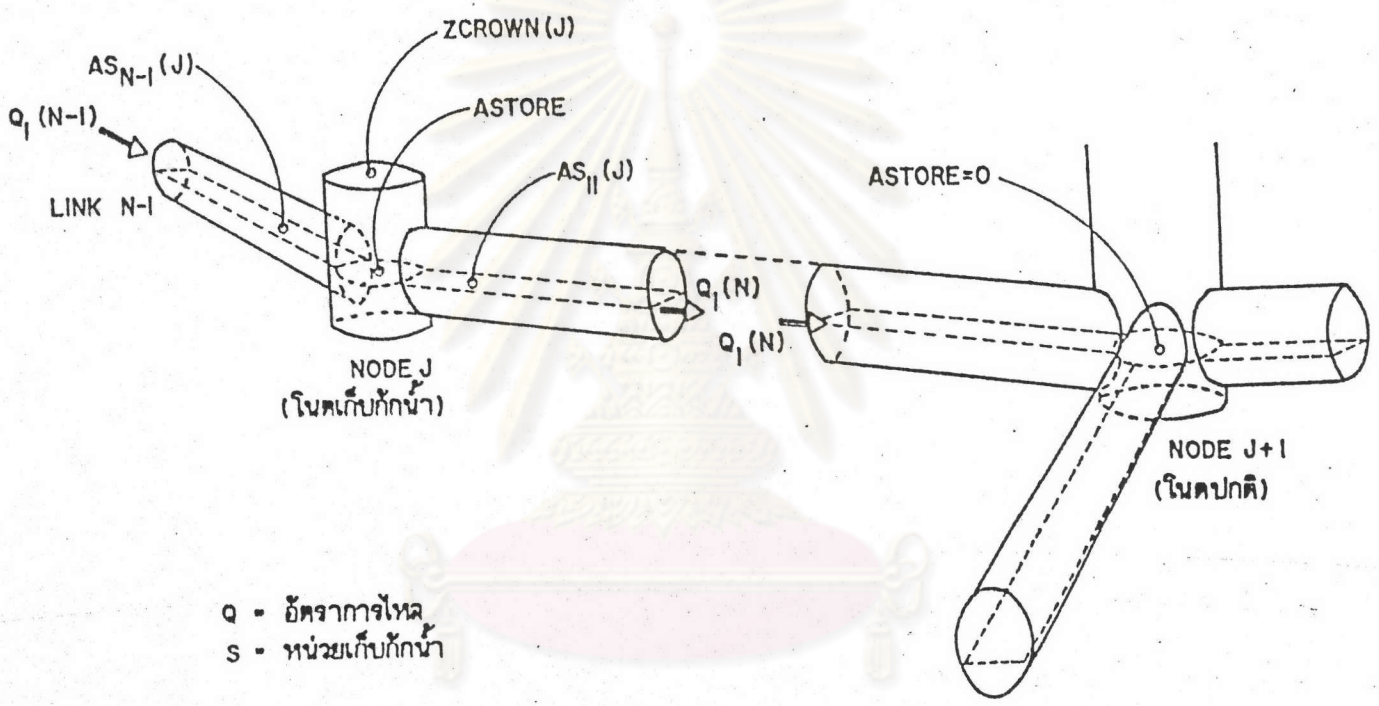
A = หน้าตัดของออริฟิส (ตร.ม.)

h = ค่าความสูงชลศาสตร์ (ม.)

ซึ่งสมการนี้จะเท่ากับสมการของแมนนิ่ง ดังนี้

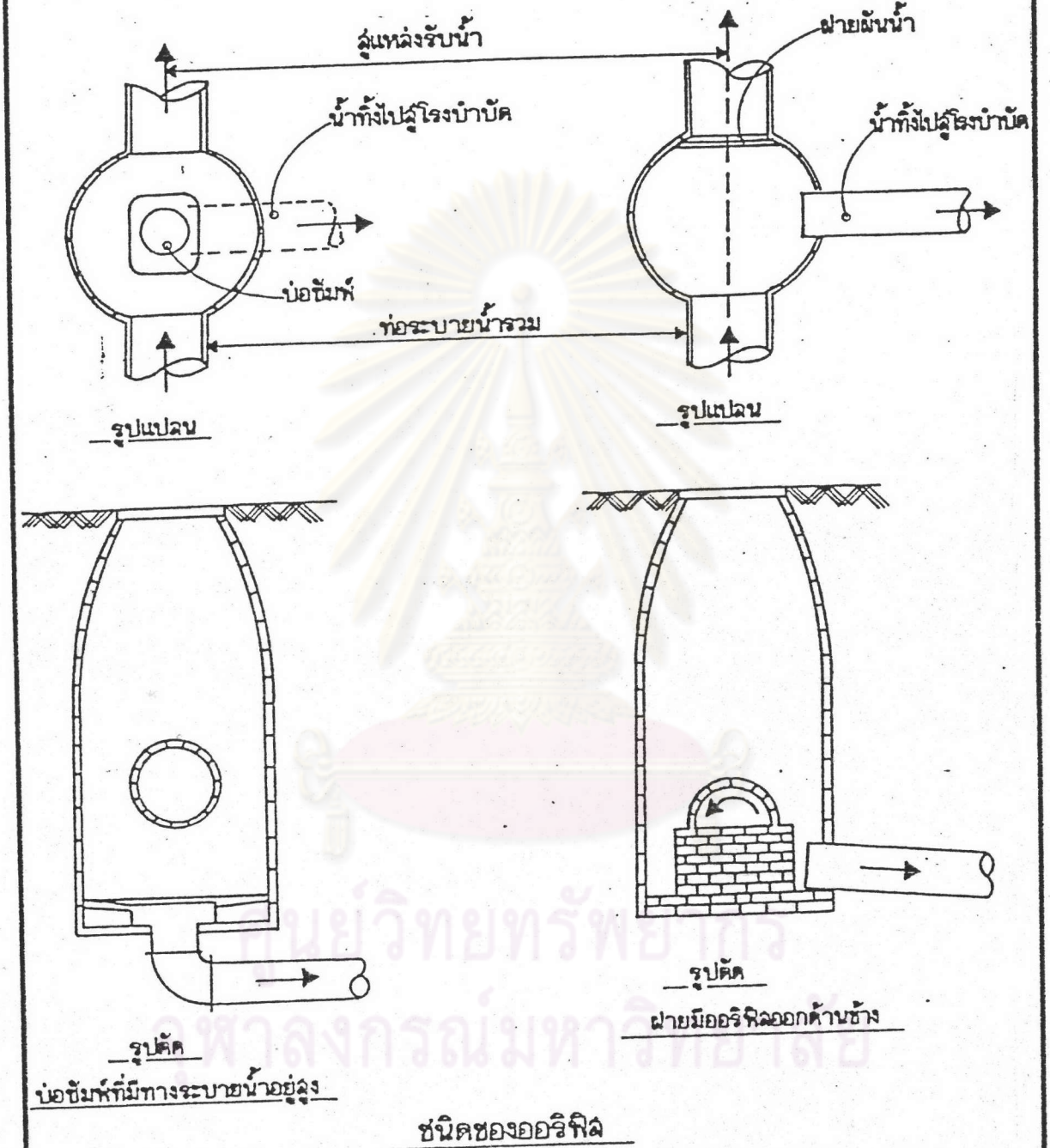
$$\frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} = C_0 A\sqrt{2gh} \qquad \text{----------(2.10)}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-28 หลักการจำลองสภาพของระบบเก็บกักน้ำ (storage junction)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ชนิดของออริฟิส

รูปที่ 2-29 รูปแบบของออริฟิสผันน้ำ (orifice diversion)

ถ้าให้ S = Hs/L, L คือความยาวท่อออริฟิส, Hs คือค่า h เมื่อออริฟิสเกิดการท่วมท้น (submerged) ถ้าไม่เกิดการท่วมค่า h คือ ความสูงของผิวน้ำที่อยู่เหนือเส้นกึ่งกลางออริฟิส ขณะที่ค่า Hs คือค่าระยะระหว่างผิวน้ำกับความลึกวิกฤต (ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ปลายทางไหลออก) ของท่อ แต่ในทางปฏิบัติจะกำหนดให้ค่า Hs = h โดยให้ S=h/L และ R=D/4 แทนลงในสมการที่ (2.10) แล้วจัดรูปใหม่ จะได้

$$n = \frac{1}{\sqrt{2gC_0}} \frac{D^{2/3}}{L^{1/2}} \qquad \text{----------(2.11)}$$

