หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

# หลักการ ทฤษฎี และการศึกษาที่เคยมีมา

## 2.1 ความเป็นมาของปัญหา

น้ำท่าจากน้ำฝน (Stormwater Runoff) โดยเฉพาะในเขตเมือง ตามปกติจะให้ความสนใจกันแต่เพียงว่า เป็นสาเหตุสำคัญในการก่อให้เกิดปัญหาอุทกภัย การวางแผนจัดการแก้ไขปัญหาส่วนใหญ่จึงมุ่งไปที่ปริมาณของน้ำ เพื่อการปรับปรุงระบบระบายน้ำให้เหมาะสมและรวดเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ในพื้นที่หนึ่ง ๆ มักไม่มีการคำนึงถึงทางด้านคุณภาพของน้ำที่ถูกระบายเหล่านั้น ซึ่งในสภาพความเป็นจริงมลสารต่าง ๆ ที่ถูกสะสมบนพื้นผิวที่รองรับน้ำ อันได้แก่ สารตกค้างที่ออกมากับไอเสียของรถยนต์ที่เครื่องยนต์เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ การใช้สารเคมีเพื่อการกำจัดศัตรูพืช และเศษขยะมูลฝอยต่าง ๆ เมื่อฝนตกลงสู่พื้นที่รองรับน้ำนั้น แม้บางครั้งปริมาณน้ำนั้นไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดภาวะน้ำท่วม แต่น้ำท่าที่ไหลผ่านพื้นผิวนั้นจะชะล้างละลาย หรือพัดพามลสารเหล่านี้ผสมปนไป ในที่สุดน้ำส่วนดังกล่าวจะไหลลงสู่ระบบระบายและสู่แหล่งน้ำในธรรมชาติต่อไป

## 2.2 ปัญหามลพิษที่มีสาเหตุโดยน้ำท่า

มลพิษที่มีเหตุมาจากน้ำท่าหรือน้ำฝน (Pollution of Rainfall หรือ Stormwater Pollution) จำแนกได้จาก 3 ส่วนด้วยกัน คือ จากบรรยากาศที่ปกคลุมพื้นที่รองรับน้ำ จากพื้นผิวของพื้นที่รองรับน้ำรวมทั้งการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น สุดท้ายจากระบบระบาย (The Storm Drainage) ของพื้นที่รองรับน้ำนั้น ในบรรยากาศนั้นเมื่อมีฝนตก น้ำฝนจะเป็นตัวนำอนุภาคต่าง ๆ (Particles) ที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศตกลงสู่พื้นที่รองรับน้ำ ถ้าฝนตกลงมาเพียงเล็กน้อยบนพื้นที่รองรับน้ำที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ดี (Pervious Area) อาจจะยังไม่เกิดเป็นน้ำท่าได้ทันที แต่หากเป็นพายุฝนที่ค่อนข้างรุนแรงหรือไหลลงสู่พื้นที่ทึบน้ำ (Impervious Area) จะมีน้ำท่าเกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว และขณะที่น้ำท่าเหล่านี้ไหลลงสู่ระบบระบายจะชะล้าง ละลาย หรือพัดพาสารต่าง ๆ ผสมปนไป เป็นการเพิ่มความสกปรกกับน้ำท่าจำนวนนั้นมากขึ้น ซึ่งสารเหล่านี้อาจเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดการผันแปรไปของแหล่งน้ำธรรมชาติ

นอกจากนี้ น้ำท่าจำนวนนี้เมื่อลงสู่ท่อระบายน้ำ โดยเฉพาะถ้าเป็นระบบท่อรวม (Combine Sewer) จะเป็นตัวการที่ทำให้บรรดาน้ำทิ้งหรือน้ำเสียที่ตกค้างในท่อกลับฟุ้งกระจายขึ้นมาใหม่ โดยทั่วไป น้ำในระบบระบายจะถูกส่งไปยังระบบบำบัดน้ำเสีย (Treatment Plant) สำหรับเมืองที่มีระบบบำบัดในบางครั้งความสามารถของระบบระบายและระบบบำบัดน้ำเสียไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการรองรับน้ำส่วนนี้หรือมีการปรับปรุงพื้นที่ที่รองรับน้ำอย่างไม่เป็นระบบ หรือในพื้นที่นั้นไม่มีระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำท่า ส่วนนี้จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง

2.3 การศึกษาปัญหามลพิษที่มีสาเหตุจากน้ำท่า

ในปี 1936 กรุงมอสโคว์ ประเทศรัสเซีย พบว่า ในน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝน มีค่า บี โอ ดี อยู่ระหว่าง 186-285 มก/ล. และสารแขวนลอย (Suspended Solid) อยู่ระหว่าง 1,000-3,500 มก./ล. และในเมืองเลนินกราด มีการศึกษาคุณภาพของน้ำท่วมบนพื้นผิวถนนแบบแผ่นอิฐโบราณ ในปี 1948-1950 ค่า บี โอ ดี 36 มก./ล. สารแขวนลอยประมาณ 14,541 มก./ล.

Palmer (1949) ได้เก็บตัวอย่างของมลสารต่าง ๆ ในน้ำท่าที่ไหลจากพื้นผิวของถนนในย่านแออัดของเมืองดีทรอยด์ พบว่ามีค่า บี โอ ดี ประมาณ 96-234 มก./ล. สารทั้งหมด (Total Solid) 310-914 มก./ล. จำนวนโคลิฟอร์มแบคทีเรียมีค่า 250,000 ต่อ 100 มล. ของน้ำ และได้มีการศึกษาต่ออีกในปี 1960 จากพายุฝนสองครั้ง พบว่ามีสารแขวนลอยอยู่ระหว่าง 102-213 มก./ล. และโคลิฟอร์มแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 230,000 - 430,000 ต่อ 100 มล. ของน้ำ และพบว่าคุณภาพของน้ำดีขึ้นเมื่อมีพายุฝนที่หนักมากขึ้น แต่บางครั้งก็ยังมีสภาพที่เลวลงเป็นรูปแบบที่ยังไม่แน่นอน

ในปี 1954 มีการศึกษาคุณภาพน้ำท่าจากระบบท่อแยกในเมือง Ocney ประเทศอังกฤษ จากพื้นที่ 611 เอเคอร์ พบว่ามีค่า บี โอ ดี มีแนวโน้มที่จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในช่วงที่ไม่มีฝนตกติดต่อกันระหว่าง 8-10 วัน ต่อจากนั้นจะมีการผันแปรเพียงเล็กน้อย และพบว่าระบบท่อแยกมีส่วนทำให้ค่า บี โอ ดี ของน้ำที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลองลดลงแต่จะทำให้ค่าของสารแขวนลอยเพิ่มมากขึ้น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และในระหว่างปี 1945-1948 มีการเก็บตัวอย่างน้ำฝนที่ระบายออกจากสวนสาธารณะในกรุงสต็อกโฮล์ม ประเทศสวีเดน ในช่วงฤดูร้อน พบว่าค่าเฉลี่ยของโคลิฟอร์มแบคทีเรียเป็น 4,000 ต่อ 100 มล. ของน้ำ บี โอ ดี 188 มก./ล. สารทั้งหมด 300 มก./ล. และจากการวิเคราะห์ตัวอย่างเพียงครั้งเดียวมีปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรียสูงถึง 200,000 ต่อ 100 มล. ของน้ำ ซี โอ ดี 3,000 มก./ล. และ บี โอ ดี 80 มก./ล.

มีการศึกษาในช่วงที่เป็นฤดูฝน จากบริเวณย่านที่อยู่อาศัย สวนสาธารณะ โรงเรียน และสนามกีฬาต่าง ๆ ในเมือง Petoria ประเทศอัฟริกาใต้ มีโคลิฟอร์มแบคทีเรีย 240,000 ต่อ 100 มล. ของน้ำ ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ทั้งหมด 5.4 มก./ล. ปริมาณสารละลาย (Dissolve Solids) 228 มก./ล. และ บี โอ ดี 30 มก./ล. แต่ในพื้นที่ที่เป็นเขตธุรกิจค่าของโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เป็น 230,000 ต่อ 100 มล. ของน้ำ ปริมาณไนโตรเจนอินทรีย์ทั้งหมด 3.5 มก./ล. และ บี โอ ดี 34 มก./ล.

จากการศึกษาในอ่างเก็บน้ำ Occoquan ใน Northern Virginia ซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบของเมือง โดย State Water Control Board พบว่า ระหว่างปี 1960 สภาพของน้ำในอ่างมีคุณภาพที่เสื่อมลงอย่างรวดเร็ว ทั้ง ๆ ที่แหล่งที่น่าจะเป็นต้นเหตุที่ปลดปล่อยมลสารต่าง ๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมได้รับการควบคุมอย่างเพียงพอ ผลจากการศึกษาพบว่ามีสาเหตุสำคัญ คือ พื้นที่ที่ตั้งอยู่เหนืออ่างเก็บน้ำมีความเป็นเมืองเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณมลสารที่ปะปนมากับน้ำท่าเพิ่มมากขึ้น จากเหตุการณ์ในครั้งนี้ ทำให้มีการพิจารณาปัญหาพื้นฐานในเรื่องของคุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับน้ำท่าได้เป็น 2 ประการด้วยกัน คือ หากจะมีการศึกษาปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงปัญหามลพิษจากแหล่งที่ไม่ทราบที่แน่นอนด้วย ประการที่ 2 การขยายตัวของความเป็นเมืองเป็นตัวการสำคัญอันหนึ่งที่นำพามลสารที่อาจมีผลต่อความผันแปรไปของแหล่งน้ำธรรมชาติได้ จึงจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาถึงการพัฒนาและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่าง ๆ รวมทั้งวิธีการจัดการเกี่ยวกับปัญหาของน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝน

Weibel (1969) ศึกษาน้ำทิ้งและน้ำฝนจากพื้นที่เมืองที่มีลักษณะเป็นพื้นที่พักอาศัยและทำการค้าเบาบาง (Residential-light Commercial area) ในเมืองซินซินนาติ มลรัฐโอไฮโอ ผลแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยขององค์ประกอบต่าง ๆ จากน้ำไหลผ่านพื้นที่เมือง น้ำใสไครกและจำนวนฝนตก เมืองซินซินนาติ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

| | น้ำไหลผ่านพื้นที่เมือง | น้ำใสไครก | จำนวนฝนตก (มิลลิเมตร) |
|---|---|---|---|
| SS. | 277 | 200 | 13 |
| $BOD_5$ | 17 | 200 | 16 |
| Total N (as-N) | 3.1 | 40 | 1.27 |
| Total $PO_4$ (as-P) | 0.36 | 10 | 0.08 |

ที่มา : Aqatic Pollution (Laws, E.A., 1981)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำไหลจากพื้นที่อยู่อาศัยทำการค้าเบาบางในบริเวณลุ่มแม่น้ำของซินซินนาติ (ประเมินโดย Weibel, 1969)

| | การไหลของน้ำ | |
|---|---|---|
| | น้ำไหลผ่านพื้นที่เมือง | น้ำใสไครก |
| SS (mg/L) | 66,000 | 68,250 |
| $BOD_5$ (mg/L) | 4,700 | 68,250 |
| N (mg/L) | 875 | 13,650 |
| P (mg/L) | 105 | 3,500 |

ที่มา : Aquatic Pollution (Laws, E.A., 1981)

พบว่า น้ำที่ไหลผ่านเมืองมีส่วนที่ทำให้เกิดปัญหาต่อแหล่งน้ำได้ โดยเฉพาะค่าของตะกอนแขวนลอยจะสูงมากกว่าน้ำใสไครกจากเมือง ถึงแม้น้ำใสไครกจากแหล่งน้ำทิ้งยังส่งผลมากกว่า แต่น้ำไหลผ่านเมืองมีแนวโน้มสูงพอที่จะก่อให้เกิดปัญหาได้ ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพของพื้นที่และพายุฝน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Alderfer, R.G. และ Lovelace, E. (1977) กล่าวว่าการใช้ที่ดินในเขตพัฒนาการเป็นเมืองที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้การศึกษาสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินที่แตกต่างกันและปัญหาคุณภาพน้ำเป็นงานที่ยุ่งยาก เนื่องจากเหตุผลต่าง ๆ

1) การรับเอาสิ่งต่าง ๆ เข้าสู่แหล่งน้ำมาจากพื้นที่ที่กระจัดกระจาย เนื่องจากการแบ่งส่วนพื้นที่ไม่มีระเบียบแบบแผน
2) ระบบระบายน้ำจากการใช้ที่ดินเป็นระบบผสม กล่าวคือ เป็นระบบที่รับน้ำทิ้ง และน้ำฝนรวมกัน
3) การเคลื่อนที่ของสิ่งที่น้ำพัดพามาจากพื้นที่ต่าง ๆ มีความแปรปรวนไปตามเวลาและลักษณะรูปแบบของการมีฝนตกในแต่ละท้องถิ่น

จากการศึกษาของ Sartor และคณะ (1974) พบว่า มลพิษที่เกิดจากน้ำท่าที่ไหลผ่านพื้นที่ผิวของพื้นที่รองรับน้ำในเขตเมืองมีคุณภาพเท่ากับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นทุติยภูมิ (Secondary Treatment) โดยพบว่า ในเมือง ในเมืองที่มีประชากร 100,000 คน เนื้อที่ประมาณ 5,670 เอคแตร์ ในชั่วโมงแรกของน้ำท่าเมื่อฝนตกลงมาในปริมาณ 1.27 ซม.ต่อชั่วโมง ปรากฏว่าในน้ำท่านั้นมีค่า บี โอ ดี 50 มก./ล. ซี โอ ดี 100 มก./ล. สารแขวนลอยทั้งหมด 4,300 มก./ล. ปริมาณไนโตรเจน ทั้งหมด 44 มก./ล. และปริมาณฟอสเฟต (Orthophosphate) 180 มก./ล. ซึ่ง Field และ Turkeltaub ได้ยืนยันเช่นเดียวกันว่า ค่า บี โอ ดี และปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดมีค่าเท่ากับคุณภาพของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดขั้นทุติยภูมิแล้ว และยังพบว่าน้ำท่าในเขตชุมชนมีปริมาณ โคลิฟอร์ม แบคทีเรีย ในปริมาณที่สูงมาก

การบำบัดน้ำเสียทุติยภูมิ (Secondary treatnat) คือ การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการกำจัดสารอินทรีย์ หรือ บี โอ ดี ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย หรืออนุภาคคอลลอยด์ การกำจัดใช้ขบวนการทางชีววิทยาแบบต่าง ๆ เช่น activated sludge และ trickling filters ซึ่งใช้แบคทีเรียเป็นตัวทำลายสารอินทรีย์ ในน้ำทิ้งจะมีตะกอนแบคทีเรียที่ต้องบำบัดรวมกับตะกอนที่เกิดจากการบำบัดขั้นปฐมภูมิ ซึ่งจะลดค่า BOD ได้ประมาณร้อยละ 75-95 ค่า BOD ของน้ำทิ้งต้องมีค่าต่ำกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งระบบการบำบัดน้ำทิ้งโดยมากจะทำเพียงขั้นทุติยภูมิเท่านั้น (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524:46)

ปัญหามลพิษทางน้ำที่มีสาเหตุจากน้ำท่านี้ หลายแห่งได้ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เช่น ใน Milwaukee, Wisconsin ถึงกับมีการอนุมัติให้สร้างระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับน้ำท่าโดยเฉพาะ ซึ่งจำเป็นต้องใช้งบประมาณสูงถึง 26 ล้านเหรียญสหรัฐ เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำส่วนนี้ก่อนที่จะปลดปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) ได้ให้ความสนใจในปัญหานี้ เช่นเดียวกัน โดยได้ตั้งโครงการที่มีชื่อว่า The Nationalwide Urban Runoff Program (NURP) ขึ้น เพื่อศึกษาถึงสาเหตุของการเกิดมลพิษจากน้ำท่าอันเนื่องจากน้ำฝนในเขตเมือง เพื่อจะได้สามารถกำหนดแนวทางการป้องกันและควบคุมปัญหามลพิษจากมลสารที่ไม่สามารถกำหนดแหล่งที่เกิดแน่นอนได้

2.4 แหล่งปลดปล่อยมลสารที่มีผลต่อมลพิษจากน้ำท่าในเขตเมือง (Source of Urban Runoff Pollution)

2.4.1 มลสารจากชั้นบรรยากาศ (Wet And Dry Atmospheric Deposition)

การสะสมตัวของมลสารที่ตกลงมาจากชั้นบรรยากาศทั้งที่อยู่ในสภาพเปียก (Wet Deposition) และที่อยู่ในสภาพแห้ง (Dry Deposition) จะตกลงสู่พื้นที่รองรับน้ำขณะที่มีฝนตกลงมา พบว่า มลสารที่ตกลงสู่พื้นที่รองรับน้ำกับน้ำท่านี้ ปริมาณความเข้มข้น จะผันแปรกับช่วงระยะเวลาที่ฝนตก คือ ในช่วงแรกที่ฝนตกจะนำพามลสารลงมาจากบรรยากาศเป็นจำนวนมาก ความเข้มข้นของมลสารในช่วงนี้จะมีค่าสูงมาก แต่ในช่วงระยะเวลาต่อมาแม้ฝนจะตกลงมามากสักเพียงใดก็ตาม มลสารที่ตกลงสู่พื้นที่รองรับน้ำจะลดลงตามลำดับ

สำหรับมลสารที่แห้งซึ่งส่วนใหญ่ก็คือ ฝุ่นที่ฟุ้งกระจายขึ้นสู่บรรยากาศที่มีขนาดเล็กกว่า 60 ไมโครเมตร ซึ่งเกิดได้จากการจราจรขนส่งและลมที่พัดพา ขณะที่ลมสงบมลสารเหล่านี้ก็มีโอกาสที่จะล่วงลงสู่พื้นผิวอีก

2.4.2 เศษขยะมูลฝอยและฝุ่นบนพื้นที่รองรับน้ำ (Watershed Refuse Deposition Include Litters)

บรรดาขยะมูลฝอยที่ตกสะสมบนพื้นที่รองรับน้ำ ได้แก่ ฝุ่น เศษผง ผัก ผลไม้ มูลสัตว์ และขยะที่เป็นสารอินทรีย์อื่น ๆ พวกนี้จะมีขนาดโตกว่า 60 ไมโครเมตร ซึ่ง NURP ได้ศึกษาและแบ่งออกเป็น 2 พวก

1) อนุภาคขนาดกลาง (Midium Size Particles) ส่วนใหญ่ได้แก่ ฝุ่น ขนาดของสารอยู่ระหว่าง 60 ไมโครเมตร ถึง 2.0 มิลลิเมตร

2) เศษขยะ (Litter) ซึ่งมีขนาดโตกว่า 2.0 มิลลิเมตร เช่น เศษกระป๋อง เศษแก้ว เศษกระดาษ เศษวัสดุที่เหลือจากการก่อสร้าง เศษพืชผัก พลาสติก ซากพืช สัตว์ และมูลสัตว์ เป็นต้น

2.4.3 มลสารที่มาจากการจราจรและผลกระทบอื่นที่เกิดจากการจราจร (Traffic Emission and Impact)

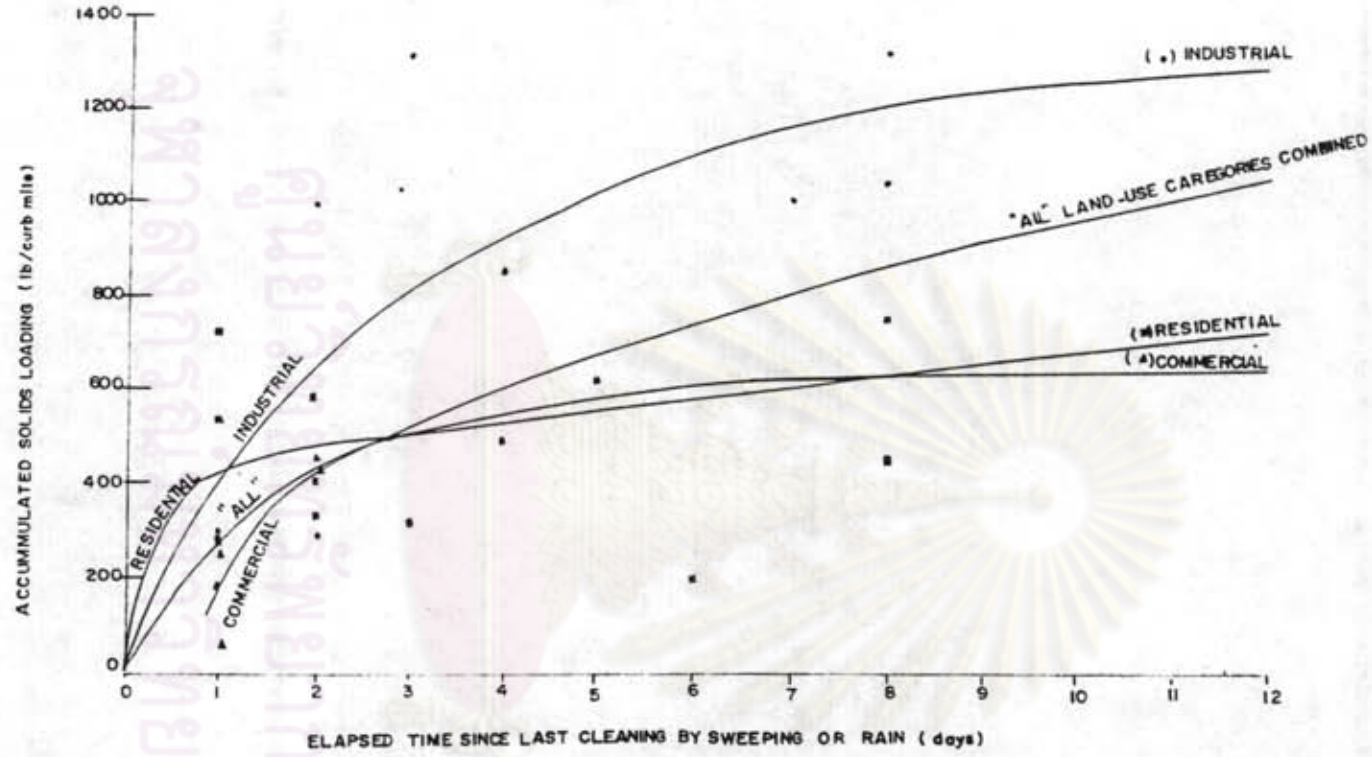
เป็นมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 60 ไมโครเมตร ลงมาโดยเฉพาะไอเสียจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังมีสารอื่นเป็นผลติดตามมาจากการจราจรด้วย เช่น เศษดินทรายที่ติดมากับยางรถยนต์ การแตกสลายของชิ้นส่วนของรถยนต์ การหกหล่นของน้ำมันเชื้อเพลิง และน้ำมันหล่อลื่น Shaheen (1977) ได้ทำการศึกษาและคาดประมาณว่า เศษวัสดุที่เป็นของแข็ง (Solids) ที่เกิดจากการจราจรมีประมาณ 0.7 กรัมต่อ ระยะทางที่รถยนต์วิ่งได้ 1 กิโลเมตร ซึ่งเป็นส่วนที่มาจากไอเสีย 0.2 กรัม จากยางรถยนต์ 0.125 กรัม นอกนั้นมาจากส่วนอื่น ๆ

2.4.4 การพังทลายของพื้นผิวบนพื้นที่รองรับน้ำ (Surface Watershed Erosion)

แหล่งปลดปล่อยมลสารที่ออกจากพื้นที่รองรับน้ำที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งก็คือ มลสารที่มาจากการถูกชะล้างพังทลายของพื้นผิวของพื้นที่รองรับน้ำเอง เนื่องจากความแรงของฝนที่ตกกระทบและการไหลของน้ำท่า โดยเฉพาะในพื้นที่ที่เป็นดินและไม่มีพืชปกคลุมรวมทั้งการถูกชะล้างของปุ๋ยยาฆ่าแมลงต่าง ๆ ด้วย

2.5 <u>การสะสมตัวของมลสารบนพื้นที่รองรับน้ำ</u> (Accumulation on Urban Watershed)

การสะสมตัวของมลสารต่าง ๆ บนพื้นที่รองรับน้ำหนึ่ง ๆ นั้น จะแตกต่างกันตามลักษณะรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังรูปที่ 2.1 ในย่านที่เป็นเขตอุตสาหกรรมปริมาณการสะสมจะค่อนข้างสูงกว่าย่านการค้าและที่อยู่อาศัย




**รูปที่ 2.1 แสดงปริมาณการละลมตัวของมลสารตามรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน**

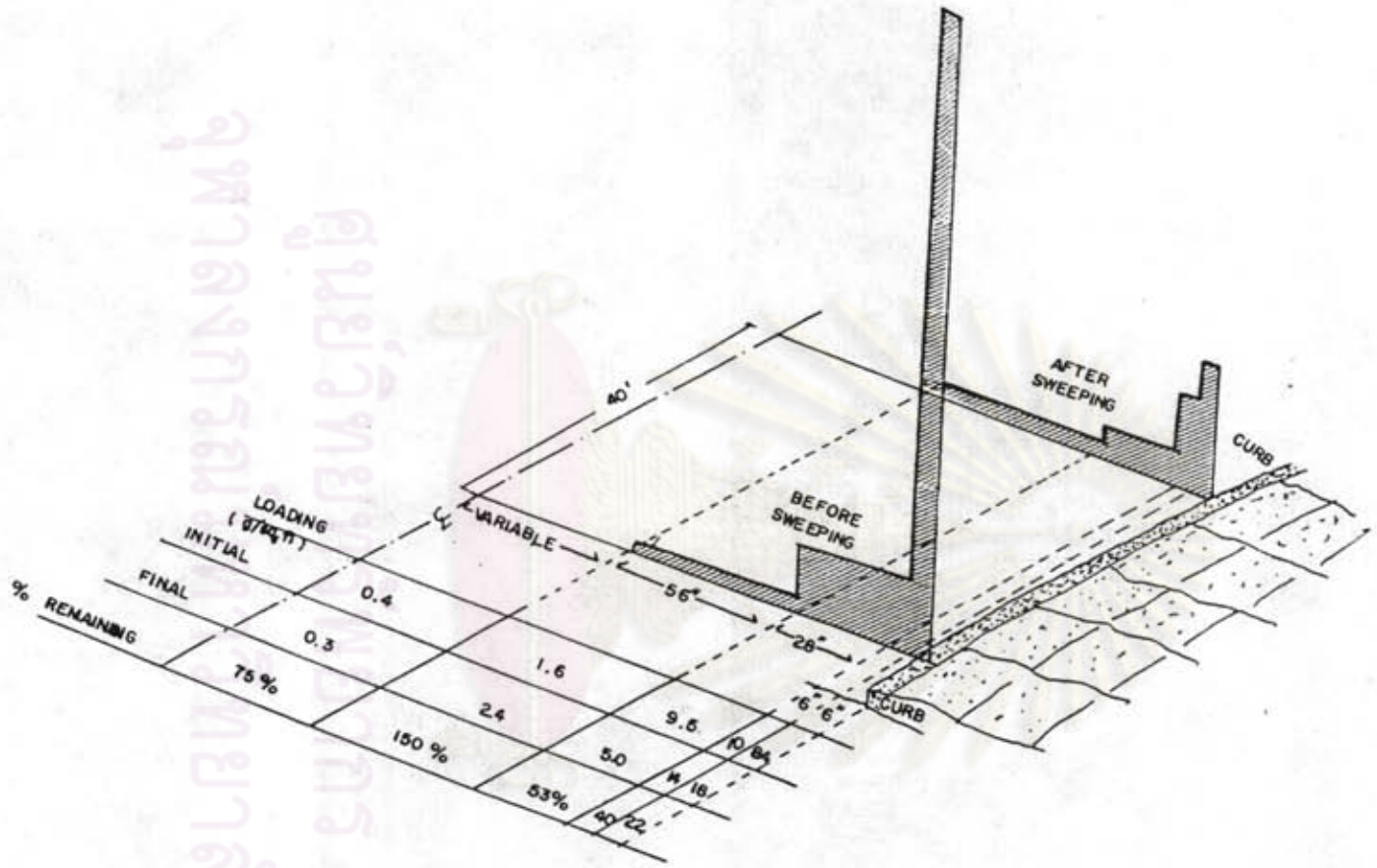
ที่มา : Water pollution Aspects of Street Surface Contaminants (Sator and Gail., 1972)

2.6 การสะสมตัวของมลสารบนพื้นผิวถนน (Accumulation on Street Surface)

มลสารที่ปะปนมากับน้ำท่าในเขตเมือง จะเกิดจากการสะสมตัวของมลสารบนพื้นผิวนั้นเอง เช่น ตามถนน ทางเท้า รางระบายน้ำ (Gutter) โดยเฉพาะพื้นผิวที่เป็นพื้นที่ทึบน้ำ ซึ่งตัวการที่ปลดปล่อยมลสารก็มาจากหลาย ๆ สาเหตุเช่น ขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนหรือที่ทิ้งขยะสาธารณะโดยการปลิวฟุ้งกระจายไปหรือจากการคุ้ยเขี่ยของสัตว์ตลอดจนการเก็บและขนย้ายของเจ้าหน้าที่รักษาความสะอาดเอง เศษหิน ดิน ทราย และสิ่งสกปรกที่เกิดจากการก่อสร้าง และซ่อมแซมอาคาร มูลสัตว์ ความสกปรกที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะ อันได้แก่ การหกหล่นของน้ำมัน เศษยางที่เกิดการฉีกขาด ฝุ่นละอองที่ติดมากับยาง ตลอดจนสารตกค้างที่ออกมาจากไอเสียของรถยนต์ และการร่วงหล่นของอนุภาคต่าง ๆ จากบรรยากาศเอง อย่างไรก็ตามการสะสมตัวของมลสารบนพื้นที่รองรับน้ำในเขตเมือง โดยทั่วไปจะถือว่า คือ มลสารที่มีการสะสมตัวอยู่บนพื้นผิวถนนในพื้นที่รองรับน้ำนั้น ๆ (Roesner, 1974 : 13)

ขอบถนน (Curb) และเกาะกลางถนน มีส่วนช่วยลดความแปรปรวนของกระแสลมและเป็นตัวกั้นปะทะการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองและมลสารต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ตามพื้นผิวถนน ดังนั้นเราจึงพบว่าเศษขยะ ฝุ่นละอองต่าง ๆ บนพื้นผิวถนนส่วนใหญ่จะสะสมตัวอยู่ตามบริเวณขอบถนนหรือขอบของเกาะกลางถนน โดยจะมีการสะสมมากที่สุดในระยะ 6 นิ้ว จากขอบและค่อย ๆ ลดปริมาณลงเมื่อห่างจากขอบถนนออกไป (ดังรูปที่ 2.2) และลดลงเมื่อมีการกวาดถนน

American Public Works Association แห่งชิคาโก (1969) ได้พยายามศึกษาถึงสาเหตุและแนวทางแก้ไขมลพิษทางน้ำ เนื่องจากการระบายน้ำทิ้งจากพื้นที่เมือง และสรุปได้ว่า ขากและเศษผงจากถนน (Street litter) จากพื้นที่พักอาศัยของเขตเมืองที่เป็นตัวแทนในการศึกษามีค่าเฉลี่ย 1.05 ตันต่อเอเคอร์ต่อปี ซึ่งร้อยละ 70 เป็นฝุ่นละอองและคราบสกปรก (Dust and Dirt) ซึ่งเป็นการศึกษาขณะที่ค่าเฉลี่ยของน้ำไหลมีประมาณ 25 นิ้วต่อเอเคอร์ต่อปี โดยข้อสมมติที่ว่าการชะล้างนั้นเกิดโดยน้ำฝนทั้งหมด และการวิเคราะห์แสดงว่า น้ำที่ไหลผ่านพื้นที่เมืองสามารถพาเอาเศษผงจากถนนเพียงอย่างเดียว มีค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยอยู่ระหว่าง 300-370 มิลลิกรัมต่อลิตร




**รูปที่ 2.2 แสดงการสะสมของมลสารบนพื้นผิวถนนก่อนและหลังกวาด**

ที่มา : Water pollution Aspects of Street Surface Contaminants (Sator and Gail., 1972)

## 2.7 การศึกษาเรื่องของน้ำท่าจากน้ำฝนโดยใช้แบบจำลอง

ในการศึกษาปัญหาของน้ำท่าจากน้ำฝน (Stormwater) เป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อน และในการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับมลพิษจากน้ำท่าซึ่งจัดเป็นมลพิษที่ไม่สามารถกำหนดแหล่งที่เกิดได้ ผลกระทบและวิธีการต่าง ๆ ในการจัดการ นิยมใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยเหลือ (Wanielista; 1978 : 265) ซึ่งเทคนิคการจำลองสภาพทางคณิตศาสตร์ เป็นวิธีที่นิยมมากวิธีหนึ่งในการช่วยแก้ปัญหาที่ยุ่งยากซับซ้อน วิธีการนี้จะทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนของระบบที่ต้องการศึกษา โดยจะแทนส่วนประกอบของระบบและความสัมพันธ์ต่าง ๆ ทั้งหมดให้อยู่ในรูปของคณิตศาสตร์ เพื่อสามารถนำไปใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ จุดเด่นของการใช้เทคนิคของแบบจำลองนี้ นอกจากจะใช้จัดการกับปัญหาอันยุ่งยากของระบบแล้ว ยังสามารถจัดการกับปัญหาที่ไม่สามารถดำเนินการทดลองกับระบบจริงได้ด้วย ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจและวางแผนจัดการกับระบบจริงได้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบนี้สามารถเข้าใจระบบได้ดียิ่งขึ้น (สุรพงษ์ ธรรมพิทักษ์, 2529:1) แบบจำลองที่ใช้เพื่อการศึกษาทั้งทางด้านปริมาณและคุณภาพเพื่อการแก้ปัญหามลพิษของน้ำท่าที่สำคัญและนิยมใช้ ได้แก่ Storm Water Management Model (SWMM) Storage, Treatment, Overflow and Runoff Model (STORM) Battle Urban Runoff Management Model (Novotny, 1981 : 258)

ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้นำเอาแบบจำลอง STORM Version 1 ปี 1974 มาศึกษาถึงวิธีการใช้ และคำนวณคุณภาพน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝนในพื้นที่คัดเลือก

## 2.8 แบบจำลอง Storage, Treatment, Overflow and Runoff Model (STORM)

แบบจำลอง STORM เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ที่ใช้ในการศึกษาเพื่อคาดการณ์ปริมาณและคุณภาพของน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝนในพื้นที่รองรับน้ำต่าง ๆ เพื่อช่วยในการวางแผนและจัดการปัญหามลพิษทางน้ำอันมีสาเหตุมาจากน้ำฝน ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการนำพาบรรดามลสารต่าง ๆ ทั้งที่อยู่ในบรรยากาศและสะสมอยู่ตามพื้นผิวของพื้นที่รองรับน้ำ ลงสู่แหล่งน้ำในธรรมชาติอันจัดเป็นมลพิษจากแหล่งที่ไม่ทราบสาเหตุที่แน่นอน วัตถุประสงค์หลักของแบบจำลอง STORM ก็เพื่อเป็นเครื่องมือในการเลือกวิธีการ หรือเลือกระบบในการกักเก็บ และระบบบำบัด (Storage and Treatment System) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของน้ำก่อนที่จะระบายลงสู่

แหล่งน้ำธรรมชาติ (Receiving Water) แบบจำลองนี้สามารถใช้ในการวางแผนได้ทั้งในเขตที่เป็นเมืองและเขตที่ยังไม่ได้รับการพัฒนาเพราะมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาปัญหาต่าง ๆ ของน้ำท่าอันเนื่องจากน้ำฝนบนพื้นที่รองรับน้ำต่าง ๆ อยู่ 4 หัวข้อ คือ

1) การคำนวณเพื่อหาปริมาณน้ำท่า (Computation of Runoff Quantity)
2) การคำนวณเพื่อหาคุณภาพของน้ำท่า (Computation of Runoff Quality)
3) การคำนวณเพื่อหาความสามารถของระบบบำบัด ระบบกักเก็บและการเกิดภาวะน้ำล้น (Storage, Treatment System and Overflow Runoff)
4) การคำนวณเพื่อหาค่าการถูกชะล้าง และพังทลายของหน้าดิน (Land Surface Erosion)

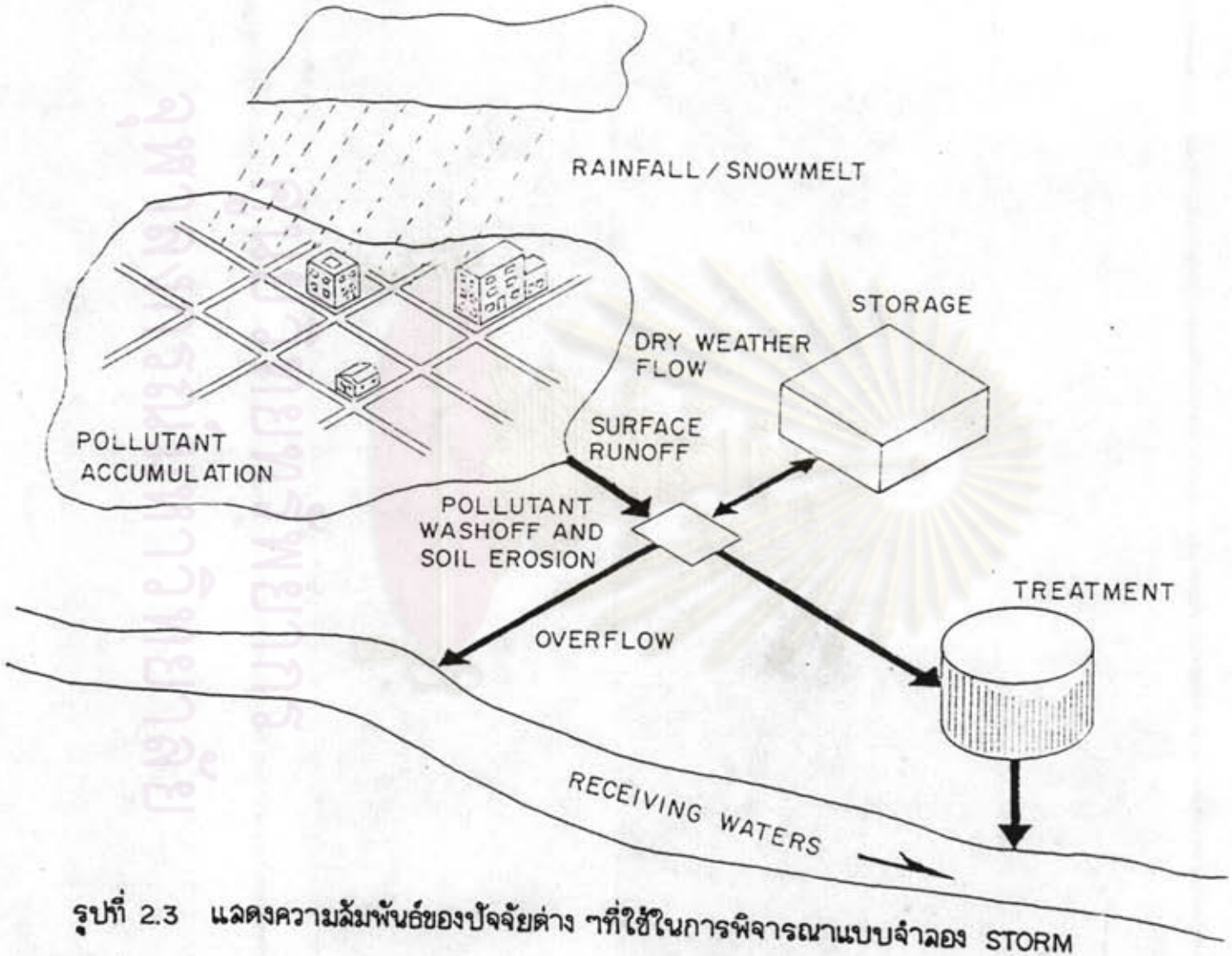
ในการพิจารณาศึกษาปัญหาของน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝน มีปัจจัยต่างที่เข้ามาเกี่ยวข้อง คือ

1) น้ำฝน (Precipitation)
2) น้ำท่า (Runoff)
3) การสะสมของมลสารต่าง ๆ ในพื้นที่รองรับน้ำ (Pollution Accumulation)
4) การถูกชะล้าง และพังทลายของพื้นผิวในพื้นที่รองรับน้ำ (Land Surface Erosion)
5) ความสามารถในการบำบัด (Treatment Rate)
6) ความสามารถในการกักเก็บ (Storage)
7) น้ำล้นที่เกินจากระบบกักเก็บและระบบบำบัด (Overflow from Storage/Treatment System)

ซึ่งปัจจัยทั้ง 7 นี้ จะมีความสัมพันธ์กับน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝน ดังรูปที่ 2.3

สำหรับน้ำท่าจากน้ำฝนในเขตเมือง ปริมาณ คุณภาพของน้ำท่า และปริมาณของน้ำล้น จะผันแปรตาม อัตราความสามารถของการบำบัด ความจุของระบบกักเก็บ รูปแบบของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนวิธีการป้องกันและควบคุมการชะล้างพังทลายของหน้าดิน

014489




**รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆที่ใช้ในการพิจารณาแบบจำลอง STORM**

ที่มา : Urban Storm Water Runoff "STORM" Computer Program (U.S. Army Corps of Engineers., 1975)

## 2.9 รายละเอียดและวิธีการศึกษา STORM Model

### 2.9.1 การคำนวณหาค่าปริมาณน้ำท่า (Computation of The Quantity of Runoff)

แบบจำลอง STORM คำนวณหาปริมาณน้ำท่า จากสมการ

$$R = C(P-F) \qquad .....(1)$$

เมื่อ R คือ ปริมาณน้ำท่าผิวดินสูง, นิ้ว/ชั่วโมง

C คือ สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (Composite Runoff Coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่รองรับน้ำ

P คือ ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่รองรับน้ำ, นิ้ว/ชั่วโมง

F คือ ค่าความสามารถกักเก็บได้โดยธรรมชาติของพื้นที่รองรับน้ำ (Depression Storage)

สำหรับสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำคำนวณจาก สมการ

$$C = C_p + (C_i - C_p) \sum_{i=1}^{L} X_i F_i \qquad .....(2)$$

เมื่อ $C_p$ คือ สัมประสิทธิ์การไหลบนพื้นที่ที่น้ำซึมผ่านได้ (Runoff Coefficient for Pervious Surface)

$C_i$ คือ สัมประสิทธิ์การไหลบนพื้นที่ทึบน้ำ (Runoff Coefficient for Impervious Surface)

$X_i$ คือ จำนวนพื้นที่แต่ละประเภท ซึ่งแตกต่างกันตามการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่รองรับน้ำ (Area in Land Use i as a Fraction of Watershed Area)

$F_i$ คือ ส่วนประกอบของพื้นที่ $X_i$ ที่เป็นพื้นที่ทึบน้ำ (Fraction of Land Use i that is Impervious)

L คือ จำนวนพื้นที่ทั้งหมดในพื้นที่รองรับน้ำ

สำหรับการหาค่า Depression Storage ในพื้นที่รองรับน้ำ หาได้จาก สมการ

$$F = Fo + ND.K \quad FOR \quad F = < D \qquad ....(3)$$

เมื่อ Fo คือ ความสามารถในการกักเก็บโดยธรรมชาติหลังจากฝนตกครั้งก่อน, นิ้ว (Avaliable Depression Storage, After Previous Rainfall)

ND คือ จำนวนวันที่ไม่มีฝนตกนับตั้งแต่ฝนตกครั้งก่อน, วัน (Number of Dry Day Since Previous Rainfall)

K คือ สัมประสิทธิ์การระเหย ซึ่งขึ้นอยู่กับการคายน้ำของพืชและการระเหย นิ้ว/วัน (Recession Factor in inches per day. Representing the Recovery (Evapotranspiration of Depression Storage in inches))

D คือ ความสามารถสูงสุดในการกักเก็บ, นิ้ว (Maximum Avialable Depression Storage in inches.)

2.9.2 การคำนวณหาคุณภาพของน้ำท่า (Computation of the Quality of Runoff)

มลสารต่าง ๆ ที่จะถูกชะล้าง ละลายหรือพัดพามากับน้ำไหลที่เกิดจากน้ำฝนนั้นประกอบด้วย มลสารที่มีอยู่ในบรรยากาศที่ตกลงมาพร้อมกับฝน บรรดาเศษขยะ ความสกปรกปนเปื้อนต่าง ๆ ที่เน่าเปื่อยและสารต่าง ๆ ที่สะสมอยู่ตามพื้นผิวของพื้นที่รองรับน้ำนั้นเอง โดยเฉพาะตามพื้นผิวถนน ตามร่องข้างถนนซึ่งใช้ในการระบายน้ำ (Gutters) หรือขอบทางเท้า (Curbs) พื้นที่ที่เป็น Impervious Area ซึ่งจะไหลไปสู่ระบบระบายของเมืองต่อไป

ในการคำนวณหาปริมาณของมลสารต่าง ๆ ที่ถูกชะล้างออกไปจากพื้นที่รองรับน้ำแต่ละชนิด จะคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์กับฝุ่นและคราบสกปรก (Dust and Dirt) (ROESNER, 1981 : 14) ซึ่งจัดเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของมลสารในพื้นที่รองรับน้ำต่าง ๆ ตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบส่วนใหญ่ของมลสาร ในพื้นที่รองรับน้ำ(ปอนด์ / วัน / 100ฟุต ของร่องระบาย)

| Component | Unaffected by Rain [a] | | | | | Affected by Rain [b] | | | | | Disregarding Rain [c] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | No. of Samples | Max. | Min. | Average | Median | No. of Samples | Max. | Min. | Average | Median | No. of Samples | Max. | Min. | Average | Median |
| **Area 1** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dust & Dirt | 25 | 9.40 | .55 | 2.73 | 2.45 | 13 | 4.53 | .55 | 2.11 | 2.04 | 38 | 9.40 | .55 | 2.53 | 2.24 |
| Glass | 27 | .940 | .008 | .193 | .152 | 15 | .398 | .004 | .129 | .087 | 42 | .940 | .004 | .170 | .147 |
| Paper | 30 | 1.93 | .04 | .51 | .42 | 13 | 2.34 | .15 | .70 | .47 | 43 | 2.34 | .04 | .57 | .42 |
| Metal | 27 | .431 | .008 | .100 | .050 | 14 | .320 | .039 | .093 | .079 | 41 | .431 | .008 | .097 | .080 |
| Plastics | 18 | .112 | .008 | .002 | .016 | 12 | .048 | .004 | .016 | .009 | 30 | .112 | .004 | .019 | .014 |
| Rock and Organics | 28 | 15.457 | .100 | 1.331 | .326 | 15 | 1.813 | .162 | .459 | .289 | 43 | 15.457 | .100 | .867 | .289 |
| Organics | 23 | .073 | .004 | .028 | .016 | 12 | .200 | .004 | .040 | .020 | 35 | .200 | .004 | .032 | .016 |
| Vegetation | 2 | .156 | .017 | .087 | .087 | 1 | .066 | .066 | .066 | .066 | 3 | .156 | .017 | .080 | .066 |
| Wood | 24 | .151 | .008 | .038 | .018 | 13 | .175 | .009 | .040 | .022 | 37 | .175 | .008 | .039 | .020 |
| Cloth | 9 | .083 | .008 | .037 | .017 | 6 | .224 | .012 | .072 | .038 | 15 | .224 | .008 | .051 | .028 |
| **Area 2** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dust & Dirt | 29 | 25.08 | .44 | 7.00 | 5.22 | 16 | 16.33 | .78 | 4.72 | 3.32 | 45 | 25.08 | .44 | 5.19 | 4.65 |
| Glass | 29 | .621 | .005 | .167 | .134 | 14 | .636 | .012 | .173 | .138 | 43 | .636 | .005 | .169 | .134 |
| Paper | 29 | 2.655 | .020 | 1.045 | .652 | 16 | 1.143 | .109 | .474 | .419 | 45 | 2.655 | .020 | .674 | .587 |
| Metal | 27 | .659 | .017 | .130 | .095 | 16 | .336 | .006 | .096 | .070 | 43 | .659 | .006 | .117 | .087 |
| Plastics | 24 | .030 | .005 | .012 | .010 | 13 | .099 | .002 | .018 | .011 | 37 | .099 | .002 | .014 | .010 |
| Rock and Organics | 29 | 4.311 | .036 | 1.046 | .783 | 16 | 1.218 | .041 | .429 | .290 | 45 | 4.311 | .036 | .827 | .617 |
| Organics | 23 | .070 | .005 | .024 | .017 | 11 | .046 | .003 | .016 | .012 | 34 | .070 | .003 | .021 | .017 |
| Vegetation | 7 | .258 | .017 | .068 | .029 | 2 | .041 | .005 | .023 | .023 | 9 | .258 | .005 | .058 | .029 |
| Wood | 23 | .365 | .005 | .046 | .020 | 12 | .149 | .003 | .031 | .015 | 35 | .365 | .003 | .041 | .020 |
| Cloth | 20 | .136 | .005 | .039 | .024 | 11 | .113 | .003 | .033 | .021 | 31 | .136 | .003 | .037 | .023 |
| **Area 4** | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dust & Dirt | 29 | 24.28 | .58 | 3.60 | 1.61 | 17 | 52.63 | 1.18 | 8.76 | 2.88 | 46 | 52.63 | .58 | 5.37 | 2.11 |
| Glass | 12 | .133 | .001 | .030 | .009 | 8 | .105 | .004 | .033 | .016 | 20 | .133 | .001 | .031 | .012 |
| Paper | 28 | .47 | .03 | .15 | .12 | 18 | 2.74 | .02 | .44 | .22 | 46 | 2.74 | .02 | .26 | .13 |
| Metal | 22 | .125 | .004 | .032 | .023 | 16 | .173 | .004 | .028 | .015 | 38 | .173 | .004 | .030 | .018 |
| Plastics | 12 | .017 | .003 | .006 | .005 | 9 | .011 | .001 | .004 | .003 | 21 | .017 | .001 | .005 | .004 |
| Rocks and Organics | 28 | 2.578 | .125 | .422 | .285 | 17 | 4.905 | .052 | .711 | .226 | 45 | 4.905 | .052 | .531 | .251 |
| Organics | 10 | .131 | .001 | .023 | .006 | 8 | .050 | .002 | .009 | .004 | 18 | .131 | .001 | .022 | .055 |
| Vegetation | 27 | .305 | .004 | .028 | .015 | 16 | .499 | .005 | .066 | .020 | 43 | .499 | .004 | .042 | .018 |
| Wood | 7 | .076 | .001 | .028 | .027 | 6 | .162 | .002 | .058 | .036 | 13 | .162 | .001 | .042 | .027 |
| Cloth | 9 | .052 | .001 | .021 | .020 | 6 | .022 | .002 | .011 | .009 | 15 | .052 | .001 | .017 | .013 |

a) No rain between cleaning events

b) Rain between cleaning events

c) Total in both groups

ที่มา : Water Pollution Aspects of Urban Runoff (APWA, 1969)

การคำนวณหาคุณภาพของน้ำท่าจากน้ำฝนในเขตเมือง ต้องมีการวิเคราะห์อย่างมีความสัมพันธ์กับการสะสม (Accumulation) และการถูกชะล้าง (Wash off) ของฝุ่น และคราบสกปรกในพื้นที่รองรับน้ำ และยังมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น ความหนักเบาของฝน อัตราการไหลและประสิทธิภาพของการทำความสะอาดถนน

Parameters ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาปัญหาคุณภาพน้ำ ของแบบจำลอง STORM ประกอบด้วย สารแขวนลอย (suspended solids) ตะกอนหนัก (settleable solids) ปริมาณการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ (biochemical oxygen demand) ไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen) และ Orthophosphate การคำนวณหาอัตราการสะสมของฝุ่นและคราบสกปรก ในพื้นที่รองรับน้ำที่ศึกษา สามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$DD_L = dd_L (G_L/100) A_L \qquad .....(4)$$

เมื่อ $DD_L$ คือ อัตราการสะสมของฝุ่นและคราบสกปรกที่สะสมบนพื้นที่ L, ปอนด์/วัน

$dd_L$ คือ อัตราการสะสมของฝุ่นและคราบสกปรกที่สะสมบนพื้นที่ L, ปอนด์/วัน ความยาวของร่องระบายน้ำของถนน 100 ฟุต

$G_L$ คือ ความยาวของร่องระบายน้ำของถนน/เอเคอร์ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน L

$A_L$ คือ พื้นที่ทั้งหมด, เอเคอร์

ซึ่งค่าอัตราการสะสมของฝุ่นและคราบสกปรก สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณของมลสารที่มีอยู่ในพื้นที่รองรับน้ำ ได้จากสมการ

$$P_p = F_p \, DDL \, ND + P_{po} \qquad .....(5a)$$

เมื่อ $P_p$ คือ ปริมาณมลสาร p ในพื้นที่รองรับน้ำในช่วงเริ่มต้นของพายุฝน, ปอนด์

$F_p$ คือ ปริมาณมลสาร p เป็นปอนด์/ปริมาณของฝุ่นและคาบสกปรก, ปอนด์

ND คือ จำนวนวันที่ว่างเว้นจากการเกิดน้ำท่าตั้งแต่พายุฝนในครั้งก่อน

$P_{po}$ คือ ปริมาณมลสารทั้งหมด, ปอนด์ ที่ยังคงเหลือในพื้นที่รองรับน้ำ ในช่วงหลังจากหมดพายุฝน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับสมการที่ 5a นี้ ใช้เฉพาะในกรณีที่ จำนวนวันตั้งแต่พายุฝนในครั้งก่อนน้อยกว่าช่วงระยะเวลาของการกวาดถนน แต่ถ้าในกรณีที่จำนวนวันที่ไม่มีการไหลของน้ำมากกว่าช่วงระยะเวลาของการกวาดถนน สามารถคำนวณได้จาก สมการ

$$P_r = P_{ro}(1-E)n + Ns\ DDL\ Fp((1-E)n+(1-E)n-1 + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$(1-E) + DDL\ F_p(ND-nNs) \qquad \ldots\ldots(5b)$$

เมื่อ $N_s$ คือ ช่วงเวลาของการกวาดถนน ,วัน

n คือ จำนวนครั้งที่ถนนถูกกวาดตั้งแต่มีพายุฝนครั้งที่ผ่านมา

E คือ ประสิทธิภาพของการกวาดถนน

จากสมการที่ (4), (5a) และ (5b) สามารถนำไปคำนวณหาอัตราที่มลสารในพื้นที่รองรับน้ำถูกชะล้างออกไป ได้จากสมการ

$$Mp = P(t) * (1-e**-4.6R)At \qquad \ldots\ldots(6)$$

หรือ

$$Mp = P(t) * EXPT. \qquad \ldots\ldots(7)$$

เมื่อ R คือ ปริมาณน้ำท่าผิวดินสูง, นิ้ว/ชั่วโมง จากพื้นที่ทึบน้ำ

At คือ เวลา 1 ชั่วโมง (เวลาที่ใช้เฉพาะของโปรแกรม)

ในสมการที่ (6) และ (7) ยังต้องมีการปรับปรุง เพราะเป็นการหาอัตราการถูกชะล้างที่ต้องอาศัยข้อจำกัดในเรื่องของเวลา ในการพัฒนาแบบจำลอง SWMM ได้ทำการศึกษาและพบว่าความเหมาะสมของส่วนประกอบของ สารแขวนลอย และตะกอนหนัก ที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นและคราบสกปรกในช่วงเวลาใด ๆ ได้จากสมการ

$$Asus = 0.057 + 1.4R**1.1 \qquad \ldots\ldots\ldots(8)$$

และ

$$Aset = 0.028 + 1.0R**1.8 \qquad \ldots\ldots\ldots(9)$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ดังนั้น ในการคำนวณหาอัตราการถูกชะล้างของสารแขวนลอย และตะกอนหนักสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (8) และ (9) ซึ่งได้รับการปรับปรุง ดังนี้

$$Msus = Asus\ Psus(t)\ EXPT. \quad .....(10a)$$

$$Mset = Aset\ Pset(t)\ EXPT. \quad .....(10b)$$

และจากการศึกษาใน SWMM พบว่า ค่า BOD มีความสัมพันธ์กับค่าของสารแขวนลอย คือ จะเป็นส่วนที่เป็นองค์ประกอบในสารแขวนลอย ประมาณ 10% ในตะกอนหนัก ประมาณ 2% เช่นเดียวกัน ค่าของไนโตรเจนทั้งหมดและ Orthophosphate ก็มีความสัมพันธ์กับสารแขวนลอยและตะกอนหนัก ในสัดส่วนโดยประมาณ 4.5% และ 1% สำหรับไนโตรเจนทั้งหมด และ 0.45% กับ 0.1% สำหรับ Orthophosphate ดังนั้น อัตราการถูกชะล้างของ Parameters สามารถคำนวณได้จากสมการ

ค่า BOD $Mbod(t) = Pbod(t) * EXPT + 0.10Msus + 0.02Mest$ ....(10c)

ค่า NIT $Mnit(t) = Pnit(t) * EXPT + 0.045Msus + 0.01Mset$ ....(10d)

ค่า $PO_4$ $Mpo_4(t) = PP0_4(t) * EXPT + 0.0045Msus + 0.001Mset$ ...(10e)

2.9.3 การคำนวณหาค่าความสามารถในการกักเก็บ ความสามารถในการบำบัดและปริมาณของน้ำล้น (Computation of Storage, Treatment and Overflow)

การคำนวณ Treatment, Storage and Overflow เป็นการคำนวณเป็นรายชั่วโมง ตามคาบของการบันทึกน้ำฝน ตามปกติทุก ๆ ชั่วโมงที่เกิดน้ำท่า ระบบบำบัดจะทำงานมากที่สุดเท่าที่สามารถทำได้ ถ้าอัตราการไหลของน้ำสูงเกินกว่าความสามารถของระบบบำบัด ระบบของการกักเก็บจะเริ่มทำงานโดยเก็บกักน้ำในส่วนที่เกินความสามารถของระบบบำบัดไว้ก่อน เพื่อรอส่งเข้าสู่ระบบบำบัดต่อไป แต่ถ้ายังมีปริมาณของน้ำท่าสูงมากเกินกว่าที่ส่วนของระบบกักเก็บทำงาน จะเกิดภาวะการณ์น้ำล้น (Overflow Runoff) ออกจากพื้นที่รองรับน้ำ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง

หลักการในการคำนวณความสามารถในการกักเก็บ สามารถทำได้โดยแยกการบันทึกน้ำฝนเป็นในแต่ละเหตุการณ์ออกไป แต่หากเกิดกรณีที่มีพายุฝนเกิดในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกัน มากกว่า 1 ลูก และสภาพโดยทั่วไปของพื้นผิวและระบบต่าง ๆ ในพื้นที่รองรับน้ำยังไม่ฟื้นตัวเข้าสู่ในสภาพปกติ จะนำพายุเหล่านั้นมาพิจารณารวมเป็นเหตุการณ์เดียวกัน และจุดเริ่มต้นของพายุลูกแรกจะเป็นจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์นั้น

· การคำนวณหาปริมาณน้ำล้น (Overflow) จะเป็นการคำนวณที่ต่อเนื่องมาจากการคำนวณปริมาณ และคุณภาพตาม สมการที่ (1) และ (10) ซึ่งปริมาณของน้ำล้นที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่รองรับน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Qo = R - Qt - Qs \qquad .....(11a)$$

$$Qt = \text{Minimum of } (R + Qs(t-1), T) \qquad .....(11b)$$

$$Qs = \text{Minimum of } (R - Qt, S) \qquad .....(11c)$$

เมื่อ Qo คือ ปริมาณน้ำล้นเหนือผิวดิน, นิ้ว

Qt คือ ปริมาณน้ำท่วมที่ถูกบำบัด, นิ้ว

Qs คือ ปริมาณน้ำท่าที่เข้าสู่ระบบกักเก็บ, นิ้ว

Qs(t-1) คือ การคั่งค้างของน้ำที่เหลืออยู่ในระบบกักเก็บหลังจากชั่วโมงที่ผ่านมา, นิ้ว

R คือ ปริมาณน้ำท่าซึ่งถูกคำนวณโดยสมการ (1)

T คือ อัตราการบำบัด, นิ้ว/ชั่วโมง

S คือ ความจุของระบบ Storage, นิ้ว

สำหรับการคำนวณหาคุณภาพของน้ำล้น จะคำนวณโดยแยกออกเป็นแต่ละชนิดของมลสารตามสมการ

$$Mpo = Mp(Qo/R) \qquad .....(12a)$$

$$Mp \cdot T/S = Mp - Mpo \qquad .....(12b)$$

เมื่อ Mop คือ ปริมาณของมลสารทั้งหมดในน้ำล้น, ปอนด์

Mp คือ ปริมาณของมลสารที่ออกจากพื้นที่รองรับน้ำ ซึ่งคำนวณตามสมการ (10) ปอนด์

MpT/S คือ ปริมาณมลสาร p ซึ่งถูกนำเข้าสู่ระบบต่าง ๆ เมื่อนำปริมาณน้ำล้นมาคิดด้วย, ปอนด์

2.9.4 การคำนวณการชะล้าง พังทลายของหน้าดิน (Computation of Land Surface Erosion)

ในโปรแกรมนี้ ใช้สมการการสูญเสียดินสากล (The Universal Soil Loss Equation) USLE เพื่อการคำนวณหาค่าการถูกชะล้างและพังทลายของหน้าดินในพื้นที่รองรับน้ำที่ศึกษาจากสมการ

$$\text{Soil Erosion Rate} = EI.\ K\ (L.S)\ C.\ P \qquad .....(13)$$

เมื่อ EI คือ ปัจจัยเกี่ยวกับฝนและน้ำที่ไหลบ่าตามผิวดิน ซึ่งเป็นจำนวนหรือค่าของดัชนีการพังทลายของฝนในปีปกติ ซึ่งดัชนีการพังทลายของฝนนี้ เป็นการวัดแรงของฝนที่ให้เกิดการพังทลายขึ้น

K คือ ปัจจัยเกี่ยวกับความยากง่ายของการเกิดการพังทลายของดิน ได้แก่ การเกิดการพังทลายของดิน ต่อหน่วยของดัชนีการพังทลายสำหรับดินในดินหนึ่งโดยเฉพาะ

L.S คือ องค์ประกอบในส่วนที่เป็นความชันและความยาวของความลาดเอียงของพื้นที่รองรับน้ำ

C คือ องค์ประกอบในส่วนที่เกี่ยวกับการจัดการพืช

P คือ การควบคุมการสูญเสียหน้าดิน

## 2.10 การใช้แบบจำลอง (Usage Program)

แบบจำลอง STORM สามารถใช้ศึกษาความผันแปรต่าง ๆ ของความเป็นเมืองได้แตกต่างกันไปในปัญหาที่เกิดขึ้นจากน้ำท่าที่เกิดจากน้ำฝน และที่นิยมนำมาใช้มีอยู่ 3 ประการ คือ

1. วิเคราะห์หาความสามารถในการกักเก็บ และความสามารถในการบำบัด (Storage/Treatment) เพื่อรองรับปริมาณและคุณภาพของน้ำท่าซึ่งเกิดจากน้ำฝนในเขตเมือง
2. ประเมินปริมาณและคุณภาพของน้ำท่าจากน้ำฝน ซึ่งถูกระบายออกจากพื้นที่รองรับน้ำต่าง ๆ
3. วิเคราะห์เพื่อวางรูปแบบจัดการ การใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละส่วนของเมือง

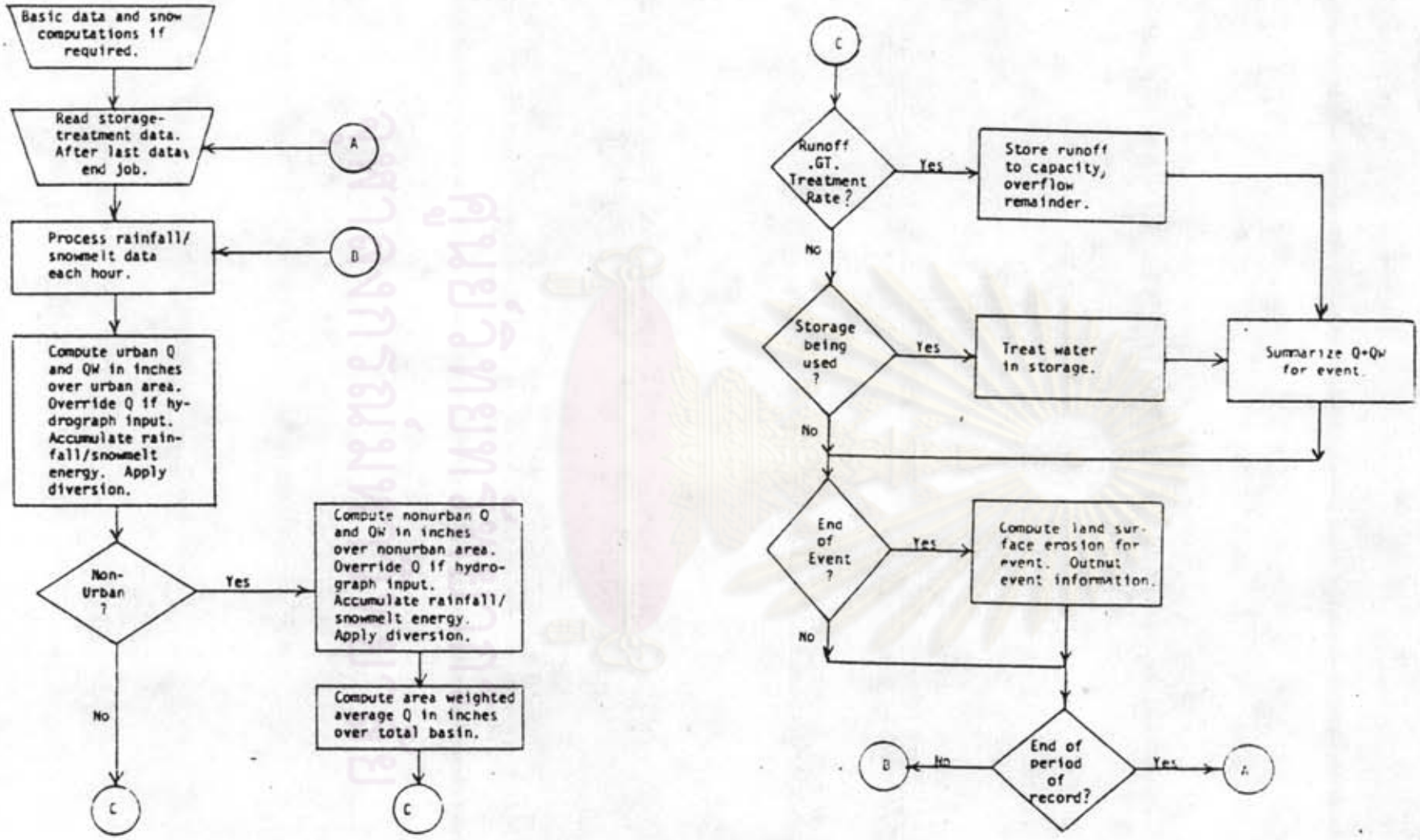
## 2.11 การทำงานของแบบจำลอง (Program Operation)

### 2.11.1 Hardware และ Software

แบบจำลอง STORM เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กับระบบคอมพิวเตอร์ของ IBM 360 Univac 1108 และ CDC 6600 หรือ 7600 การนำเข้าข้อมูลใช้เครื่องอ่านบัตร Tape หรือ Disk

### 2.11.2 ขั้นตอนในการคำนวณของโปรแกรม (Computational Procedure)

รูปที่ 2.4 แสดงผังงาน (Flowchart) ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ในบางกรณีหากมีข้อมูลที่ไม่จำเป็นต้องคำนวณ หรือขั้นตอนใดที่ไม่ต้องการนำมาคำนวณ สามารถที่จะวางเงื่อนไขให้เครื่องผ่านขั้นตอน (Bypass) นั้น ๆ ไปได้




**รูปที่ 2.4 แสดงผังงานของโปรแกรม**

ที่มา : Urban Stormwater Runoff "STORM" Computer program (U.S. Army Corps of Engineers, 1975)

2.11.3 ข้อมูลที่นำเข้า (Input Data Requirement)

1) ข้อมูล Hydrogeometric

ขั้นแรกของการที่จะรวบรวมข้อมูลในส่วนต่าง ๆ เพื่อใช้กับแบบจำลอง จำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของพื้นที่ที่ศึกษา (Boundary) สภาพต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ที่ทำการศึกษา ได้แก่

ก. ขนาดของพื้นที่ทำการศึกษา (Size of the Total Area of Watershed)

ข. จำนวนร้อยละของรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละส่วนในพื้นที่ที่ทำการศึกษา เช่น

- ที่อยู่อาศัยแบบเดี่ยว (Single Family Residential)
- ที่อยู่อาศัยแบบกลุ่ม (Multiple Family Residential)
- ย่านพานิชยกรรม (Commercial Area)
- เขตอุตสาหกรรม (Industrial Area)
- พื้นที่เปิด หรือสวนสาธารณะ (Open Area or Park)

ค. อัตราร้อยละเฉลี่ยของพื้นที่ทึบน้ำ (Impervious Area) ของแต่ของแต่ละรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ง. ความยาวของรางระบายน้ำ (Gutter) ของแต่ละรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน (ฟุต/เอเคอร์)

จ. สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (Runoff Coefficient) สำหรับพื้นที่ทึบน้ำ

ฉ. สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำสำหรับพื้นที่ที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ (Pervious Area)

ช. ความสามารถในการกักเก็บได้ของพื้นที่ทึบน้ำ (The Depression Storage Available on the Impervious Area)

2) ข้อมูลทางด้านอุทกวิทยา (Hydrologic Data)

ใช้ข้อมูลน้ำฝนรายชั่วโมง

3) ข้อมูลทางด้านคุณภาพน้ำ (Quality Data)

ข้อมูลทางด้านคุณภาพน้ำสำหรับแบบจำลองนี้ ประกอบด้วย

ก. อัตราการสะสมของฝุ่นและคราบสกปรก เป็นปอนด์ต่อความยาวของรางระบาย 100 ฟุต ของแต่ละรูปแบบของการใช้ประโยชน์ที่ดิน คือ

- ที่อยู่อาศัยแบบเดี่ยว (Single Family Residential)
- ที่อยู่อาศัยแบบกลุ่ม (Multiple Family Residential)
- ย่านพาณิชยกรรม (Commercial Area)
- เขตอุตสาหกรรม (Industrial Area)
- พื้นที่เปิด หรือสวนสาธารณะ (Open Area or Park)

ข. ปริมาณของมลสารแต่ละชนิดที่ใช้เป็นตัวชี้บอกคุณภาพ (Parameters) เป็นปอนด์ต่อ 100 ปอนด์ของฝุ่นและคราบสกปรก สำหรับแต่ละรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่

- สารแขวนลอย
- ตะกอนหนัก
- Biochemical Oxygen Demand
- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด
- Orthophosphate

ค. ช่วงว่างเว้นการกวาดถนน เป็นวัน สำหรับแต่ละรูปแบบการใช้ที่ดิน (The Interval in Days Between Street Sweeping for Each Land Use Catagory)

ง. ประสิทธิภาพของการกวาดถนน (Street Sweeping Efficiency)

2.12 <u>ผลลัพธ์</u>

แบบจำลอง STORM ให้ผลลัพธ์ออกมา 4 หัวข้อ

1. ปริมาณน้ำท่าจากน้ำฝนในพื้นที่รองรับน้ำ
2. คุณภาพน้ำท่าจากน้ำฝนในพื้นที่รองรับน้ำ
3. ปริมาณหรือความเข้มข้นของ Pollution ต่อหน่วยเวลา
4. ค่าการถูกชะล้าง พังทลายของหน้าดิน

ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ กำหนดขอบเขตเพียงแต่การคำนวณคุณภาพน้ำท่าเท่านั้น ซึ่งจะมีผลพลอยได้ทางด้านปริมาณตามมาด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย