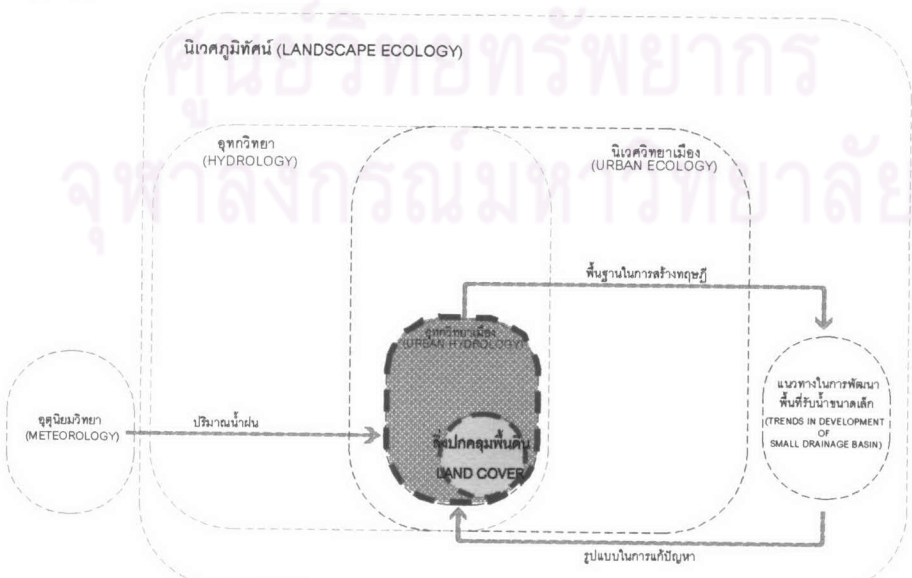
บทที่ 2

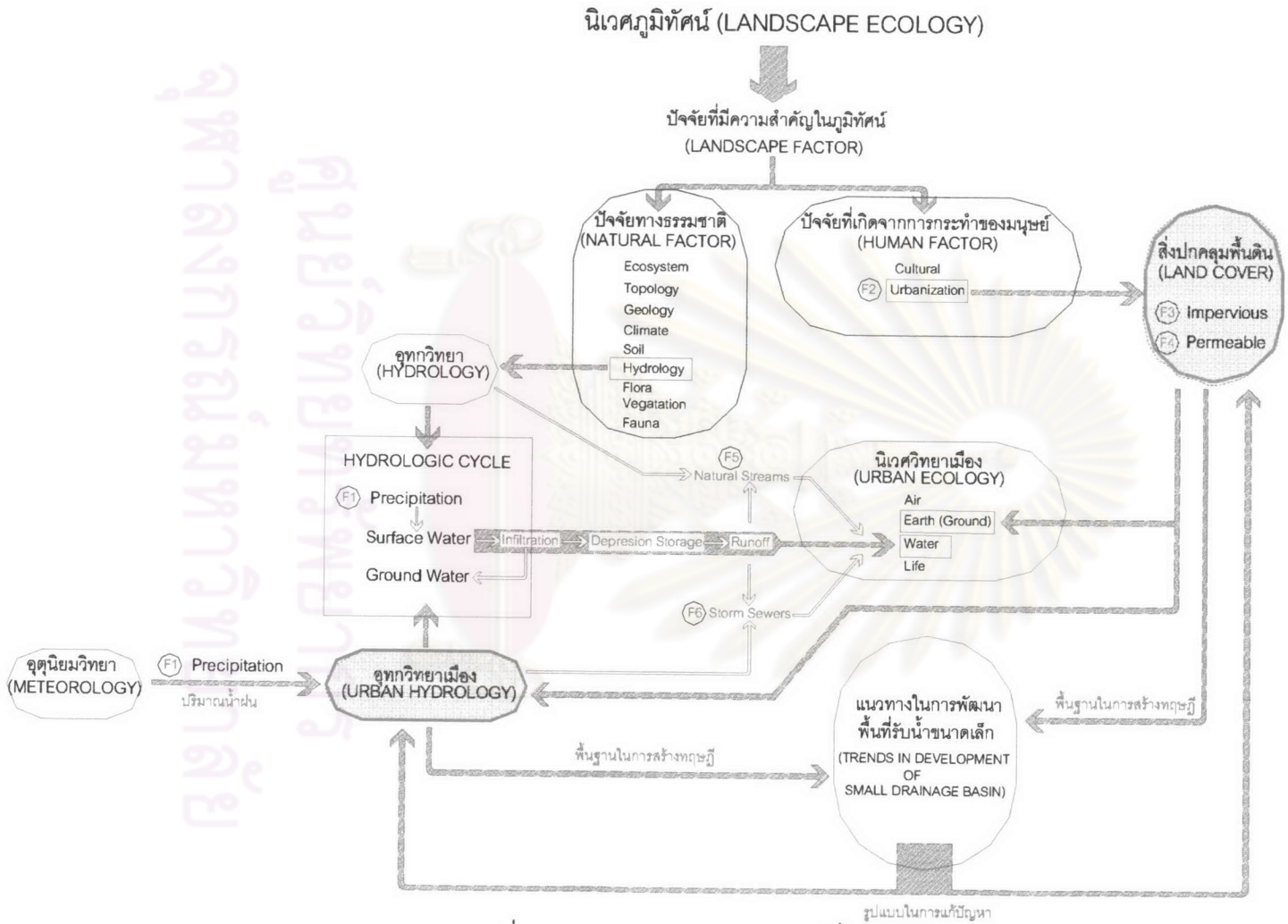
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของภูมิทัศน์มีผลกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยา (Marsh, 1991; BASMAA, 1997; Leopold, 1968; Hall, 1973) โดยเฉพาะในเรื่องการระบายน้ำผิวดินที่เกิดขึ้นในเมืองนั้น มีสาเหตุมาจากการพัฒนาเมือง ซึ่งการพัฒนาเมืองนั้นได้ส่งผลให้สิ่งปกคลุมพื้นดินเปลี่ยนแปลงจากสภาพเดิม ผลของการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นดินทำให้พฤติกรรมของการระบายน้ำเปลี่ยนไป การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการระบายน้ำ (Drainage Pattern) ที่เปลี่ยนจากการระบายน้ำในอดีตที่เป็นระบบคู-คลอง-แม่น้ำ มาเป็นระบบท่อระบายน้ำ อีกทั้งระบบน้ำผิวดิน (Surface Water) ก็เปลี่ยนแปลงไปเป็นอย่างมาก ปริมาณ Runoff ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการซึมลดลง สภาพของความเป็นเมืองได้สร้างสภาพแวดล้อมใหม่ให้ระบบอุทกวิทยา ยางมะตอยและคอนกรีตได้เข้ามาแทนที่ผืนดิน อาคารต่างๆได้เข้ามาแทนต้นไม้และที่เก็บน้ำ ระบบระบายน้ำของเมืองถูกออกแบบให้สามารถแบกรับน้ำจากพื้นผิวของเมืองซึ่งท่อระบายน้ำจะกระจายอยู่ตามถนนที่เชื่อมโยงกันเป็นโครงข่ายทำให้ความหนาแน่นของการระบายน้ำ (Drainage Density) เพิ่มความหนาแน่นขึ้นจากอดีตเป็นอันมาก การรวบรวมนำพาน้ำเป็นไปได้อย่างรวดเร็วขึ้น

ปัญหาการระบายน้ำในพื้นที่เมือง ที่เกิดขึ้นดังกล่าวน่าจะมีสาเหตุหลักมาจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่สำคัญอันหนึ่งทางภูมิทัศน์ คือลักษณะของสิ่งปกคลุมพื้นดิน (Land Cover) (Hall, 1973) และปัจจัยทางอุทกวิทยาเมืองก็คือความหนาแน่นของการระบายน้ำ (Drainage Density) (Marsh, 1991) ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกันอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งพื้นฐานและต้นเหตุปัญหา ที่มีผลจากการ



ภาพที่ 2-1 แสดงกรอบทางทฤษฎี



ภาพที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ของทฤษฎีที่ใช้

เปลี่ยนแปลงของปัจจัยดังกล่าวเป็นสิ่งที่เราต้องศึกษาและทำความเข้าใจโดยอาศัยทฤษฎีต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องและสอดคล้องกันโดยที่เราจะใช้ทฤษฎีของอุทกวิทยาเมืองเป็นหลักในการทำความเข้าใจความพื้นฐานทางทฤษฎีเพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์และความสัมพันธ์ของปัจจัย (Factor) ทั้งหลายที่เกิดขึ้น ซึ่งทฤษฎีต่างๆที่เราจะทำการศึกษามีดังนี้คือ

1) ทฤษฎีที่ใช้เป็นหลักในการในการศึกษาได้แก่

-อุทกวิทยาเมือง (Urban Hydrology)

2) การมองทฤษฎีอุทกวิทยาเมืองในภาพของทฤษฎีต่างๆคือ

-แนวความคิดเกี่ยวกับนิเวศภูมิทัศน์ (Landscape Ecology)

-นิเวศวิทยาเมือง (The Urban Ecology)

-อุทกวิทยา (Hydrology)

3) แนวความคิดในเรื่องการระบายน้ำในพื้นที่เมือง

-แนวทางในการพัฒนาลุ่มน้ำขนาดเล็ก

-การควบคุมปริมาณน้ำในพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กของเมือง

ซึ่งทฤษฎีต่างๆที่ได้กล่าวมามีรายละเอียดดังนี้

2.1 อุทกวิทยา (Hydrology) และอุทกวิทยาเมือง (Urban Hydrology)

2.1.1 อุทกวิทยา (Hydrology)

ความหมายของอุทกวิทยา

Haward และ Ramson(1978) กล่าวไว้ว่าอุทกวิทยา(Hydrology)เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับน้ำตั้งแต่ช่วงที่น้ำตกลงสู่พื้นแผ่นดินไปจนถึงเวลาที่น้ำไหลกลับสู่ทะเลแล้วระเหยกลับสู่ชั้นบรรยากาศ อุทกวิทยาเป็นเรื่องราวที่เกี่ยวข้องทั้งเรื่องของน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน โดยเพื่อที่เราจะเข้าใจพฤติกรรมของน้ำ จึงต้องทำความเข้าใจในวัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle) เป็นเบื้องต้น

The reader's digest association limited (1978) ได้ให้นิยามของอุทกวิทยา ไว้ว่า หมายถึงการศึกษาที่ว่าด้วยเรื่องน้ำเช่นโครงข่ายการกระจายและการควบคุมน้ำ

Goulty (1991)ให้นิยามของอุทกวิทยาว่า เป็นการศึกษาทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน รวมไปถึงคุณสมบัติ ปรากฏการณ์ การกระจาย การเคลื่อนตัว และการนำน้ำไปใช้ประโยชน์ การศึกษาในเรื่องน้ำนี้มีความสำคัญสำหรับนำมาใช้ในการศึกษาถึงการเก็บกักน้ำไว้ใช้ การทำการเกษตร การระบายน้ำ พลังงานจากน้ำ และการเดินเรือ

ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าอุทกวิทยา เป็นการศึกษาเรื่องราวที่เกี่ยวกับน้ำทั้งหมดทั้งน้ำบนดิน และน้ำใต้ดิน เป็นการศึกษาวัฏจักร กระบวนการ (Hydrological system) และพฤติกรรมของน้ำ เพื่อการจัดการและควบคุมให้สามารถนำน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์แก่มนุษย์ในด้านต่างๆได้อย่างสูง

ที่สุดและยั่งยืนยาวนานที่สุด นอกจากนี้ความรู้ที่ได้จากการศึกษาเรื่องน้ำนี้จะทำให้มนุษย์สามารถวางผังพื้นที่ วางแผนและดำรงชีวิตได้โดยปลอดภัยปราศจากอันตรายที่จะได้รับจากพฤติกรรมและกระบวนการต่างๆของน้ำ

ปัจจัยที่มีความสำคัญในการทำความเข้าใจในระบบอุทกวิทยา

1) วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic Cycle)

ZumbergeและNelson (1972) กล่าวว่าพื้นที่ 71%ของโลกประกอบไปด้วยน้ำ โดยส่วนที่เป็นน้ำนั้นพื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นมหาสมุทร ถ้าหากไม่ได้รับอิทธิพลจากรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์น้ำจะยังคงอยู่ในมหาสมุทรต่อไป และคงไม่มีฝน หรือหิมะตกลงมาสู่ผิวดินที่แห้งแล้งของโลก เนื่องจากพลังงานความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์นี่เองที่จะทำให้น้ำระเหย กลายสภาพเป็นเมฆ หมอก และไอน้ำ เหนือแผ่นดิน แล้วจึงตกลงมาในรูปของฝน ลูกเห็บ และหิมะ ลดความชื้นในบรรยากาศ ส่งกลับความชื้นลงมาสู่โลกโดยอาศัยพลังจากแรงดึงดูดของโลก น้ำที่ตกลงมานี้จะไหลกลับสู่ทะเลโดยบางส่วนจะไหลกลับโดยตรงและส่วนใหญ่จะไหลกลับโดยทางอ้อม แต่ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตามน้ำจะไหลลงสู่ทะเลจากพื้นที่ที่สูงกว่าทะเลเสมอ นอกจากนี้ตลอดระยะทางที่น้ำไหลลงสู่ทะเลพลังของน้ำจะมีผลต่อลักษณะทางธรณีสัณฐานของโลก

ในบางครั้งอาจใช้เวลาสั้นๆในการที่น้ำจะไหลกลับสู่ทะเล แต่บางครั้งก็ใช้ระยะเวลานาน ฝนบางส่วนที่ตกลงมาบนผิวโลกจะถูกกักเก็บไว้ชั่วคราวก่อนจะระเหยกลับสู่ชั้นบรรยากาศ น้ำฝนจะกัดเซาะพื้นที่บริเวณที่ตกลงมาจนกลายเป็นทะเลสาบ น้ำฝนบางส่วนจะซึมลงสู่ชั้นดินและชั้นหินที่ซึ่งน้ำจะถูกเก็บไว้ชั่วคราวในฐานะน้ำใต้ดิน โดยน้ำใต้ดินเหล่านี้จะละลายแร่ธาตุในหินแล้วไหลกลับสู่ทะเลโดยนำพาแร่ธาตุมากมายจากพื้นแผ่นดินไปด้วย ในขณะที่พืชพันธุ์ที่ต้องอาศัยความชื้นจากดินก็จะส่งน้ำสู่บรรยากาศด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงนอกจากนี้ความชื้นที่ตกลงมาในรูปแบบของหิมะนั้นจะถูกกักเก็บไว้ตลอดฤดูหนาวและจะกลับสู่ทะเลในฤดูใบไม้ผลิเมื่อหิมะละลาย แต่ในเขตหนาว หรือภูเขาสูงที่อากาศหนาวเย็นตลอดปี และมีปริมาณความชื้นที่ตกลงมามีมากกว่าที่ละลายและระเหยออกกลับไป หิมะที่ทับถมกันจะกลายเป็นธารน้ำแข็ง ธารน้ำแข็งบางอันจะเคลื่อนที่ไปสู่ทะเลได้เหมือนแม่น้ำ ก่อให้เกิดหุบเขาลึกและภูมิประเทศต่างๆบนผิวโลก

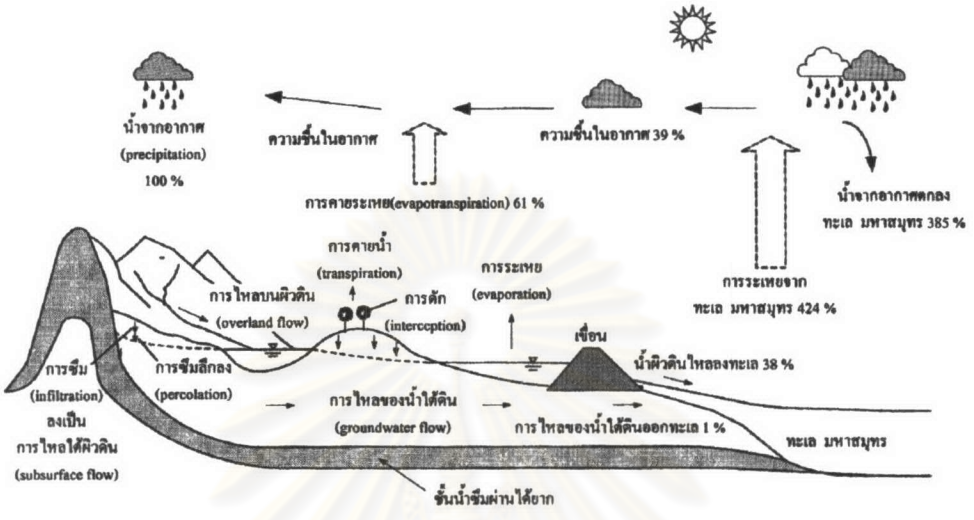
2) น้ำในสถานะต่าง ๆ

(1) น้ำในบรรยากาศ "ไอน้ำ(Vapor)และน้ำจากอากาศ(Precipitation)"

เมื่อกล่าวถึงน้ำในอากาศนั้นจะหมายถึงน้ำที่อยู่ในสถานะที่เป็นไอน้ำ (Vapor) หรือเป็นความชื้น (Moisture) ในอากาศ โดยไอน้ำในอากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของวัฏจักรของน้ำเป็นต้นกำเนิดของน้ำจากอากาศหรือที่เรียกว่า Precipitation

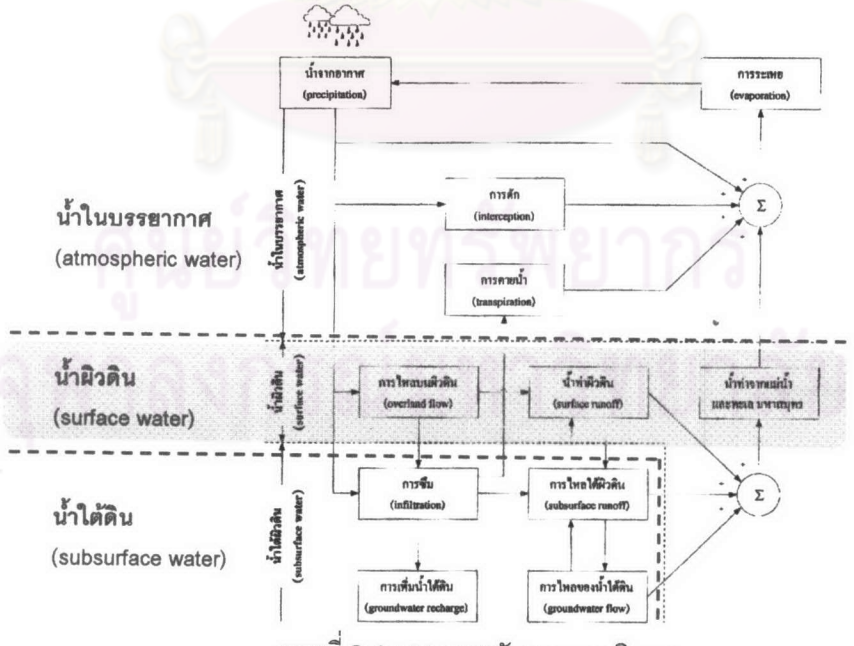
เมื่อไอน้ำในอากาศถูกพัดพาโดยลมรวมตัวกัน ประกอบกับการได้รับพลังงานจากดวง

อาทิตย์ ก็จะเปลี่ยนสถานะตกลงมาในรูปของ Precipitation ซึ่งได้แก่ ฝน หิมะ น้ำค้าง หรือลูกเห็บ ซึ่ง Precipitation เหล่านี้ก็มีความสำคัญในฐานะเป็นผู้ควบคุมวัฏจักรของน้ำ เราอาจกล่าวได้ว่า



ภาพที่ 2-3 แสดงวัฏจักรของน้ำ

(ที่มา: อุทกวิทยา, ผศ.กีรติ ลีวัจนกุล, 2543)



ภาพที่ 2-4 แสดงแผนผังวงจรอุทกวิทยา

(ที่มา: อุทกวิทยา, ผศ.กีรติ ลีวัจนกุล, 2543)

ลักษณะเฉพาะของ Precipitationไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของน้ำที่ตกลงมา ฤดูกาล ขนาด และความหนาแน่นของพายุที่เกิดขึ้นล้วนแล้วแต่มีผลต่อการวางแผนและการใช้ที่ดินของมนุษย์

น้ำจากอากาศนี้ (Precipitation) จะกลับไปสู่ชั้นบรรยากาศได้ 2 วิธี คือ 1.) การระเหย (Evaporation) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำที่เป็นของเหลวและของแข็งเป็นไอโดยอาศัยพลังงานจากดวงอาทิตย์ 2.) การคายน้ำของพืช (Transpiration) เกิดจากการที่พืชคายน้ำออกทางใบเพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่ใบไม่ให้ร้อนจนทำอันตรายต่อพืช โดยพลังงานแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนน้ำในใบให้กลายเป็นก๊าซหรือไอระเหยสู่อากาศ เราเรียกอัตราการระเหยทั้ง 2 รวมกันว่าค่าการคายระเหย (Evaportranspiration)(Haward, and Ramson,1978.)

(2) น้ำผิวดิน (Surface Water)

น้ำผิวดินในที่นี้ HawardและRamson (1978) กล่าวไว้ว่า หมายถึงน้ำที่ไหลอยู่บนผิวดิน แหล่งน้ำต่าง หรือทางระบายน้ำบนผิวดินซึ่งจะมีปริมาณของน้ำขึ้นอยู่กับฝนที่ตกตลอดปี, การกระจายของฝน, พายุ, ความหนาแน่นหนักและเบาของฝน, การระเหย, ระดับน้ำใต้ดิน, ความสามารถในการดูดซับน้ำของดิน, พืชพันธุ์ที่ปกคลุมดิน, ความชั้นของ Slope, ลักษณะเฉพาะของทางน้ำ ตลอดจนกิจกรรมของมนุษย์

สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในเรื่องน้ำผิวดินมีดังนี้ (HawardและRamson, 1978)

(2.1) Runoff คือน้ำฝนส่วนหนึ่งที่ตกลงมา บางส่วนถูกเก็บไว้เป็นน้ำบนผิวดิน (Surface Water) บางส่วนไหลลงสู่ทะเลโดยตรง ดังนั้นเมื่อเราพูดถึง Runoff เราจะหมายรวมถึงน้ำทั้งที่เป็นการไหลในทางน้ำ (Channel flow) และที่ไหลบนผิวดิน (Overland flow) นอกจากนี้ปริมาณ runoff จะวัดได้จากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ถูกส่งมาจากสันปันน้ำ ผ่านแม่น้ำสู่ทางน้ำอื่นๆ ซึ่งจะแสดงให้เห็นในรูปปริมาตร ต่อเวลา เช่น ลูกบาศก์เมตรหรือลูกบาศก์ฟุตต่อวินาที แกลลอนหรือลิตรต่อวัน เอเคอร์ปี (Haward and Ramson, 1978) โดย Gilluly, Water และ Woodford (1975) กล่าวถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่ระบายสู่พื้นที่กักเก็บน้ำไว้ว่าคือ

-ปริมาณน้ำฝนและการกระจายของฝน (Amount and Duration of Rainfall) ลักษณะของฝนที่ตกน้อยนั้นอาจได้รับการดูดซึมจากพื้นดินได้มากก่อนจะลงสู่ทางน้ำ ในขณะที่ฝนที่ตกหนักพื้นดินจะดูดซึมได้น้อยกว่าทำให้มีปริมาณ Runoff มีมากกว่า

- ความสามารถในการดูดซึม (Permeability) ความสามารถในการดูดซึมส่งผ่านน้ำของดิน และหิน มีความแตกต่างกัน ฝนที่ตกลงมาบนพื้นดิน ที่ร่วนเป็นเถ้า จะส่งผ่านน้ำสู่ใต้ดินได้ดีที่สุด แต่ฝนที่ตกในปริมาณที่เท่ากันบนพื้นที่ที่เป็นหินน้ำจะระบายออก จะไหลไปเนื่องจากหินดูดซึมไม่ได้ทำให้เกิด Runoff มากกว่าดิน ในขณะพื้นที่ที่เป็นทรายจะใช้เวลาไม่นานในการดูดซึมและดูดซึมได้ดีกว่าพื้นที่ที่เป็นโคลนถึง 10 เท่าทำให้พื้นที่ที่เป็นทรายจะเกิด Runoff น้อยกว่าดินและโคลน

-กลุ่มของพืชพันธุ์ (Vegetation) พืชทั้งหมดสามารถกีดขวางการไหลของน้ำและลดการเกิด Runoff กลุ่มของใบไม้ในป่าจะดูดซับน้ำฝนไว้เหมือนกระดาษซับทำให้มีปริมาณ Runoff น้อยลง นอกจากนี้โพรงที่ไส้เดือนซึ่งใช้ใบไม้เป็นอาหารขุดไว้จะช่วยทำให้น้ำซึมลงสู่ดินได้เร็วขึ้นทำให้เกิด Runoff น้อยลง

-อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิมีผลต่อการเกิด Runoff คือในเขตอบอุ่น น้ำที่จะระบายบนผิวดินจะสูญเสียไปกับการระเหยในที่ที่มีอุณหภูมิสูง ปริมาณ Runoff จึงมีน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

- ความลาดชัน (Slope) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุด โดยพื้นที่ที่มีความราบจะกักเก็บน้ำไว้ส่วนหนึ่งในส่วนที่เป็นหลุมบ่อ แล้วน้ำจะระเหยหรือถูกดูดซึมออกไปในเวลาต่อมา ในขณะที่พื้นที่ที่มี Slope ชันมากก็จะเกิด Runoff มากขึ้นเป็นลำดับ

(2.2) โครงข่ายการระบายน้ำ (Drainage network)

โครงข่ายการระบายน้ำทั้งระบบไม่ได้หมายถึงเพียงสาขาของทางน้ำที่แตกแขนงแต่จะหมายรวมไปถึงสันปันน้ำและลุ่มน้ำด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

สันปันน้ำอาจหมายถึงสันเขาที่ล้อมรอบและแบ่งลุ่มน้ำออกเป็นส่วนต่างๆโดยลุ่มน้ำ (Basin) แต่ละลุ่มน้ำจะประกอบไปด้วยธารน้ำและสาขาของลำธารไหลมารวมกัน จนรวมเรียกว่าโครงข่ายการระบายน้ำ โดย Marsh (1991) ได้กล่าวเสริมในเรื่องนี้ไว้ว่าน้ำที่ไหลจากที่สูงบนผิวดินอาจไหลลงมาในระยะทางที่สั้นและรวดเร็วก่อนจะมารวมเป็นสาขา โดยในแต่ละสาขาจะไหลมารวมกันจนสามารถกัดเซาะผิวดิน และเกิดเป็นธารน้ำเล็กๆ ธารน้ำเล็กๆเหล่านี้จะไหลมาบรรจบกันเป็นลำธารขนาดใหญ่ และลำธารขนาดใหญ่แต่ละสายจะไหลมารวมกันเป็นแม่น้ำ เป็นเช่นนี้เรื่อยไปเหมือนกิ่งก้านของต้นไม้เราจึงเรียกการจัดลำดับของระบบระบายน้ำนี้ว่า “Drainage network” หรือโครงข่ายการระบายน้ำ

จากที่กล่าวมาในการจัดลำดับของ Drainage network นี้มีองค์ประกอบที่สำคัญทางน้ำได้แก่ ร่องน้ำ (Channel) ธารน้ำหรือลำธาร (Stream) แม่น้ำ (River) และลุ่มน้ำ (Basin) โดยการจัดองค์ประกอบของทางน้ำและลุ่มน้ำเป็นไปอย่างมีหลักการและลำดับขั้น มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

(2.3) อันดับลำธาร (Stream Order) และลุ่มน้ำ (basins)

อภิสิทธิ์ เอี่ยมหนอ (2530) ได้ให้นิยามของลุ่มน้ำไว้ว่าลุ่มน้ำเป็นคำที่ใช้กันทั่วไป โดยมีความหมายที่แตกต่างกันไป เช่น ลุ่มน้ำเจ้าพระยา จะใช้ในความหมายถึงลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างเท่านั้น ความจริงแล้วควรจะรวมถึงพื้นที่รับน้ำที่ไหลลงสู่เจ้าพระยาทั้งหมด หรือเป็นพื้นที่ที่ล้อมรอบด้วยสันปันน้ำ อาจมีขนาดใหญ่หรือเล็กขึ้นอยู่กับขนาดของลำธารที่ต้องการศึกษา ในลุ่มน้ำใหญ่หนึ่งๆจะมีลุ่มน้ำย่อยๆจำนวนมาก

(2.4) River Channels

-การไหลของกระแสน้ำ (Stream flow)

อภิสิทธิ์ เอี่ยมหนอ (2530) กล่าวว่าทั้งของแข็งและสารละลายจะถูกพัดพาไปทับถมในที่ต่างๆกันตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณและความเร็วของกระแสน้ำโดย Marsh (1991) ได้อธิบายว่ากระแสน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กับการระบายน้ำ (Runoff) ซึ่งการระบายน้ำก็มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นความแตกต่างของปริมาณน้ำฝน, การละลายของน้ำแข็ง, น้ำใต้ดิน, ความชื้นของดิน และการซึมผ่านดินของน้ำเป็นต้น สิ่งเหล่านี้มีผลต่อการกำหนดขอบเขตของการระบายน้ำ (Runoff) ทำให้มีผลต่อความแตกต่างของระดับกระแสน้ำตามมา จากความรู้ในเรื่องระดับของกระแสน้ำนี้จะทำให้สามารถกำหนดแนวทางหรือสามารถเลือกวิธีการในการสร้างทางระบายน้ำและคลองส่งน้ำได้

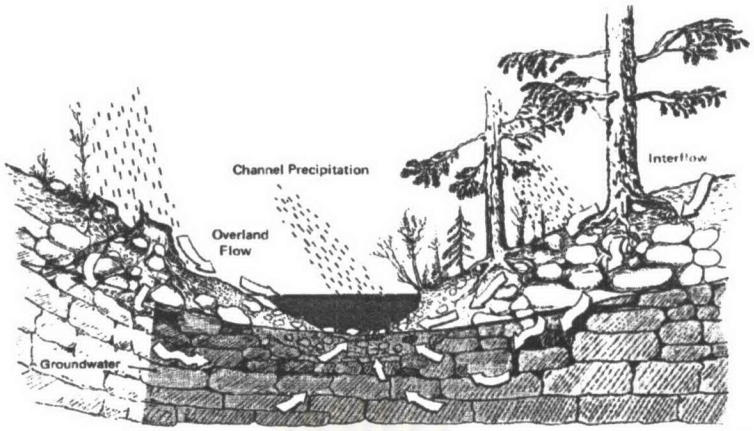
สำหรับแหล่งน้ำที่จะไหลมาก่อให้เกิดเป็นกระแสน้ำนั้นมีอยู่ด้วยกัน 4 แหล่ง คือ

-สายฝน (Channel precipitation) คือฝนที่ตกลงมาสู่ผิวน้ำโดยตรง ในธารน้ำส่วนใหญ่ มีผลต่อ การเพิ่มปริมาณของกระแสน้ำน้อย

-น้ำระบายมาจากผิวดิน (Overland flow) สำหรับในพื้นที่ที่มีป่าอุดมสมบูรณ์ Overland flowจะมีผลน้อยมากต่อการไหลของ Stream flow เป็นแหล่งน้ำส่วนน้อยแต่ในพื้นที่แห้งแล้ง หรือพื้นที่ที่เป็นเมือง และพื้นที่เกษตรกรรม Overland flowจะมีความสำคัญมาก เพราะจะเป็นแหล่งน้ำที่ไหลผ่านผิวดินสู่ลำธาร หรือธารน้ำโดยตรง และอย่างรวดเร็ว รุนแรง ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างร่องน้ำ และวางระบบท่อระบายน้ำโดยเฉพาะในเขตเมือง

-น้ำที่ซึมผ่านผิวดิน (Interflow) คือการที่น้ำไหลซึมผ่านดิน ไปสู่ธารน้ำหรือลำธารในบริเวณที่อยู่เหนือระดับ Water table จุดที่เปลี่ยนจากน้ำบนดินเป็นน้ำใต้ดิน น้ำที่ซึมผ่านดินนี้ถือเป็นแหล่งน้ำสำคัญที่มารวมเป็น Stream flow

-น้ำใต้ดิน (Groundwater) จะส่งน้ำมายังทางน้ำในบริเวณที่ธารน้ำมาบรรจบกับน้ำใต้ดิน และมีน้ำไหลมาสู่ธารน้ำอย่างสม่ำเสมอ เรียกจุดที่บรรจบนี้ว่า Base flow โดยไม่ว่าจะเป็นช่วงที่แห้งแล้งหรือในหน้าฝน จะมีน้ำไหลจากน้ำใต้ดินมาสู่ธารน้ำอย่างสม่ำเสมอ



Sources of streamflow: channel precipitation, overland flow, interflow, and groundwater.

ภาพที่ 2-5 แสดงความสัมพันธ์ของการรับน้ำ การไหลของน้ำ ที่มีความสัมพันธ์กับน้ำใต้ดิน (Marsh, 1991)

(3) น้ำใต้ดิน (Under water)

น้ำใต้ดินส่วนหนึ่งเป็นน้ำที่เกิดจากน้ำฝนที่ตกลงมายังพื้นโลก และซึมผ่านชั้นดินชั้นหินลงไปใต้เปลือกโลก ซึ่งจะลงไปลึกเพียงใดขึ้นอยู่กับ ความรุนแรงและการยอมให้น้ำไหลผ่านลงไปของชั้นหินที่รองรับน้ำใต้ดิน ได้ก่อให้เกิดลักษณะภูมิประเทศหลายรูปแบบ

2.1.2 อุทกวิทยาเมือง (Urban Hydrology)

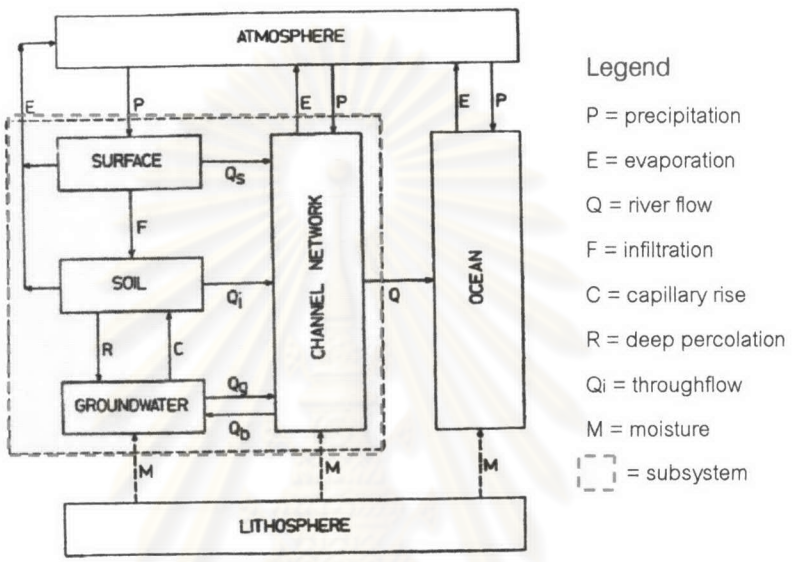
ความหมายเบื้องต้นของอุทกวิทยาเมือง

อุทกวิทยาเมืองคือการศึกษากระบวนการทางอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทั้งในและนอกสภาพแวดล้อมเมืองที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะชนบทเป็นเมือง (Hall,1986) การศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินในพื้นที่เมืองกับผลกระทบต่อลักษณะอุทกวิทยาเมือง จะช่วยให้เราสามารถแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในเมืองที่เกิดจากผลของระบบอุทกวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างถูกทาง

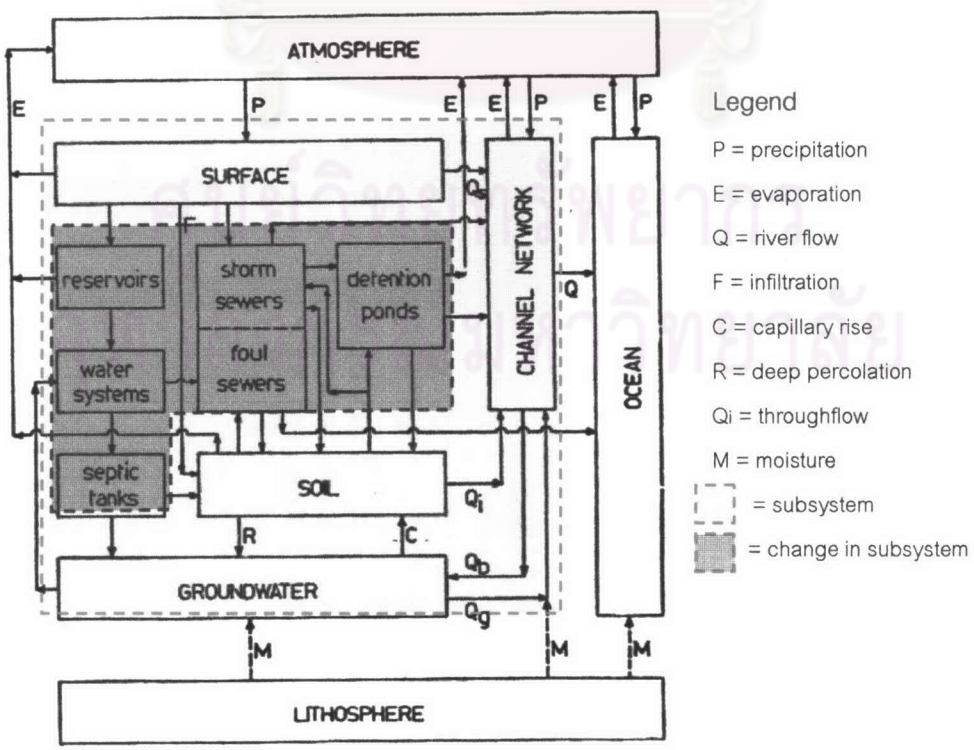
ในการศึกษาทางด้านอุทกวิทยาเมืองนั้นจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในวัฏจักรของน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบวัฏจักรของน้ำปกติกับวัฏจักรของน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมือง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงที่ เกิดขึ้น (ภาพที่ 2-6 และ 2-7)

ในการเปรียบเทียบวัฏจักรของน้ำเราพบว่าในพื้นที่เมืองมีการเปลี่ยนแปลงในระบบย่อย (Sub system) ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงของน้ำผิวดินเป็นส่วนใหญ่ ที่ได้เปลี่ยนแปลงเพิ่มจากโครงข่ายการระบายน้ำปกติเป็นระบบท่อระบายน้ำที่มีทั้งสำหรับการระบายน้ำฝนและน้ำเสีย การเดินทางของน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปจากการที่น้ำสามารถไหลสู่โครงข่ายการระบายน้ำได้โดยตรงเปลี่ยนไปไหลลงท่อระบายน้ำ ผ่านการบำบัด กักเก็บ น้ำส่วนที่เหลือจึงจะไหลลงสู่แหล่งน้ำปกติและซึมลงดินได้ สัดส่วนต่างๆของน้ำในวัฏจักรได้เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้สิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปอีกก็คือการ

กักเก็บน้ำไว้เพื่อใช้อุปโภคและบริโภคในเมือง (Reservoirs) และการหน่วงเหนี่ยวน้ำไว้เพื่อรักษาสมดุลของระบบ (Detention pond) ซึ่งการเก็บน้ำทั้ง 2 ประการนี้ก็ส่งผลในด้านภูมิอากาศของเมืองเนื่องจากเป็นการเพิ่มความชื้นให้เมืองมากขึ้นเนื่องจากพื้นที่ในการระเหยของน้ำมีเพิ่มมากขึ้นจากปกติ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวมีผลเกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเมืองที่ทำให้พฤติกรรมการระบายน้ำเปลี่ยนแปลงไป (Hall,1986)



ภาพที่ 2-6 แสดงวัฏจักรของน้ำในลักษณะ systems notation (Dooge, 1973)



ภาพที่ 2-7 แสดงวัฏจักรของน้ำในเมืองตามลักษณะ systems notation (Hall, 1986)

1) ปัจจัยสำคัญที่มีผลกับอุทกวิทยาเมือง (Hall,1986)

(1) อุตุนิยมวิทยา (Meteorology)

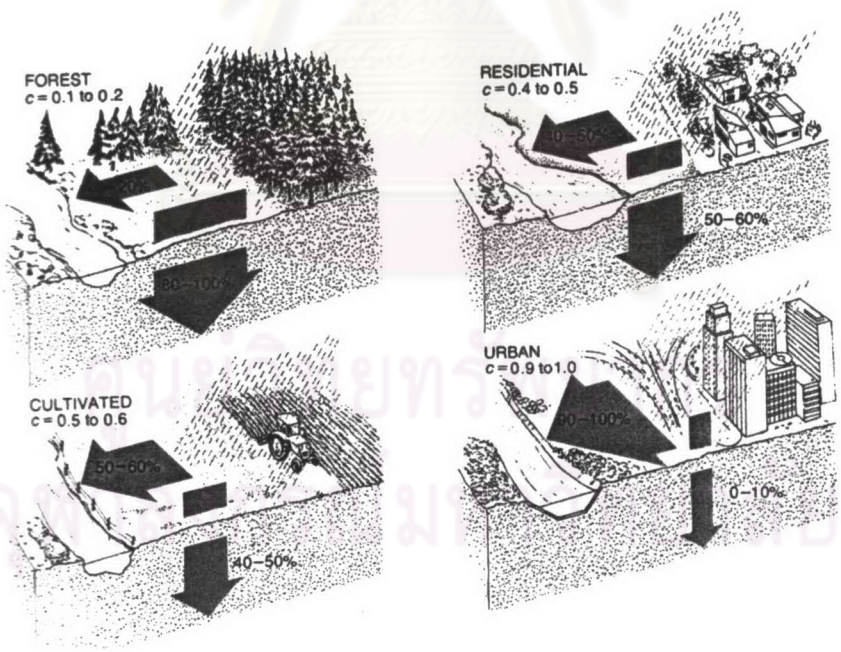
การศึกษาทางด้านอุตุนิยมวิทยามีความจำเป็นในงานด้านอุทกวิทยาเมืองเป็นอย่างมาก เนื่องจากการจัดการเกี่ยวกับการวางแผนการระบายน้ำและการกำหนดนโยบายในการจัดการเรื่องน้ำในเมือง ต้องทำการศึกษาถึงเรื่องมรสุม ลม ฝน ในวงรอบต่างๆ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการคาดการและการคำนวณระบบท่อ รวมไปถึงการจัดการเรื่องการระบายน้ำฝนในพื้นที่ต่างๆ ในการศึกษาเรื่องอุตุนิยมวิทยาในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับอุทกวิทยาเมืองนั้นแบ่งเป็น 2 เรื่องคือ

-ภูมิอากาศในเมือง ซึ่งจะศึกษาถึงเรื่องการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในเมืองที่มีผลทำให้ข้อมูลทางด้านปริมาณน้ำฝนเปลี่ยนแปลงไป

-ปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะนำมาคำนวณประมาณการปริมาณน้ำท่าและเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบระบายน้ำ

(2) สิ่งปกคลุมพื้นดิน (Land Cover)

สิ่งปกคลุมพื้นดินในพื้นที่เมืองในที่นี้ หมายถึงวัสดุและวิธีการก่อสร้างที่เปลี่ยนแปลงลักษณะและคุณสมบัติเดิมของดินให้เปลี่ยนแปลงไป หรือบดบังผิวดินเดิมทำให้ดินไม่สามารถทำหน้าที่เดิมตามสภาพแวดล้อมได้



ภาพที่ 2-8 แสดงการเปลี่ยนแปลงการซึมน้ำและ runoff ในลักษณะการใช้ที่ดินต่างกัน (Marsh,1991)

ประเภทของสิ่งปกคลุมพื้นดิน

-วัสดุประเภทพื้นผิวทึบน้ำ (Impervious Surface) เช่นส่วนของอาคาร หลังคา พื้นที่ดาดแข็งต่างๆ

-วัสดุประเภทพื้นผิวที่น้ำซึมผ่านได้ (Permeable Surface) เช่น พื้นดิน สนาม หญ้า สวน

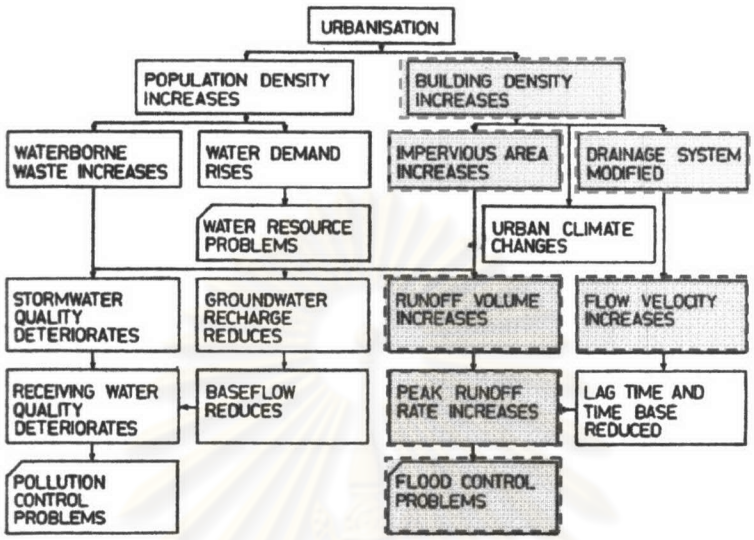
2) ปัญหาทางอุทกวิทยาในพื้นที่เมือง

การเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมในพื้นที่เมือง มีผลทำให้รูปแบบการระบายน้ำ (Drainage Pattern) เปลี่ยนแปลงไป Savini and Kammerer(1961), Leopold(1968), Hall(1973) และ Cordery(1976) กล่าวว่า "การเปลี่ยนแปลงอิทธิพลของน้ำ ที่เริ่มเกิดขึ้นในพื้นที่รับน้ำของท้องถิ่น เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะของชนบทเป็นเมือง ซึ่งสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือ สภาพความเป็นเมืองมีอิทธิพลอย่างแน่ชัดต่อกระบวนการทางอุทกวิทยา ที่มีสาเหตุจากการเพิ่มจำนวนประชากรและการเพิ่มความหนาแน่นของอาคารในพื้นที่เมือง" อีกนัยหนึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Land use) ในทางอุทกวิทยาเป็นเรื่องที่ได้รับความสนใจ เพิ่มขึ้นอย่างมากตลอด 50 ปีที่ผ่านมา ประเด็นในเรื่องการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีผลกระทบต่อระบบอุทกวิทยา ได้กล่าวถึง การเพิ่มความหนาแน่นของสภาพเมือง การเปลี่ยนแปลงพืชปกคลุมดินและการระบายน้ำผิวดิน (Davie,2003)

กิจกรรมของเมือง ความหนาแน่นของรูปทรงเมือง วัสดุพื้นผิวทึบน้ำที่ถูกสร้างขึ้น รูปแบบของการตั้งถิ่นฐาน สิ่งต่างๆเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับโครงข่ายการระบายน้ำตามธรรมชาติ และการออกแบบการระบายน้ำ, การป้องกันน้ำท่วม ที่เป็นผลมาจากลักษณะของระบบน้ำในเมือง พื้นดาดแข็งและท่อระบายน้ำลดการซึมน้ำและทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลง กิจกรรมของเมืองตามสถานที่ต่างๆ รูปทรงของเมืองและวัสดุที่ใช้ มีอิทธิพลกับระดับความรุนแรงของอุทกภัยที่เกิดขึ้น (Spirn,1984, p.129-130) สภาพเมืองเปลี่ยนแปลงทั้งวัสดุปกคลุมพื้นดินและธรรมชาติของเนื้อที่โครงข่ายการระบายน้ำ และก่อให้เกิดปัญหาทางวิศวกรรม (Engineering Problems) อย่างชัดเจน คือ การออกแบบระบบระบายน้ำใหม่ และการป้องกันปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงเนื่องการอิทธิพลของการพัฒนาเมือง (Hall, 1986, p.vi)

เมื่อการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับน้ำในเมือง หรือระบบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับน้ำในเมือง เช่น การตื้นเขินของทางน้ำ หรือคลอง เป็นต้น ไม่ว่าจะเกิดจากการกระทำของธรรมชาติ หรือมนุษย์ ทำให้น้ำไม่สามารถรักษาเสถียรภาพ (Hall, 1986) และทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น หรือน้ำที่เป็นสิ่งที่ช่วยในการรักษาเสถียรภาพให้กับระบบนั้นๆ ไม่สามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ต่อไปได้ ก็จะทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ขึ้น เช่นน้ำเสีย น้ำท่วม เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลกับระบบย่อยๆ เช่น คลอง รวมกันไปจนถึงระบบใหญ่ เช่น แม่น้ำ หรือพื้นที่รับน้ำในภูมิภาค ดังนั้นมนุษย์จำเป็นต้องตระหนัก

ถึงความสำคัญของปัญหา และที่มาของปัญหาอย่างถ่องแท้ เพื่อที่จะเข้าใจปัญหานั้นๆ และหาแนวทางป้องกัน และแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกวิธี



ภาพที่ 2-9 แสดงแผนภูมิผลกระทบของกระบวนการอุทกวิทยาที่เกิดจากสภาพความเป็นเมือง (Urban Hydrology:Hall,1986)

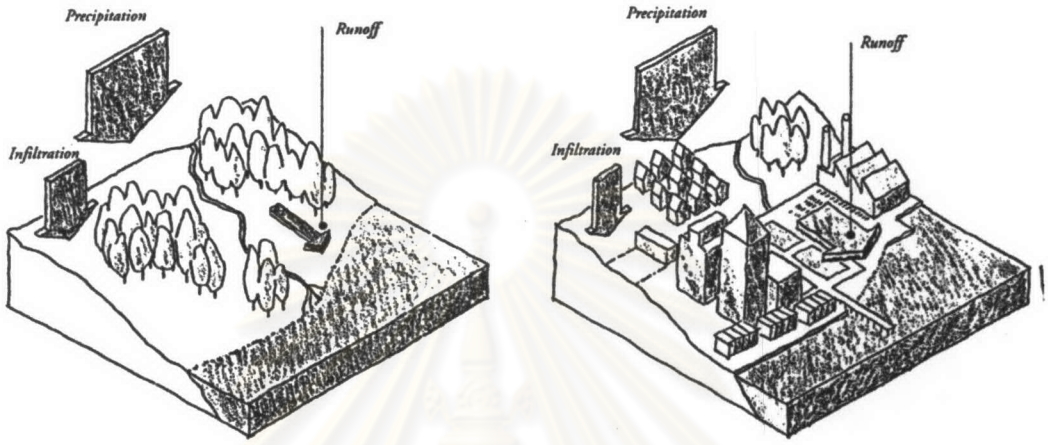
(1) การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยาเมืองที่มีผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดิน

Hall (1986) กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินในพื้นที่เมืองเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมเมือง (Urban Environment) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบอุทกวิทยาตามไปด้วย วัฏจักรของน้ำในพื้นที่เมืองและระบบระบายน้ำตามธรรมชาติล้วนถูกดัดแปลงและเพิ่มเติมด้วยท่อระบายน้ำ ผลกระทบที่เกิดจากน้ำหลากได้ถูกบรรเทาลงด้วยกระบวนการต่างๆ หรือใช้บึงกักเก็บ ในการพัฒนาเมืองช่วงแรกถังบำบัดได้ถูกใช้งานสำหรับกำจัดของเสียจากบ้านเรือน เมื่อเมืองเติบโตขึ้นของเสียจากท่อระบายน้ำได้เข้าสู่ระบบบำบัดที่ได้ถูกสร้างขึ้นและส่งน้ำเหล่านั้นกลับไปยังระบบแม่น้ำลำคลองของเมือง แต่เดิมนั้นน้ำสำรองที่ได้จากน้ำผิวดินที่ไหลมาจากพื้นผิวในท้องถิ่นและน้ำใต้ดินเป็นทรัพยากรที่มีราคาต่ำ แต่ในขณะที่พลเมืองเพิ่มมากขึ้นความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น ในอนาคตการสำรองน้ำมีเพียงการหาแหล่งน้ำที่ไกลออกไป ทั้งในเรื่องน้ำเสียและน้ำสำรองนั้นเป็นผลมาจากการขยายอิทธิพลของเมืองที่มีขอบเขตในปัจจุบัน

(1.1) การเพิ่มปริมาณของ Runoff

จากภาพที่ 2-9 ได้อธิบายถึงผลกระทบของพื้นที่เมืองที่มีต่ออุทกวิทยาจาก เกิดขึ้นจากสองสาเหตุใหญ่ ซึ่งสาเหตุหนึ่งเกิดจากเพิ่มการเพิ่มปริมาณของอาคาร (ในกรอบเส้นประสีแดง) ซึ่งเหตุ

ของการเพิ่มปริมาณของอาคารทำให้พื้นผิวทึบน้ำเพิ่มมากขึ้น และทางน้ำในธรรมชาติหรือทางน้ำเก่าถูกปรับเปลี่ยนไป มีผล (ในกรอบเส้นประสีน้ำเงิน) กระทบต่ออุทกวิทยาคือทำให้ปริมาณ Runoff เพิ่มมากขึ้น ความเร็วในการไหลของน้ำเพิ่มมากขึ้น ช่วงเวลาของการไหล Runoff เร็วขึ้น ทำให้เกิดปัญหาในการควบคุมปริมาณน้ำ



The hydrologic cycle
In **pre-development** landforms, a large percentage of precipitation infiltrates into the soil. A small percentage remains on the surface as runoff.

In **Post-development,** opportunities for infiltration are typically reduced, and a larger proportion of total precipitation becomes surface runoff.

ภาพที่ 2-10 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณ Runoff ก่อนและหลังการพัฒนาพื้นที่
(BASMAA,1997)

Marsh กล่าวไว้ว่าน้ำจากฟ้าทั้งหมดที่ไหลไปบนผิวดินจะมีการถ่ายเทไปใน 3 รูปแบบ น้ำส่วนหนึ่งจะถ่ายเทลงดินโดยตรงตามการบวนการที่เรียกว่า การซึม (Infiltration) น้ำอีกส่วนหนึ่งจะถูกกักเก็บไว้บนผิวดินที่เราเรียกว่า Depression Storage ซึ่งน้ำจะถูกขังบนผิวดินจากแอ่งน้ำเล็กๆหรือหลุมต่างๆ น้ำส่วนที่เหลือก็จะเป็นน้ำไหลบนผิวดิน (Overland flow) ซึ่งจะไหลผ่านผิวดินจนกระทั่งไปเชื่อมต่อกับทางน้ำและแม่น้ำ ปริมาณหรือเปอร์เซ็นต์ของน้ำจากฟ้าหรือปริมาณน้ำฝน ที่ไหลไปตามผิวดินนั้นจะมีความรุนแรงขึ้นในภูมิทัศน์สมัยใหม่ ในภูมิประเทศที่มีพืชพันธุ์หนาแน่นจะมีการซึมในอัตราส่วนที่สูงทำให้น้ำที่ไหลบนผิวดินมีปริมาณน้อย ในที่โล่ง พื้นที่ป่าและพื้นที่ที่มีต้นไม้ปกคลุมซึ่งถูกแทนที่ด้วยพื้นที่ทางการเกษตรและสิ่งปลูกสร้าง สิ่งปกคลุมใหม่ต่างๆเหล่านี้มีผลโดยตรงกับน้ำที่ไหลบนผิวดินในทางตรงกันข้าม

ภาพที่ 2-11 (A) แสดง Depression Storage (บริเวณที่เป็นพื้นที่สีดำ) ในพื้นที่ชนบทที่เก็บน้ำจากน้ำผิวดิน และในพื้นที่เดียวกัน (B) เป็นภาพหลังการพัฒนาพื้นที่ ไม่เพียงแต่ Depression Storage จะหายไปเท่านั้นพื้นดินโดยทั่วไปก็ถูกปกคลุมด้วยวัสดุพื้นแข็งเป็นส่วนใหญ่ (Marsh,1991)

(1.2) การเปลี่ยนแปลงการไหลนองบนพื้นผิว

ถ้าเราต้องการตรวจสอบองค์ประกอบที่เป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน เราสามารถดูได้จากสิ่งที่ปกคลุมพื้นดิน(เช่นพืชพันธุ์และการใช้ที่ดิน) ชนิดของดิน ความลาดเอียงของพื้นผิว(Slope) ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นตัวควบคุมที่สำคัญ ซึ่งโดยปกติแล้วน้ำผิวดินจะเพิ่มด้วยความลาดชันและลดลงด้วยอินทรีย์วัตถุในดินและขนาดของอานุภาค และอีกทางหนึ่งคือเพิ่มด้วยวัสดุปกคลุมดินที่มาลักษณะเป็นพื้นผิวแข็งเช่น ยางมะตอยและคอนกรีตแต่จะลดลงด้วยพันธ์ไม้ที่ปกคลุม องค์ประกอบในการควบคุมปริมาณน้ำไหลเหล่านั้นเป็นสิ่งที่ทำให้พื้นที่ต่างๆมีความแตกต่างในเรื่องความสัมพันธ์ของการซึมและปริมาณน้ำที่เหลือซึ่งค่าเหล่านั้นเราเรียกว่า "ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลนอง" (Coefficient of Runoff)

-ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลนอง (Coeffcient of Runoff)

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำผิวดิน ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 – 1.0 ซึ่งจะเป็นตัวแทนสัดส่วนของปริมาณน้ำฝนที่ปรากฏเป็นน้ำผิวดินหลังจากมีการซึมแล้ว เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C) ที่มีค่า 0.6 นั้นหมายความว่า 60% ของน้ำฝนจะเป็น Runoff ส่วนอีก 40% จะหายไปกับการซึม การคำนวณ Runoff สำหรับพื้นที่ขนาดเล็กนั้น (พื้นที่ไม่เกิน 2,500 ไร่) จะใช้การคำนวณที่เรียกว่า Rational Method ซึ่งสูตรที่ใช้จะเป็นการรวมกันของ

สัมประสิทธิ์การไหลนองด้วยความเข้มของฝนและขนาดของพื้นที่ ผลที่ได้ก็จะเป็นค่าสูงสุดของการไหลออกสำหรับพายุฝนแต่ละลูก ที่ปากทางออกของพื้นที่รับน้ำ

Topography and Vegetation	*Open Sandy Loam*	*Clay and Silt Loam*	*Tight Clay*
Woodland			
Flat (0–5% slope)	0.10	0.30	0.40
Rolling (5–10% slope)	0.25	0.35	0.50
Hilly (10–30% slope)	0.30	0.50	0.60
Pasture			
Flat	0.10	0.30	0.40
Rolling	0.16	0.36	0.55
Hilly	0.22	0.42	0.60
Cultivated			
Flat	0.30	0.50	0.60
Rolling	0.40	0.60	0.70
Hilly	0.52	0.72	0.82

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C) ในพื้นที่ชนบท (Marsh, 1991)

Commercial:	
Downtown	0.70–0.95
Shopping centers	0.70–0.95
Residential:	
Single family (5–7 houses/ac)	0.35–0.50
Attached, multifamily	0.60–0.75
Suburban (1–4 houses/ac)	0.20–0.40
Industrial:	
Light	0.50–0.80
Heavy	0.60–0.90
Railroad yard	0.20–0.80
Parks, Cemetery	0.10–0.25
Playgrounds	0.20–0.40

ตารางที่ 2-2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C) ในพื้นที่เมือง (Marsh, 1991)

ลักษณะการใช้พื้นที่	**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	0.40	0.35	0.25	0.20	0.20
สวนสาธารณะ เกษตร	0.30	0.25	0.20	0.15	0.15

ตารางที่ 2-3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C) ของกรุงเทพมหานคร

(Camp Dresser & Mckee, 2511)

สูตรที่ใช้ : Q=A*C*I (Marsh,1991)

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำไหลออก (cb.f/s.)

A = พื้นที่ (acres)

C = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง

I = ความเข้มของปริมาณน้ำฝน (f./h.)

จากตารางการแสดงค่าสัมประสิทธิ์การไหลนอง (C)(ตารางที่ 2-1, 2-2 และ 2-3) จะเห็นได้ว่าเป็นค่าที่มีความแตกต่างกันไปตามสภาพของในพื้นที่ชนบทและในพื้นที่เมือง การใช้ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับพื้นที่เมืองของต่างประเทศและในเมืองไทยมีความแตกต่างกัน เราจะเห็นได้ว่าในลักษณะการใช้งานของพื้นที่ย่านธุรกิจในต่างประเทศมีค่า C อยู่ที่ 0.70-0.95 ซึ่งในกรุงเทพมหานครจะใช้ค่า C ที่ 0.25-0.60 และในลักษณะการใช้งานของพื้นที่ในการพักอาศัยหนาแน่นในต่างประเทศมีค่า C อยู่ที่ 0.60-0.75 ซึ่งในกรุงเทพมหานครจะใช้ค่า C ที่ 0.25-0.55

-การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลนอง (C)(กีรติ, 2543)

สัมประสิทธิ์การไหลนอง เป็นตัวแปรที่บอกถึงสัดส่วนของน้ำนองบนพื้นผิวต่างๆ ที่หักการไหลซึมและปริมาณน้ำที่ตกค้างบนผิวออกแล้ว เมื่อมีฝนตกลงบนพื้นที่รับน้ำหรือพื้นที่ระบายน้ำ โดยจะคิดปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์หรือสัดส่วนของปริมาณน้ำนองที่เทียบกับปริมาณฝนว่ามีมากน้อยเพียงใด ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆมากมาย เช่น สภาพพื้นที่ ความลาดชันของพื้นที่ ปริมาณความชื้นในดิน ชนิดของสิ่งปกคลุมพื้นที่ และความเข้มของฝน เป็นต้น โดยการนำไปประยุกต์ใช้งานนั้นก็มีความแตกต่างกันเช่น ในเมือง Austin, Texas ได้มีการศึกษาพบว่าสัมประสิทธิ์การไหลนองขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของพื้นที่ ความลาดชันและรอบการเกิดซ้ำของฝน ส่วน Camp Dresser & Mekee พบว่าสัมประสิทธิ์การไหลนองของพื้นที่กรุงเทพมหานคร ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของพื้นที่และขนาดของพื้นที่ (ตารางที่ 2-3)

(1.3) การเปลี่ยนแปลงของงบน้ำ (Water Budget)

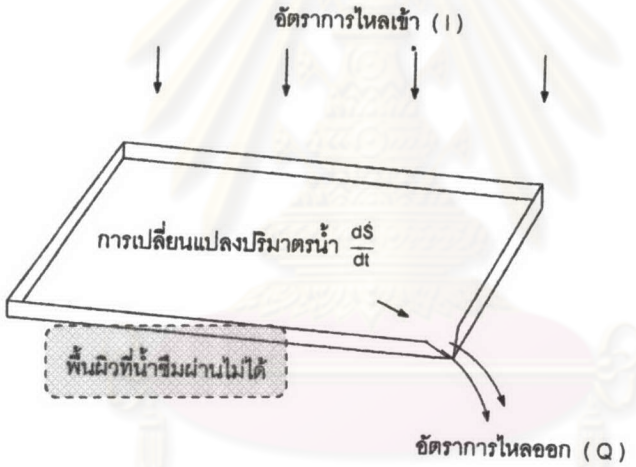
ผศ. กีรติ ลีวัจนกุล (2543) กล่าวไว้ว่า ภาพรวมของระบบอุทกวิทยาถือได้ว่าเป็นระบบปิด เนื่องจากปริมาณน้ำทั้งหมดในโลกมีปริมาณแน่นอนไม่สูญหายไปไหน แต่ถ้ามองระบบย่อยทางอุทกวิทยาบางส่วน เช่น อุทกวิทยาเมือง จะเห็นได้ว่าเป็นระบบเปิดเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนไหว ถ่ายเทไปมาได้ทั้งในระบบและระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยอาจมีการเคลื่อนไหวจากภายในระบบสู่สิ่งแวดล้อม หรือจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาในระบบ ปัญหาทางอุทกวิทยามักเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในส่วนต่างๆ ซึ่งปริมาณน้ำเหล่านี้เราเรียกว่า “งบน้ำ” (Water Budget) พื้นผิวที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ เป็นตัวแปรสำคัญของการเปลี่ยนแปลงงบน้ำ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำในระบบนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกใน 3 กรณี คือ

-อัตราการไหลเข้า (I) มากกว่าอัตราการไหลออก (Q) ทำให้ ds/dt เป็นบวก (ds= การเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำ, dt=ช่วงเวลา) เป็นผลให้ปริมาตรน้ำในระบบเพิ่มขึ้นตามเวลา ระดับน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นการไหลที่ไม่คงที่ (Unsteady Flow)

-อัตราการไหลเข้า (I) เท่ากับอัตราการไหลออก (Q) ทำให้ ds/dt =0 เป็นผลให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำในระบบ ระดับน้ำจะคงที่ (Steady Flow)

-อัตราการไหลเข้า (I) น้อยกว่าอัตราการไหลออก (Q) ทำให้ dt/ds เป็นลบ เป็นผลทำให้ปริมาตรน้ำในระบบลดลงตามเวลา ระดับน้ำจะลดลงเรื่อยๆ เป็นการไหลที่ไม่คงที่ (Unsteady Flow)

เรื่องของงบน้ำในพื้นที่เมืองนั้นควรมีการควบคุมปริมาตรน้ำในระบบให้อัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกให้สมดุล โดยการรักษาระดับน้ำให้คงที่ (Steady Flow) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางภูมิทัศน์ ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นดินจะมีผลกับการเปลี่ยนแปลงของงบน้ำ เมื่อมองจากระบบอุทกวิทยาโดยรวม

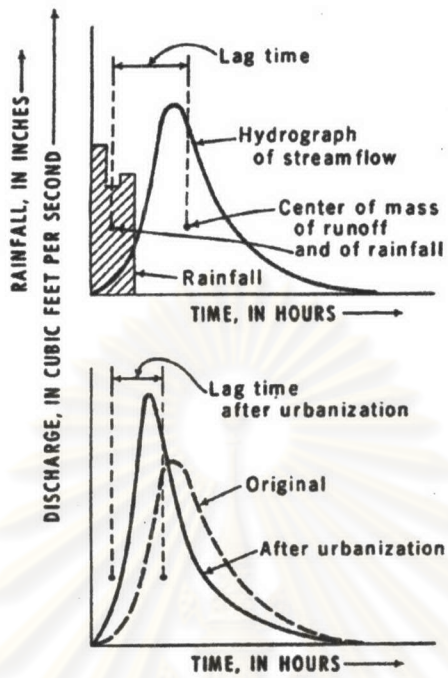


ภาพที่ 2-12 แสดงแบบจำลองทางอุทกวิทยาเกี่ยวกับ งบน้ำ (Water Budget)
(อุทกวิทยา : ผศ. กีรติ ลีวัจนกุล, 2543)

(1.4) การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการรวบรวมและนำพา (Concentration Time)

ในการเปลี่ยนแปลงสภาพพื้นที่จนเป็นเมืองนั้น ได้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นหลายประการ แต่มีสิ่งหนึ่งที่ Marsh กล่าวไว้ว่าการพัฒนานั้นได้ส่งผลถึงโครงข่ายการระบายน้ำ การเพิ่มขึ้นของทางน้ำสาขา หรือความหนาแน่นของการระบายน้ำ (Drainage Density) ส่งผลในทางอุทกวิทยาคือทำให้ระยะเวลาในการรวบรวมและนำพาน้ำนั้นใช้เวลาสั้นลง เนื่องจากระยะทางของน้ำที่ต้องไหลผ่านผิวดินลดลงเพราะความหนาแน่นของการระบายน้ำมีมากทำให้สามารถรวบรวมน้ำได้เร็ว

ซึ่งความแตกต่างของระยะเวลาก่อนและหลังการพัฒนาพื้นที่นั้นดูได้จาก ชลภาพ (Hydrograph) ตามภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 แสดงชลภาพ (Hydrograph) ของผลกระทบของอุทกวิทยาที่เกิดจากการใช้พื้นที่ในเมือง (Luna B. Leopold, Hydrology for Urban Land Planning: 1968, p3)

กล่าวโดยสรุปแล้ว อุทกวิทยาเป็นการศึกษาเกี่ยวกับน้ำตั้งแต่ช่วงที่น้ำตกลงสู่พื้นแผ่นดินไปจนถึงเวลาที่น้ำไหลกลับสู่ทะเลแล้วระเหยกลับสู่ชั้นบรรยากาศ อุทกวิทยาเป็นเรื่องราวที่เกี่ยวข้องทั้งเรื่องของน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน การศึกษาด้านอุทกวิทยานั้นเพื่อที่เราจะเข้าใจพฤติกรรมของน้ำ ส่วนในเรื่องอุทกวิทยาเมืองนั้นเป็นการศึกษาที่เจาะจงเฉพาะในพื้นที่เมืองโดยทำการศึกษากระบวนการทางอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทั้งในและนอกสภาพแวดล้อมเมืองที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะชนบทเป็นเมือง ซึ่งการศึกษาทั้งสองอย่างมุ่งที่จะทำความเข้าใจพฤติกรรมของน้ำ และความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลให้พฤติกรรมของน้ำเปลี่ยนไป ซึ่งเราสามารถดูความแตกต่างของอุทกวิทยาและอุทกวิทยาเมืองได้จากการศึกษาวัฏจักรของน้ำในระบบธรรมชาติและวัฏจักรของน้ำในเมือง

2.2 แนวความคิดเกี่ยวกับนิเวศภูมิทัศน์ (Landscape Ecology) กับการระบายน้ำในเมือง

กระบวนการเกิดและการพัฒนาเปลี่ยนแปลงของภูมิทัศน์เป็นผลมาจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันของปัจจัยในภูมิทัศน์ ทั้งที่เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ และผลที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ในกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ระบบอุทกวิทยา(Hydrological System) เป็นตัวการสำคัญตัวการหนึ่ง ที่ก่อให้เกิดกลไกของกระบวนการทั้ง 3 ดังนี้ (Darmer,1992) คือ 1) กระบวนการทางธรณีสัณฐานวิทยา (Geomorphological Process) ที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลายาวนาน, 2) แผนแบบการรวมกลุ่ม (Colonization)กันของปัจจัยในภูมิทัศน์, 3) การถูกรบกวน (Local Disturbance) ของระบบนิเวศในภูมิทัศน์ในเวลาอันรวดเร็ว น้ำเป็นตัวการหนึ่งที่ก่อให้เกิดการถูกรบกวนของระบบนิเวศ ในกรณีที่เกิดพายุ หรือฝนตกในปริมาณมาก การระบายน้ำจะมีกระแสการไหลที่รุนแรงก่อให้การพังทลายของหน้าดิน เกิดน้ำท่วมฉับพลัน หรือน้ำป่าไหลหลากได้ ซึ่งถึงแม้ว่าจะเป็นไปในระยะเวลาอันสั้นแต่ก็มีผลทำให้ระบบนิเวศบริเวณนั้นเปลี่ยนแปลงไปส่งผลต่อภูมิทัศน์ในเวลาต่อมา

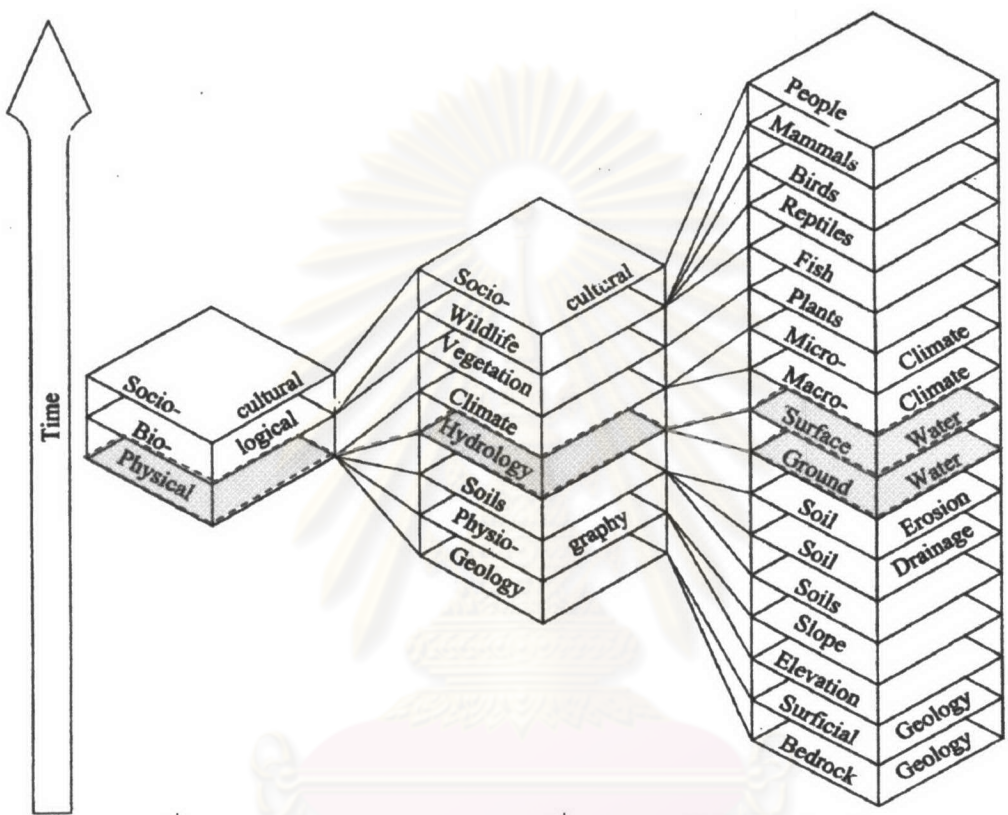
การระบายน้ำเป็นส่วนหนึ่งของนิเวศภูมิทัศน์ ความเกี่ยวข้องนั้นเป็นการเกี่ยวข้องตามการจำแนกปัจจัยทางภูมิทัศน์ (Laurie,1986; McHarg, 1971 อ้างถึงใน Thomson and Steiner,1997) โดยที่การระบายน้ำนั้นจัดเป็นปัจจัยทางธรรมชาติ (Natural Factor) ของนิเวศภูมิทัศน์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของระบบระบายน้ำได้ถูกรบกวนจากปัจจัยที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Human Factor) จนทำให้พฤติกรรมของน้ำเปลี่ยนจากการระบายน้ำในธรรมชาติกลายเป็นการระบายน้ำในเมือง

นิเวศวิทยาเป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม การจำแนกศาสตร์ทางนิเวศวิทยาส่วนใหญ่จึงแยกตามกลุ่มหรือลักษณะของสิ่งมีชีวิตหรือตามสภาพถิ่นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต เริ่มตั้งแต่ระบบสิ่งมีชีวิตแต่ละตัว ระบบนิเวศและกลุ่มสิ่งมีชีวิต จนครอบคลุมถึงภูมิทัศน์ (Landscape) อีโคสเฟียร์และโลก ซึ่งมีลักษณะของการศึกษาแบบองค์รวม

ระบบนิเวศ(Ecosystem) หมายถึง ระบบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะมีความแปรผันของระบบตามปัจจัยสิ่งแวดล้อม ความสัมพันธ์ของระบบนิเวศจึงมุ่งเน้นที่โครงสร้าง (Structure) ขององค์ประกอบทั้งที่เป็นสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิต และหน้าที่ขององค์ประกอบในระบบนิเวศ (Function) ในการทำงานเพื่อก่อให้เกิดระบบที่สามารถดำเนินไปได้โดยราบรื่น (Tansley, 1935 อ้างถึงใน อุทิศ, 2535:16)

มีผู้ให้คำจำกัดความของคำว่า Land คือการรวมกลุ่มขององค์ประกอบต่างๆที่มีอยู่จริงได้แก่ ดิน พืชพันธุ์ และสัตว์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างสลับซับซ้อน ภูมิทัศน์จึงเป็นเรื่องของความสัมพันธ์ทั้งองค์ประกอบทางกายภาพ ชีวภาพและสิ่งที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ รวมทั้งปฏิสัมพันธ์

และกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นด้วย หรืออีกนัยหนึ่ง ภูมิทัศน์ คือ ระบบนิเวศที่เป็นระบบเปิดอยู่บนผิวโลก ประกอบด้วยปัจจัยต่างๆได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ ชีวภาพ และสังคม วัฒนธรรม ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านี้ต่างก็มีปฏิสัมพันธ์กันอย่างซับซ้อนในเชิง 3 มิติ ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง (Leopold, 1949; Vink, 1980; Zonneveled, 1989 อ้างถึงใน ดนัย, 2544ข, 118)



ภาพที่ 2-14 แสดง The layer-cake model ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะทางกายภาพ อุทกวิทยา และ น้ำผิวดินกับน้ำใต้ดินตามลำดับ
(Wallace, McHarg, Roberts, and Todd,1971-74)

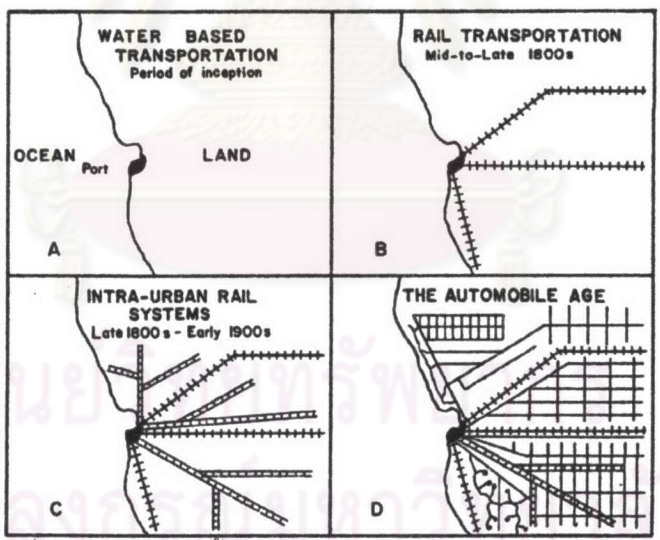
2.3 นิเวศวิทยาเมือง (The Urban Ecology) กับการระบายน้ำในเมือง

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเมืองกับธรรมชาติ เป็นอีกวิถีทางที่ได้รับการเอาใจใส่และห่วงใยจากทุกสาขาวิชาในปัจจุบัน เนื่องจากมุมมองในอดีต มิได้ให้ความสำคัญกับระบบธรรมชาติและนิเวศวิทยาเท่าที่ควรการมุ่งแต่ความเจริญก้าวหน้าของเมืองโดยการบริโภคทรัพยากรธรรมชาติอย่างไม่มีการจัดการที่ดี การเติบโตของเมืองอย่างรวดเร็ว จนเป็นเหตุให้ของเสียจำนวนมหาศาลที่เกิดขึ้นจากเมือง มากจนเกินกระบวนการทางธรรมชาติที่จะรองรับได้ และยังต้องกลับมาเป็นปัญหาของเมืองทั้งหลายในปัจจุบัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้ลุกลามใหญ่โตจนกลายเป็นปัญหาของโลกไปแล้ว

2.3.1 ความหมายเบื้องต้นของนิเวศวิทยาเมือง

นิเวศวิทยาเมือง (Urban Ecology) คือการศึกษาเมืองด้วยหลักการทางธรรมชาติหรือหลักการทางนิเวศวิทยา เพื่อศึกษารูปแบบจากปฏิสัมพันธ์ต่างๆ ในระบบเมืองให้ทราบถึงสาเหตุและรูปแบบของระบบนิเวศที่เสียไป เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง และเป็นการป้องกัน ยับยั้งปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นให้เบาบางลง

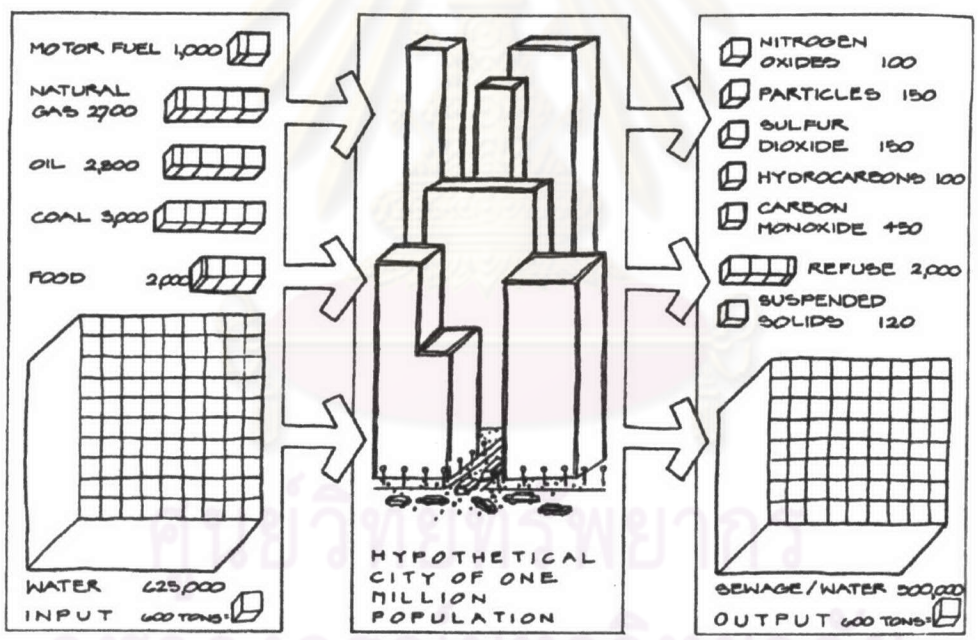
นักวิชาการด้านการผังเมืองหลายท่านเห็นพ้องกันในสิ่งหนึ่งว่า "เมืองนั้นเกิดขึ้นตามกระบวนการทางธรรมชาติ" เมืองเป็นผลผลิตที่มีความซับซ้อนมากที่สุดของมนุษย์ ถนนหนทางที่ซับซ้อนเป็นผลมาจากการออกแบบอันประณีตด้วยน้ำมือของมนุษย์ และยังเป็นสิ่งที่สะท้อนให้เห็นถึงลักษณะทางจิตใจของผู้อาศัยอยู่ในนั้นด้วย เมืองมีความหมายมากมายเกินกว่าจะเป็นเพียงโครงสร้างของวัสดุต่างๆและคอนกรีต มันเป็นตัวที่ใช้ประโยชน์จากอาหาร เชื้อเพลิงและวัตถุดิบจำนวนมหาศาล ซึ่งเป็นสิ่งหล่อเลี้ยงอารยะธรรมให้เกิดขึ้นกระบวนการสันดาปพลังงานอย่างซับซ้อนได้เปลี่ยนให้เมืองเป็นเสมือนสิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ ที่ไม่เคยปรากฏขึ้นมาก่อนในธรรมชาติและขยายตัวออกไปทั่วโลก ในขณะที่เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานจากซากพืชซากสัตว์ก็ทำให้อัตราการใช้พลังงานและการขยายตัวของเมืองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2-15 แสดงลำดับขั้นการขยายตัวของเมือง (Exline, Peter, Larkin, 1982)

การขยายตัวของเมืองตามยุคต่างๆนั้นขยายตามเส้นทางการสัญจรเป็นหลัก การสร้างสาธารณูปโภคเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ที่ทำกิจกรรมในเมืองนั้นมีส่วนทำให้การระบายน้ำของเมืองเปลี่ยนไป จากภาพที่ 2.15 เส้นทางคมนาคมที่ซับซ้อนขึ้นเป็นโครงข่ายนั้นได้ทำให้ระบบระบายน้ำมีความหนาแน่นเป็นโครงข่ายตามไปด้วย เนื่องจากการพัฒนาเส้นทางการคมนาคมจะต้องทำท่อระบายน้ำเพื่อรองรับน้ำจากถนนและพื้นที่ที่มีการพัฒนา

มีนักวิชาการหลายท่านให้คำจำกัดความของเมืองว่า "เมืองเป็นกาฝากของสภาพแวดล้อม" (Cities as Environmental Parasites: Write 1994;Haugh and Hunter 1994;McCarney in Seven ; 1995) เมืองมีกระบวนการใช้พลังงานแบบเส้นตรง จะมุ่งหาแหล่งที่ตนเองต้องการ จากหลายพื้นที่ โดยไม่คำนึงถึงผลที่จะตามมา และปล่อยทิ้งซากอย่างไม่ใยดี สิ่งที่ถูกป้อนเข้าไปไม่สัมพันธ์กับสิ่งที่ถูกปล่อยออกมา เรามุ่งปลูกพืชซึ่งดูดซึมอาหารจากดินไปโดยไม่คิดทดแทนคืน เราโค่นต้นไม้เพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างหรือวัตถุประสงค์อื่นๆ โดยไม่คิดปลูกทดแทน วัตถุดิบได้ถูกสกัด ผสม และผ่านกระบวนการออกมาเป็นสินค้าสะดวกภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดขยะ ธรรมชาติไม่สามารถดูดซึมเพื่อใช้ประโยชน์ได้ใหม่ เราทำเหมืองเพื่อสกัดเอาเชื้อเพลิงจากซากพืชซากสัตว์ออกมาในปริมาณมหาศาล หรือไม่ก็ดูดน้ำมันจากชั้นหินใต้ดิน เพื่อที่จะนำมากลั่น ใช้ และปล่อยทิ้งออกมาในบรรยากาศ อารยะธรรมและอุตสาหกรรมในเขตเมืองในปัจจุบันได้เป็นตัวเร่งให้เกิดการทำลายสิ่งแวดล้อมเร็วขึ้น พร้อมกับทำให้เกิดผลที่ยากจะคาดได้สำหรับสำหรับสิ่งมีชีวิตบนโลกในอนาคต



ภาพที่ 2-16 แสดงการใช้ทรัพยากรของเมือง ที่มีการผลิตของเสียจากการบริโภคอย่างมากมาย (Spirn, 1984)

น้ำเป็นตัวอย่างหนึ่งของทรัพยากรที่สำคัญที่สุดในเมือง และถูกใช้อย่างผิดวิธีมากที่สุด ซึ่งสะท้อนให้เห็นอย่างชัดเจนถึงสัมพันธภาพอันล่อแหลมระหว่างเมืองและระบบธรรมชาติในปัจจุบัน เมืองหลายแห่งกำลังสืบเสาะค้นหาแหล่งน้ำที่ไกลออกไปเรื่อยๆ เพื่อทดแทนน้ำจากแหล่งที่ถูกสูบไปใช้อย่างฟุ่มเฟือยจนเกินไปหรือถูกปนเปื้อนจนไม่สามารถใช้นำเพื่อการบริโภคได้

2.3.2 องค์ประกอบของนิเวศวิทยาเมือง

องค์ประกอบของนิเวศวิทยาเมืองนั้นเราสามารถแบ่งตามสิ่งที่สร้างผลกระทบและได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ของเมือง โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) อากาศ เป็นสิ่งที่มีผลกระทบอย่างกว้างขวางในเรื่องความสะอาดของอากาศ และอุณหภูมิของอากาศที่มีผลต่อทุกชีวิตในเมือง การผลิตอากาศเสียและการเพิ่มอุณหภูมิในอากาศมีผลมาจากกิจกรรมที่เกิดขึ้นพร้อมกับการพัฒนาเมืองในด้านต่างๆ
2) พื้นผิวของเมือง การเปลี่ยนแปลงพื้นผิวจากสภาพเดิมก่อนเป็นเมือง สร้างผลกระทบทั้งในเรื่องของอากาศในเมือง และการเปลี่ยนแปลงด้านพฤติกรรมต่างๆของน้ำในเมือง
3) น้ำ การใช้น้ำในเมือง ปริมาณน้ำทั้งน้ำฝนที่สร้างปัญหาให้กับเมืองเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเมืองและน้ำเสียที่เกิดจากการอุปโภคและบริโภค
4) สิ่งมีชีวิตในเมือง เป็นทั้งสิ่งที่สร้างปัญหาและรับผลที่เกิดจากปัญหาโดยตรง

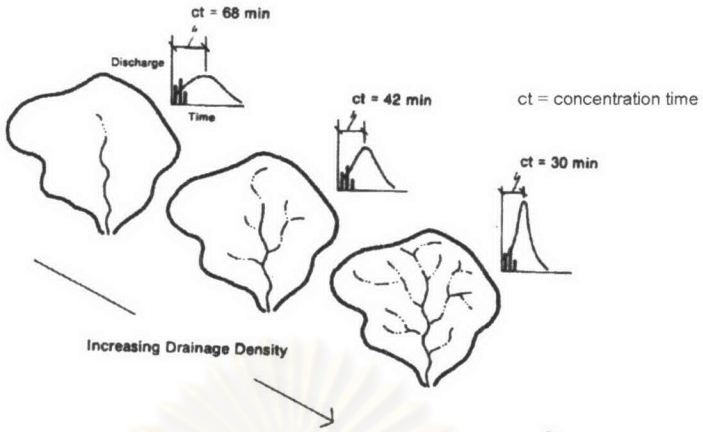
องค์ประกอบต่างๆดังกล่าวต่างมีความเกี่ยวข้องและส่งผลกระทบต่อกันและกันอย่างเป็นลูกโซ่ ดังนั้นการที่จะแก้ปัญหาใดที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมืองต้องมองการแก้ปัญหาแบบองค์รวมเพื่อที่จะทำให้วงจรของปัญหาสามารถแก้ไขได้ทั้งหมด

เมื่อเราพิจารณาเมืองตามองค์ประกอบทางนิเวศวิทยาเมืองเราจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมพื้นดินนั้นเป็นการเปลี่ยนองค์ประกอบหลักของระบบนิเวศวิทยาเมืองซึ่งจะมีผลต่อระบบอุทกวิทยาเมืองซึ่งก็คือน้ำ ที่เป็นองค์ประกอบหลักอีกสิ่งหนึ่งเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งคือสิ่งมีชีวิตในเมืองซึ่งก็คือคนที่อาศัยอยู่ในเมือง การระบายน้ำในเมืองและพฤติกรรมของน้ำเปลี่ยนแปลงตามสิ่งปกคลุมพื้นดินที่เป็นองค์ประกอบทางนิเวศวิทยาเมือง

2.4 แนวความคิดในเรื่องการระบายน้ำในพื้นที่เมือง

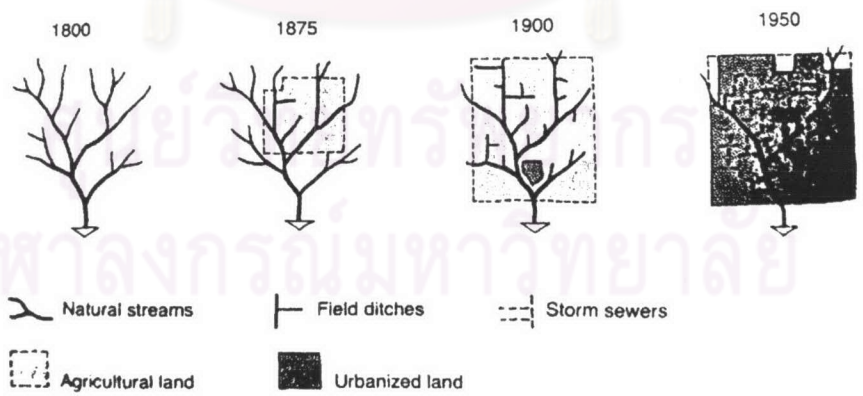
2.4.1 แนวทางในการพัฒนาลุ่มน้ำขนาดเล็ก (Marsh, 1991)

ในพื้นที่ที่ได้รับการพัฒนานั้นมีอิทธิพลที่ชัดเจน บนโครงข่ายการระบายน้ำและลุ่มน้ำ การตัดไม้ทำลายป่า การเกษตรกรรม ทำให้เกิดการพังทลายของดินและการเปลี่ยนแปลงของทางน้ำไหล การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ขยายไปถึงระบบโครงข่ายการระบายน้ำ เนื่องจากมีการเพิ่มของลำน้ำระดับที่ 1 และมีการเพิ่มความหนาแน่นของการระบายน้ำ (Drainage Density) มากขึ้น ผลดังกล่าวทำให้ทางน้ำหลักมีเวลาในการนำพาน้ำ (Concentration Time) ที่สั้นลงเนื่องจากระยะทางของน้ำที่ไหลบนพื้นดินได้ลดจำนวนลง ปริมาณที่ไหลออกจึงเพิ่มจำนวนมากขึ้น การไหลของน้ำเพิ่มจำนวนมากขึ้น ความถี่ของการไหลเพิ่มมากขึ้น การพังทลายของพื้นดินเพิ่มมากขึ้น คุณภาพน้ำเริ่มลดลง



ภาพที่ 2-17 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของการระบายน้ำ และเวลาการนำพา (Marsh,1991)

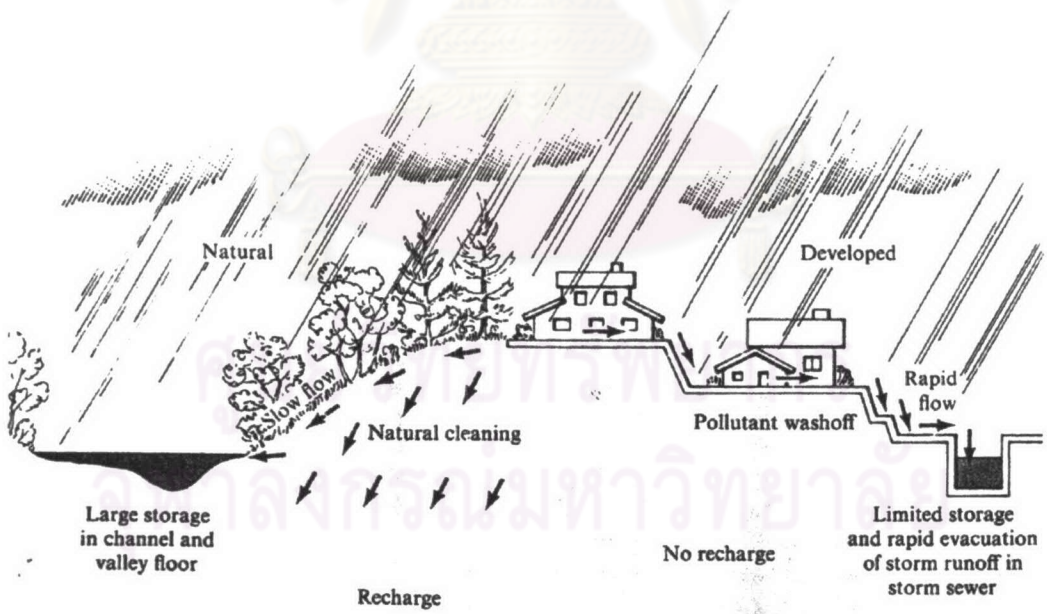
สภาพเมือง นำไปสู่การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความหนาแน่นของโครงข่ายการระบายน้ำ สิ่งหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงครั้งแรกคือการวางพื้นที่โดยตัดเส้นทางน้ำในธรรมชาตินั้น ซึ่งนั่นหมายถึงการย้ายส่วนหนึ่งของโครงข่ายช่องทางน้ำในธรรมชาติได้ถูกแทนที่โดยท่อระบายน้ำและทางน้ำใต้ดินในรูปแบบของการระบายน้ำทางสุขาภิบาล ถึงแม้ว่าทางน้ำจะถูกตัดออกไป ผลกระทบทางโครงข่ายของเมืองนั้นคือการเพิ่มปริมาณของทางน้ำและเพิ่มความหนาแน่นของการระบายน้ำทั้งระบบ สิ่งเหล่านี้เกิดขึ้นพร้อมกับการซึมน้ำที่ต่ำลงของพื้นที่เมือง ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มปริมาณของน้ำผิวดินและการนำพาน้ำในเวลาที่สั้นลง ในลุ่มน้ำสิ่งต่างๆเหล่านี้ทำให้เกิดปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้น ผลก็คือทั้งปริมาณและความถี่ได้เพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด ของทางน้ำและแม่น้ำ



ภาพที่ 2-18 แสดงเส้นทางน้ำ สาขาและความหนาแน่นของโครงข่ายการระบายน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Marsh,1991)

2.4.2 การควบคุมปริมาณน้ำในพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กของเมือง (Dunne and Leoplod, 1978)

จากภาพที่ 2-19 แสดงให้เห็นภาพของปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมืองจากการเปลี่ยนแปลงสิ่งปกคลุมพื้นดินที่มีผลต่อลักษณะอุทกวิทยาเมือง ทำให้พฤติกรรมของน้ำในพื้นที่เมืองเปลี่ยนแปลงไป ภาพแสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบลักษณะของพื้นที่ที่มีสภาพเป็นธรรมชาติ (Natural) และพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงจนกลายเป็นพื้นที่เมือง (Developed) ซึ่งลักษณะทางอุทกวิทยาในธรรมชาตินั้น พื้นผิวในธรรมชาติที่มีการปกคลุมโดยต้นไม้จะมีการไหลบนพื้นผิวที่ช้า (Slow flow) มีการกักขังบนพื้นผิวซึ่งช่วยทำให้เกิดการซึมได้ดีซึ่งเป็นกระบวนการในการทำความสะอาดน้ำโดยธรรมชาติ (Natural cleaning) มีผลให้ปริมาณ Runoff ลดลงและช่องทางน้ำในธรรมชาติเป็นพื้นที่กักเก็บน้ำที่มีขนาดใหญ่สามารถรองรับ Runoff ได้เป็นปริมาณมาก ในขณะที่พื้นที่ที่ได้รับการพัฒนา การเปลี่ยนพื้นผิวของเมืองนั้นทำให้น้ำไหลบนพื้นผิวมีอัตราการไหลที่เร็วขึ้น (Rapid flow) และยังสูญเสียการซึมอีกทั้งเกิดมลภาวะ (Pollutant washoff) ของน้ำในจากการไหลผ่านพื้นผิว ทำให้เกิด Runoff ในปริมาณสูง นอกจากนั้นท่อระบายน้ำที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมือง ยังมีข้อจำกัดในการที่จะกักเก็บน้ำไว้อีกด้วย ซึ่งเป็นปริมาณการกักเก็บที่ลดลงถ้าเทียบกับช่องทางน้ำในธรรมชาติ

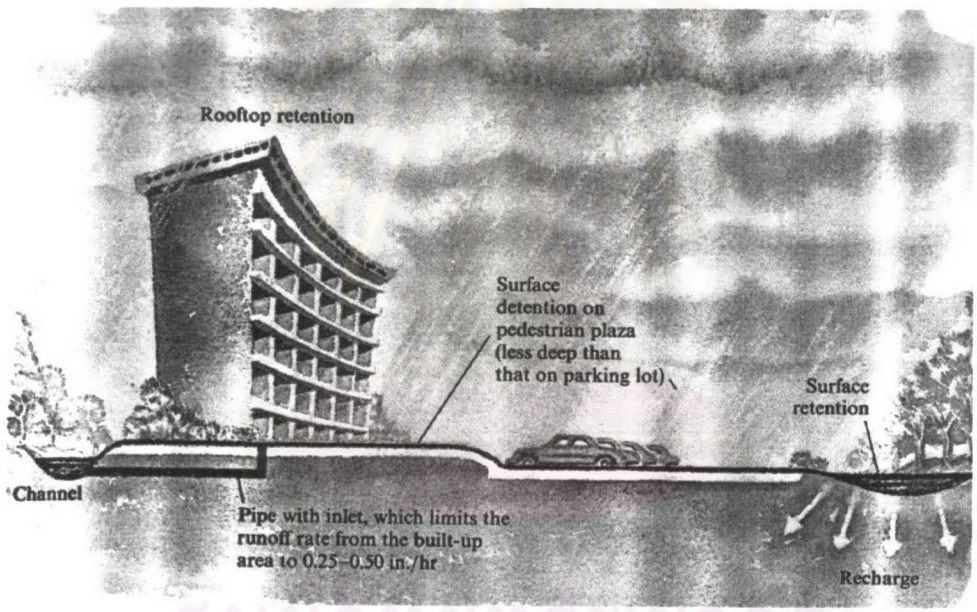


ภาพที่ 2-19 แสดงปัญหาที่เกิดขึ้นที่ต้องมีจัดการควบคุมปริมาณ Runoff ในเมือง

(Dunne and Leoplod, 1978)

Dunne และ Leopold กล่าวไว้ว่าการเพิ่มปริมาณของน้ำพื้นผิวนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวและช่องทางน้ำไหล ซึ่งเกิดพร้อมกับการพัฒนาเมือง ผู้ที่ต้องเผชิญหน้ากับ

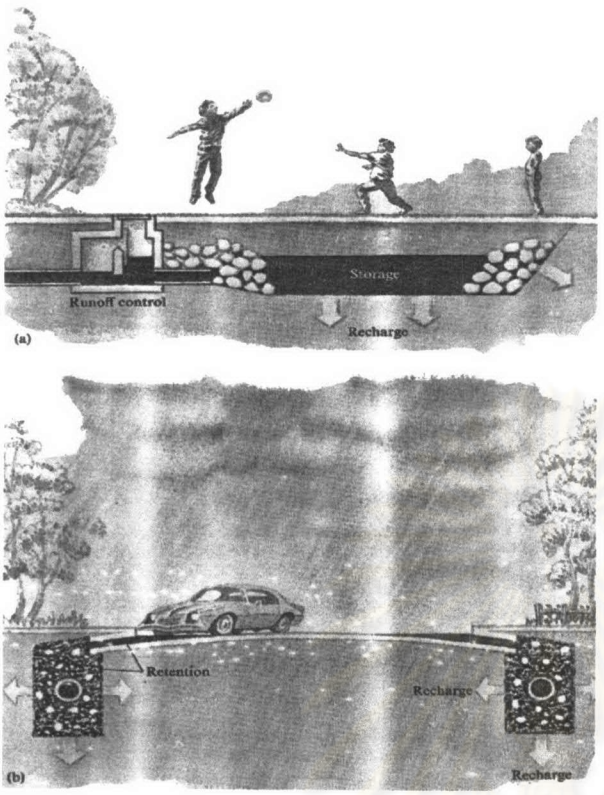
ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือนักวางแผน วิศวกร และภูมิสถาปนิก ที่จะต้องหาแนวทางแก้ไขปัญหาในขอบเขตที่เหมาะสม ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการลดและควบคุมการเพิ่มของปริมาณน้ำในพื้นที่รับน้ำขนาดเล็กของเมือง ซึ่งการแก้ปัญหาในทางทฤษฎีนั้นมีการสรุปว่า การแก้ปัญหาที่ดีที่สุดของ Runoff ในพื้นที่เมืองคือการหน่วงเหนี่ยวน้ำ ในปริมาณเล็กน้อยใกล้บริเวณพื้นที่รับน้ำต่างๆ ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะทำให้การไหลของน้ำที่จะไหลลงในทางน้ำช้าลงหรือสามารถทำให้น้ำมีโอกาสซึมลงดินได้มากขึ้น เนื่องจากปริมาณ Runoff ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเมืองนั้นจะเป็นไปตามวัสดุพื้นผิวทึบน้ำเช่น หลังคาอาคารและลานจอดรถ วิธีหนึ่งของการควบคุม Runoff นั้นคือการเก็บน้ำไว้ในหลายพื้นที่ หลังคาอาคารใหม่ๆในเมืองทั้งหลายสามารถออกแบบให้รับน้ำในเวลาฝนตกได้ถึง สามนิ้วในแต่ละหลังคา แม้แต่ที่จอดรถ ลานกว้าง และตามพื้นผิวก็สามารถตระเตรียมให้เป็นพื้นที่หน่วงเหนี่ยวน้ำได้ ในเวลาฝนตกเพื่อเป็นการลดปริมาณ Runoff ที่เกิดขึ้นในพื้นที่เมือง (ภาพที่ 2-20)



ภาพที่ 2-20 แสดงแนวทางการกักเก็บน้ำ Runoff ในพื้นที่เมือง

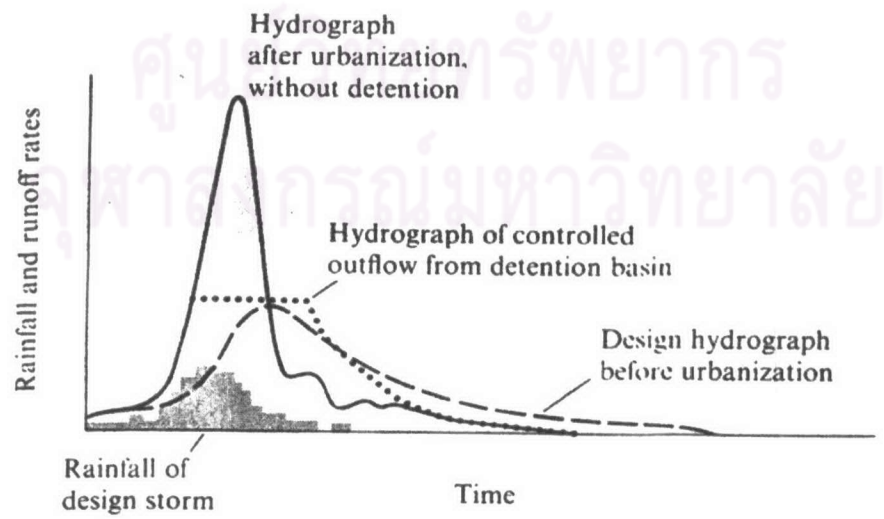
(Dunne and Leoplod, 1978)

นอกจากนี้ เรายังสามารถเตรียมการกักเก็บน้ำไว้ในระบบการกักเก็บใต้ดินได้อีกวิธีหนึ่ง (ดูภาพ 2-21) (Dunne and Leopold, 1978)



ภาพที่ 2-21 แสดงแนวทางการกักเก็บน้ำ Runoff ใต้ผิวดินเพื่อใช้ในการหน่วงเหนี่ยวน้ำและสามารถเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดินด้วย (Dunne and Leoplod, 1978)

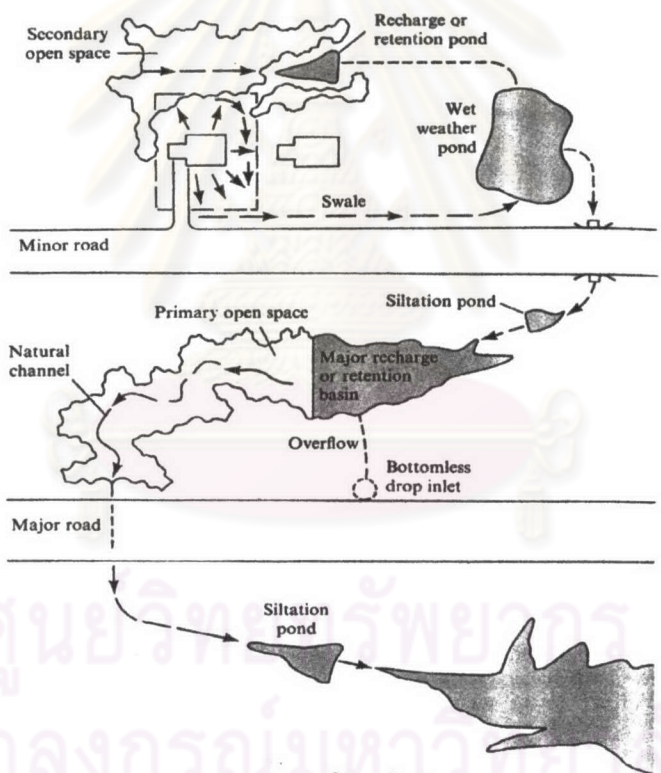
การวางแผนในการควบคุมปริมาณ Runoff โดยใช้การวางแผนในเรื่องการหน่วงเหนี่ยวน้ำ โดยการใช้พื้นที่หน่วงเหนี่ยวน้ำ (Detention basin) เพื่อวัตถุประสงค์ในการกักเก็บน้ำที่ไหลบนพื้นผิวในปริมาณที่เพียงพอ จะช่วยลดระดับอัตราการไหลสูงสุดของน้ำในเมือง (ดูจากชลภาพตามภาพที่ 2-22) จะทำให้มองเห็นภาพอัตราการไหลของน้ำที่ลดลงจากการวางแผนเรื่องการหน่วงเหนี่ยวน้ำ



ภาพที่ 2-22 แสดงความต้องการพื้นที่หน่วงเหนี่ยวน้ำ ในการออกแบบเพื่อกักน้ำทำให้จุดสูงสุดในการรวบรวมน้ำในเมืองลดปริมาณลง (Dunne and Leoplod, 1978)

กรณีศึกษาแนวทางการใช้วิธีการหน่วงเหนี่ยวน้ำในพื้นที่เมือง (Woodland, Texas)

Everhart (1973) ได้กล่าวไว้ในหนังสือ Landscape Architecture (1974) ถึงเรื่องการใช้ประโยชน์จากระบบระบายน้ำในธรรมชาติ ในพื้นที่เมืองที่ต้องอาศัยจินตนาการและความสามารถในการออกแบบ แต่ให้ผลที่คุ้มค่าในเรื่องการประหยัดงบประมาณและการได้คุณค่าทางสุนทรียภาพ ซึ่งงานออกแบบโครงการพัฒนาที่ดินสำหรับพักอาศัย 2,000 เอเคอร์ ที่เมือง Woodland, Texas (ภาพที่ 2-23) ซึ่งมีการออกแบบระบบระบายน้ำโดยใช้การระบายน้ำตามธรรมชาติที่มีอยู่ในพื้นที่เป็นตัวช่วยควบคุมปริมาณ Runoff ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ โดยใช้งบประมาณในการทำระบบเป็นเงิน 4.2 ล้านเหรียญสหรัฐ ในขณะที่ถ้าใช้การควบคุมปริมาณ Runoff ในพื้นที่โดยใช้วิธีการก่อสร้างระบบระบายน้ำในพื้นที่จะต้องใช้งบประมาณถึง 18.7 ล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งโครงการดังกล่าวเป็นตัวอย่างในการใช้ปรัชญาการออกแบบมาใช้ได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 2-23 (Everhart, 1973) แสดงการระบายน้ำในพื้นที่ของ Woodland, Texas โดยการใช้การหน่วงน้ำแบบผสมผสานไม่ว่าจะเป็นการกักเก็บโดยใช้บ่อน้ำ การกักเก็บโดยใช้ต้นไม้ การเพิ่มการซึมผิวดินในบริเวณที่ดินมีคุณสมบัติในการซึม และการใช้ประโยชน์ของทางน้ำธรรมชาติ