เมื่อความยาวท่อสมมูลย์ จะคำนวณได้จากสมการ

$$L = 2\Delta t \sqrt{gD} \qquad \text{----------(2.12)}$$

3) ฝาย (weir)

โครงสร้างของฝายผันน้ำ ระหว่าง 2 node ดังรูปที่ 2-30 สมการสำหรับคำนวณการไหลผ่านฝายคือ

$$Q_w = C_w L_w \left(\left(h + \frac{V^2}{2g} \right)^a - \left(\frac{V^2}{2g} \right)^a \right) \qquad \text{----------(2.13)}$$

เมื่อ C_w = ค่าสัมประสิทธิ์การไหล

L_w = ความยาวของสันฝาย, (เมตร)

h = ความลึกน้ำเหนือสันฝาย (driving head), (เมตร)

v = ความเร็วเข้าสู่ (approach velocity), (ม./ว.)

a = ค่ายกกำลัง, (3/2 สำหรับฝายตามทิศการไหล, 5/3 สำหรับฝายไหลด้านข้าง)

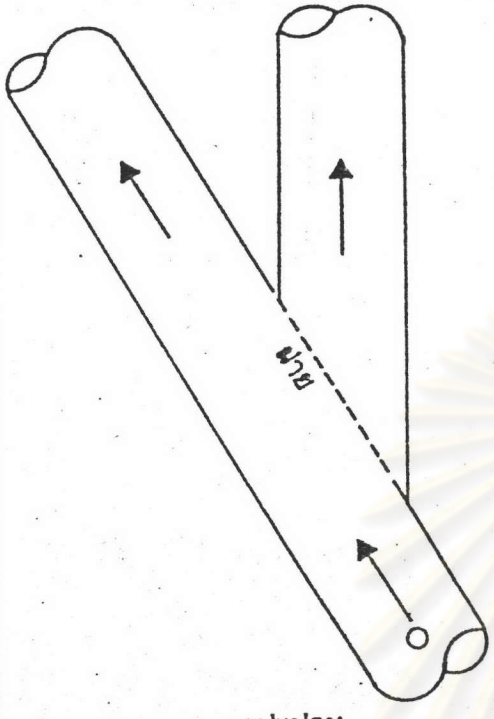
ในกรณีเกิดการไหลแบบท่วม จะได้

$$Q_w = C_{sub} C_w L_w (Y_1 - Y_c)^{3/2} \qquad \text{----------(2.14)}$$

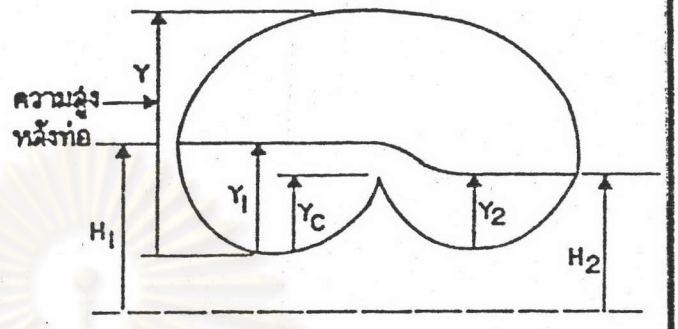
เมื่อ C_{sub} = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลแบบท่วม ซึ่งจะไปลดค่า driving head โดยค่า C_{sub} จะประมาณได้จากตารางที่ 2-8 เมื่อค่า C_{ratio} คือ

$$C_{ratio} = (Y_1 - Y_c)/(Y_2 - Y_c) \qquad \text{----------(2.15)}$$

ทั้งค่า C_{sub} และ C_{ratio} จะคำนวณเองโดย EXTRAN

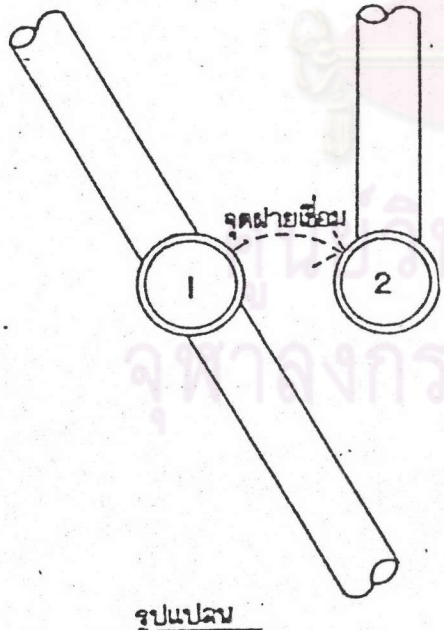


รูปแปลน

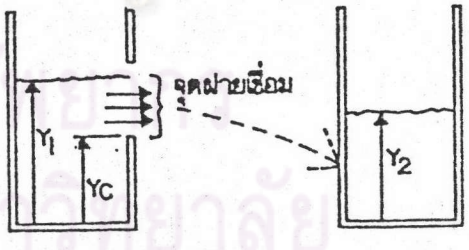


รูปตัดด้านข้าง

โครงสร้างของฝายผันน้ำ



รูปแปลน



รูปตัดด้านข้าง

แนวคิดของฝายผันน้ำ

รูปที่ 2-30 หลักการจำลองลักษณะฝายผันน้ำ

ตารางที่ 2-8 ค่าของ C_{ratio} และค่า C_{sub}

C_{ratio}	C_{sub}	C_{ratio}	C_{sub}
0.00	1.00	0.70	0.91
0.10	0.99	0.80	0.85
0.20	0.98	0.85	0.80
0.30	0.97	0.90	0.68
0.40	0.96	0.95	0.40
0.50	0.95	1.00	0.00
0.60	0.94		

4) ฝายที่มีประตูเปิด-ปิดน้ำ (weirs with tide gates)

ฝายเมื่อติดตั้งร่วมกับประตูควบคุมระดับน้ำ ที่จุดการไหลออกสู่แหล่งรับน้ำ การไหลผ่านฝายจะขึ้นกับประตูนี้ ซึ่งจะทำการเปิดปิดตามเวลาทำให้ค่าความลึกของน้ำเหนือฝายลดลง โดยหาได้จากเฟคเตอร์การทดลองของ Armco

$$h' = h - \frac{4}{g} V^2 \exp\left(-\frac{1.15V}{\sqrt{h}}\right) \qquad \text{----------(2.16)}$$

ค่า h เป็นค่าที่คำนวณ สำหรับ flap gate และ V = ความเร็วของการไหลในท่อด้านเหนือน้ำ

5) สถานีสูบน้ำ (pump station)

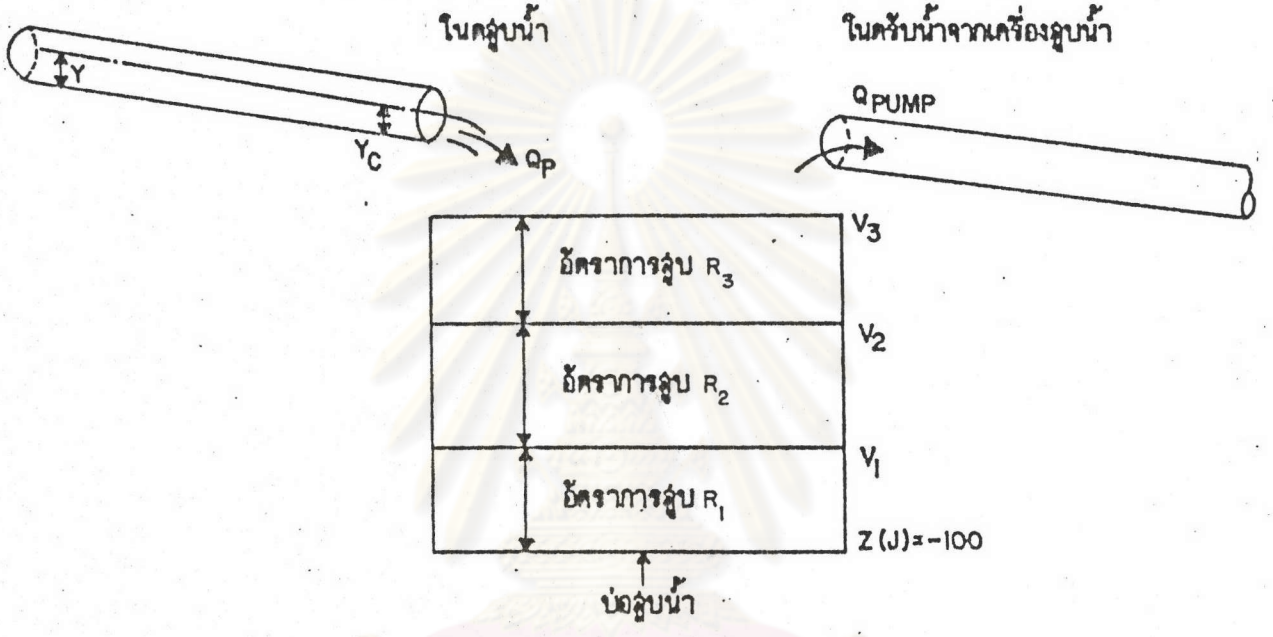
ปั๊มจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายน้ำให้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งอาจจะติดตั้งผันน้ำออกจากระบบหรือผันน้ำไปยัง node อื่น ๆ สำหรับการสูบภายในระบบ (in-line lift station) จะขึ้นกับความลึกของน้ำที่จุดติดตั้งปั๊มนั้น โดยเป็นไปตามกฎ ดังนี้

อัตราการสูบ = R_1 สำหรับ $0 < Y < Y_1$

= R_2 สำหรับ $Y_1 < Y < Y_2$

= R_3 สำหรับ $Y < Y_3$

กรณี Y = 0 คือ อัตราการสูบ เท่ากับ อัตราการไหลเข้าสู่จุดปั๊มนั้น สำหรับการสูบน้ำออกจากระบบ (off-line pump) ลักษณะการสูบ ดังรูปที่ 2-21



อัตราการสูบ = R_1 for $V < V_1$

R_2 for $V_1 < V < V_2$

R_3 for $V_2 < V < V_3$

V = ปริมาณน้ำในบ่อสูบ

รูปที่ 2-31 หลักการจำลองสภาพระบบสูบน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6) อาคารระบายน้ำออก (outfall structures)

บริเวณอาคารระบายออกแหล่งรับน้ำอาจมีระดับน้ำสูงกว่า ทำให้เกิดเงื่อนไขน้ำท้น (backwater conditions) จึงกำหนดให้ระดับของผิวน้ำของแหล่งรับน้ำคือระดับผิวน้ำของจุดทางออก ถ้าเป็นกรณีไหลตกอิสระ (free outfall) ระดับผิวน้ำ หรือความลึกตรงจุดออกจะกำหนดให้เป็นความลึกวิกฤต หรือความลึกปกติ (critical or normal depth)

การคำนวณหาระดับน้ำของแหล่งรับน้ำที่มีการขึ้นลงของระดับน้ำ จะเป็นไปตามสมการอนุกรมฟูเรียส์ (Fourier expansion of the diurnal tide stage)

$$H_{tide} = A_1 + A_2\sin(WT) + A_3\sin(2WT) + A_4\sin(3WT) + A_5\cos(WT) + A_6\cos(2WT) + A_7\cos(3WT) \quad \text{---(2.17)}$$

เมื่อ T = เวลาขณะนั้นเป็นวินาที

= 2 เรเดียส/คาบ เวลาขึ้นลงเป็นวินาที

คาบขึ้นลงของน้ำทะเลประมาณ 25 ชั่วโมง = 90,000 วินาที ค่าสัมประสิทธิ์ A_2 ถึง A_7 จะคำนวณเองโดย EXTRAN หรือสามารถกำหนดเองได้ ซึ่งคิดการขึ้นลงของระดับน้ำเป็น sinusoidal series ตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย