บทที่ 2
ทบทวนเอกสาร

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยจำเป็นต้องได้รับการบำบัด (treatment) ให้มีความสะอาดเพียงพอที่จะกำจัดทิ้ง (disposal) ในขั้นสุดท้ายเพื่อกลับเข้าสู่วัฏจักรของน้ำตามธรรมชาติ ความจำเป็นนี้นอกจากจะถูกกำหนดโดยกฎหมายแล้ว ผู้อยู่อาศัยทุกคนก็ต้องการระบบทำความสะอาดน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อสุขอนามัยและคุณภาพของชีวิตที่ดี

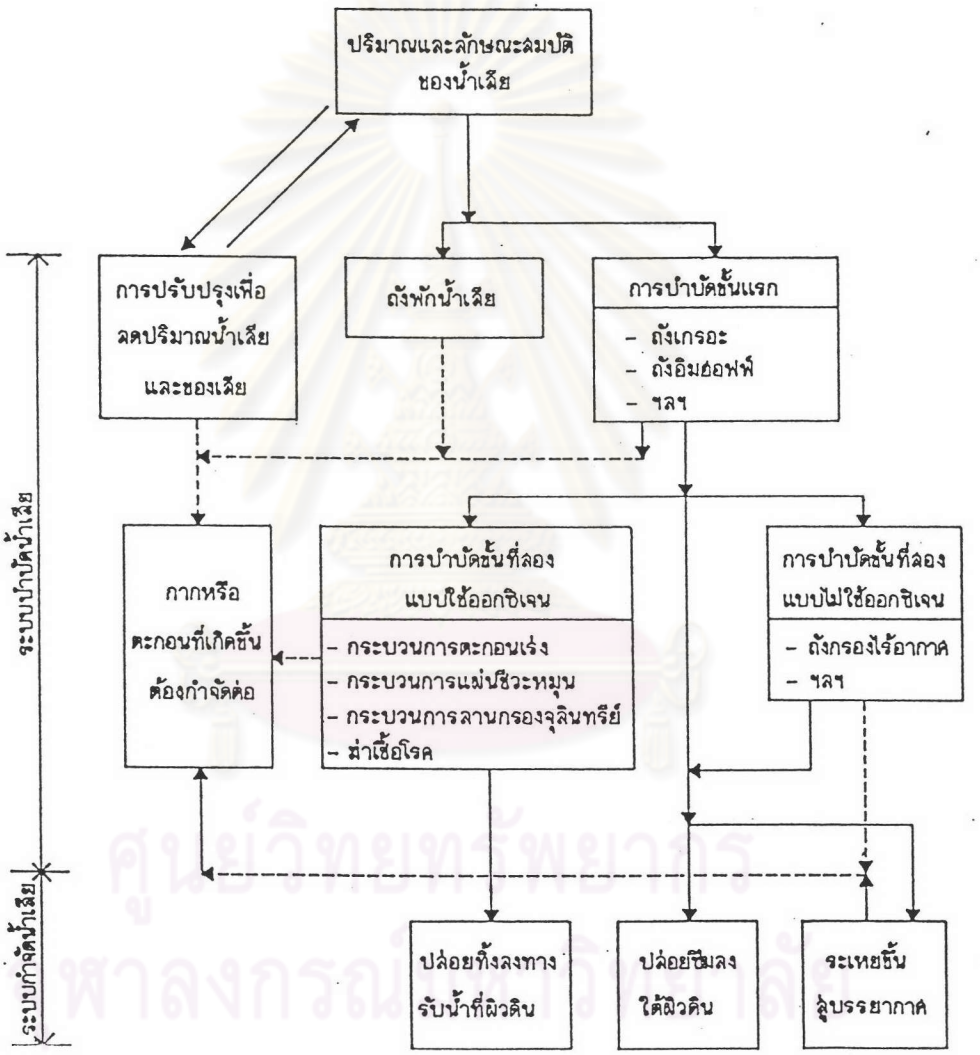
ระบบบำบัดน้ำเสีย (wastewater treatment system) แบ่งออกตามขนาดและลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบ คือ ระบบรวบรวมและบำบัดน้ำเสียรวม (centralized wastewater collection and treatment system) และระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับบ้านเฉพาะราย (individual onsite wastewater system) ระบบบำบัดน้ำเสียรวมเป็นระบบซึ่งมีประสิทธิภาพและความแน่นอนสูง เหมาะสำหรับชุมชนที่หนาแน่นและมีขนาดใหญ่พอสมควร เพราะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการวางท่อส่งน้ำเสียรวมทั้งค่าดำเนินการที่สูง อีกทั้งจะต้องมีการจัดการและบำรุงรักษาระบบอย่างดีอีกด้วย ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับในบ้านเฉพาะรายจะเป็นระบบขนาดเล็ก เหมาะสำหรับบ้านพักอาศัยซึ่งมีพื้นที่เพียงพอสำหรับการก่อสร้าง หรือในทุกกรณีที่มีบ้านอยู่ห่างไกลกันหรือการก่อสร้างระบบส่งน้ำเสียทำได้ยาก ระบบบำบัดน้ำเสียเฉพาะรายเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างต่ำ แต่ก็มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียรวม นอกจากนั้นยังต้องการการออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษาระบบที่ดี มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาในด้านการทำงานและเหตุเดือดร้อนรำคาญขึ้นได้ง่าย

2.1.1 การวางแผนและการจัดการ

หลักเกณฑ์การพิจารณาเลือกระบบบำบัดและกำจัดน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยเฉพาะรายที่เหมาะสมประกอบด้วย

1) ความสามารถในการทำงานที่จะรักษาสภาพแวดล้อมและสุขอนามัยของประชาชน
2) ค่าก่อสร้าง ค่าดำเนินการ การบำรุงรักษา และการซ่อมบำรุงของระบบ
3) การกำจัดกากหรือตะกอนส่วนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบ ซึ่งจะต้องทำการกำจัดอีกต่อไป

ผังการจัดการของระบบบำบัดและกำจัดน้ำเสียได้สรุปเอาไว้ในรูปที่ 2.1 การเลือกระบบที่เหมาะสมย่อมขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและเงื่อนไขต่างๆ



รูปที่ 2.1 แนวทางในการจัดการเกี่ยวกับน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย (สุรพล สายพานิช)

ในการออกแบบโดยทั่วๆไปสำหรับการกำจัดน้ำเสีย (wastewater disposal) นั้น มักจะใช้วิธีให้ซึมลงใต้ผิวดิน (subsurface soil absorption) เนื่องจากสามารถรักษาสภาพแวดล้อมได้ดี อีกทั้งยังออกแบบง่าย มีราคาค่าก่อสร้างถูก อายุใช้งานนาน และต้องการการบำรุงรักษาน้อย แต่ทั้งนี้มีเงื่อนไขว่าสถานที่ก่อสร้างจะต้องมีดินซึ่งสามารถซึมน้ำได้ดี สำหรับกรณีที่น้ำม่สามารถซึมลงใต้ผิวดินได้ ผู้ออกแบบก็จำเป็นจะต้องใช้วิธีอื่นในการกำจัดน้ำเสีย ได้แก่ การระเหยน้ำเสียขึ้นสู่บรรยากาศหรือการปล่อยน้ำเสียทิ้งลงสู่ลำน้ำผิวดินโดยตรงซึ่งเป็นระบบที่ยุ่งยาก ราคาแพง และต้องดูแลรักษามากขึ้น

2.1.1.1 การพิจารณาเลือกระบบขั้นแรก

ขั้นตอนแรกของการออกแบบ ได้แก่ การเลือกใช้กระบวนการต่างๆที่เหมาะสมแล้วนำมาใช้ร่วมกันจนเป็นระบบที่สมบูรณ์ ซึ่งโดยทั่วไปจะพิจารณากระบวนการกำจัด (disposal) ก่อนเป็นอันดับแรก เนื่องจากเป็นส่วนซึ่งสำคัญและเกิดปัญหามากที่สุด จากนั้นจึงพิจารณากระบวนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำเสีย (wastewater modification) และระบบบำบัดน้ำเสีย (treatment) ในอันดับต่อมา สำหรับการเลือกระบบกำจัดที่เหมาะสมจำเป็นต้องทราบรายละเอียดของสถานที่ก่อสร้าง โดยทำการสำรวจหาข้อมูลตามระบบที่คาดว่าจะนำมาใช้ได้ดีที่สุด รวมทั้งลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่จะทำการบำบัด

1) ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณและลักษณะการไหลของน้ำเสีย ซึ่งมีผลต่อการทำงานของระบบ รวมถึงองค์ประกอบต่างๆของน้ำเสีย

2) การพิจารณาสถานที่ก่อสร้างขั้นแรก

ทำการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ที่จะก่อสร้าง ทั้งจากเจ้าของที่ดิน จากการสอบถาม จากการค้นคว้า จากการบันทึก และจากการที่ไปทำการสำรวจเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของดินธรณีวิทยา ลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และข้อมูลทางกายภาพอื่นๆ

ในการทำการสำรวจเบื้องต้นควรประกอบด้วย ความสามารถในการซึมน้ำของดิน (soil permeability) ความลึกและลักษณะของชั้นหิน ความลึกของชั้นน้ำใต้ดิน ความลาดเอียง ขนาดของพื้นที่ก่อสร้าง รวมทั้งทัศนียภาพบริเวณใกล้เคียง

3) การพิจารณาระบบกำจัดน้ำเสียขั้นแรก

จากข้อมูลลักษณะสมบัติของน้ำเสีย และสถานที่ก่อสร้าง ทำให้สามารถพิจารณาเลือกระบบกำจัดน้ำเสียในเบื้องต้นได้ จากตารางที่ 2.1 ซึ่งได้แสดงวิธีการต่างๆที่มีความเป็นไปได้สูง

ในกรณีที่พบว่าไม่สามารถทำการกำจัดน้ำเสียได้ด้วยการซึมลงดินหรือการระเหยน้ำเสียสู่บรรยากาศ แต่หากทำการบำบัดจนน้ำเสียนั้นมีคุณภาพที่ดีแล้วก็สามารถปล่อยน้ำเสียทิ้งลงทางน้ำธรรมชาติที่ผิวดินได้ปลอดภัย

ตารางที่ 2.1 แนวทางในการพิจารณาเลือกระบบกำจัดน้ำเสียเบื้องต้นจากสภาพของสถานที่ก่อสร้าง (สุรพล สายพานิช)

	Site constraints											
	Soil Permeability			Depth to Bedrock			Depth to Water table		Slope			
	Very Rapid	Rapid-Moderate	Slow-Very slow	Shallow and Porous	Shallow and Nonporous	Deep	Shallow	Deep	0-5%	5-15%	15%	Small Lot size
Trenches		X	X[2]			X		X	X	X	X	X[4]
Beds		X				X		X	X			X
Pits		X				X		X	X	X	X	X
Mounds	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Fill Systems	X	X	X[1]	X	X	X	X	X	X	X	X	X[4]
Sand-Lined Trenches or Beds	X	X	X[2]			X		X	X	X[3]	X[3]	X_4
Artificially Drained Systems		X				X	X		X	X	X[3]	
Evaporation Infiltration Lagoons		X	X[5]			X		X	X			
Evaporation Lagoons (lined)[4,5]	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
ET Beds or Trenches (lined)[4,5]	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X[6]		
ETA Beds or Trenches 4		X	X			X		X	X	X	X	X

1 Only where surface soil can be stripped to expose sand or sandy loam meterial.

2 Construct only during dry soil conditions. Use trench configuration only.

3 Trenches only

4 flow reduction suggested.

5 High Evaporation potential required

6 Recommended for south-facing slopes only.

X means system can function effectively with that constraint

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1.2 การเลือกระบบที่เหมาะสม

เมื่อทราบแนวทางและระบบที่มีความเป็นไปได้สูงจากการพิจารณาเลือกระบบขั้นแรกแล้ว ขั้นต่อไปได้แก่ การสำรวจสถานที่ก่อสร้างอย่างละเอียด เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบ และถ้าพบว่าสามารถเลือกใช้ได้หลายระบบ ก็ให้พิจารณาเลือกระบบที่ประหยัดและดูแลน้อยที่สุด

1) การสำรวจสถานที่ก่อสร้างอย่างละเอียด

การศึกษาและสำรวจสถานที่ก่อสร้างในขั้นนี้ จะต้องทำอย่างเป็นระบบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติและละเอียดเพียงพอ โดยในขั้นแรกจะต้องพิจารณาการกำจัดน้ำเสียด้วยการซึมลงใต้ผิวดินก่อน แต่ถ้าข้อมูลแสดงว่าไม่สามารถทำได้ จึงใช้วิธีอื่นต่อไป

2) การเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการสำรวจสถานที่ก่อสร้างอย่างละเอียดจะทำให้สามารถเลือกวิธีการกำจัดน้ำเสีย ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว หากสามารถกำจัดได้โดยการซึมลงใต้ผิวดินก็ไม่จำเป็นต้องก่อสร้างระบบบำบัดให้มีคุณภาพสูงนัก แต่ถ้าไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีนี้ก็จะต้องใช้ระบบบำบัดน้ำเสียซึ่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.1.1.3 การออกแบบระบบ

เมื่อทำการเลือกกระบวนการต่างๆได้แล้ว ก็สามารถนำมาออกแบบระบบรวมเพื่อใช้เป็นแบบก่อสร้างต่อไป

2.1.1.4 การจัดการของระบบ

ระบบบำบัดน้ำเสียเฉพาะรายอาจจะมีการจัดการโดยองค์กรของชุมชน เช่น การเลือกสถานที่ก่อสร้าง การออกแบบ การก่อสร้าง รวมถึงการควบคุมและการดูแลและรักษา นอกจากนั้นองค์กรนี้อาจจะสามารถสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมขนาดเล็กใช้ร่วมกันหลายหลังคาเรือน ซึ่งจะทำให้เกิดผลดีได้ในหลายๆด้าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 แนวทางในการพิจารณาสถานที่ก่อสร้าง

การสำรวจสถานที่ก่อสร้างถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการเลือกวิธีการบำบัดและกำจัดน้ำเสียต่อไป ถ้าได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสภาพแวดล้อมเหมาะสมก็สามารถที่จะออกแบบและก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยราคาที่ถูก ในทางตรงกันข้าม ถ้าได้ข้อมูลที่ผิดระบบก็อาจจะไม่สามารถทำงานได้เลย หรือมิฉะนั้นก็อาจจะไม่ประหยัด

2.1.2.1วิธีการกำจัดน้ำเสียที่มีความเป็นไปได้

ในการสำรวจขั้นแรกให้พิจารณาความเป็นไปได้ในการกำจัดน้ำเสียโดยการปล่อยให้ซึมลงไปในดินก่อน เพราะเป็นวิธีที่ไม่ต้องการระบบบำบัดน้ำเสียที่ดีมากนัก จึงมีราคาถูก นอกจากนั้นดินยังเป็นตัวที่สามารถเปลี่ยนและทำลายมลสาร (pollutants) ได้แทบทุกชนิดที่มีอยู่ในน้ำเสียจากบ้านเรือน รวมทั้งจุลินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ

วิธีการระบายน้ำขึ้นสู่บรรยากาศก็นับได้ว่าเป็นวิธีการบำบัดและกำจัดน้ำเสียที่สามารถทำได้ หากที่ดินบริเวณนั้นไม่สามารถซึมน้ำได้ดี หรือจะทำให้เกิดการแปดเปื้อนต่อน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน วิธีการระเหยอาจจะทำได้โดยปล่อยให้ระเหยโดยตรงจากผิวน้ำ ให้ระเหยจากดินหรือใช้ต้นไม้ให้ดูดน้ำแล้วระเหยสู่บรรยากาศก็ได้ การกำจัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้จะต้องมีปริมาณการระเหยของน้ำสูงกว่าปริมาณฝนตก นอกจากนั้นอัตราการระเหยของน้ำยังขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิอากาศ ความชื้น แสงแดด และวิธีการสูบน้ำเข้าระบบอีกด้วย

การกำจัดน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำที่ผ่านกระบวนการการบำบัดน้ำเสียแล้วทิ้งลงทางผิวดิน เช่น คลองหรือแม่น้ำต่างๆ อาจจะทำได้ในกรณีที่กฎหมายอนุญาต แต่กระบวนการการบำบัดน้ำเสียจะต้องมีประสิทธิภาพสูง เพื่อมิให้เกิดผลกระทบเสียหายต่อคุณภาพของลำน้ำที่รับน้ำเสียนั้น ซึ่งในทางปฏิบัติแล้ว ระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กมักไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังและพยายามหลีกเลี่ยงการใช้วิธีนี้

2.1.2.2 ขั้นตอนในการพิจารณาสถานที่ก่อสร้าง

วัตถุประสงค์ในการสำรวจสถานที่ก่อสร้างก็เพื่อหาข้อมูลที่แสดงถึงความเป็นไปได้ในการบำบัดและกำจัดน้ำเสีย โดยจะต้องมีข้อมูลเพียงพอที่สามารถเลือกระบบบำบัดและกำจัด

น้ำเสียที่เหมาะสมได้ ซึ่งนอกจากจะพิจารณาด้านเทคนิคแล้ว ยังต้องสามารถเปรียบเทียบทั้งด้านราคา ความสวยงาม และความพอใจของเจ้าของด้วย

การสำรวจสถานที่ก่อสร้างจะต้องทำเป็นระบบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดพอ และนำไปใช้งานได้โดยไม่พลาด ขั้นตอนในการดำเนินงานได้สรุปเอาไว้ในตารางที่ 2.2 ส่วนการพิจารณาด้านความเป็นไปได้ของระบบกำจัดน้ำเสีย ควรจะเริ่มตั้งแต่การใช้วิธีซึมลงใต้ผิวดินก่อน ซึ่งเป็นวิธีที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงต้องทำการสำรวจดินเพื่อใช้ระบบนี้ก่อน จนกระทั่งพบว่าไม่สามารถใช้วิธีซึมลงใต้ผิวดินได้แน่นอนแล้ว จึงทำการสำรวจเพื่อใช้วิธีอื่นแทน

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนในการสำรวจสถานที่ก่อสร้าง (สุรพล สายพานิช)

ลำดับที่	ขั้นตอนดำเนินงาน	ข้อมูลที่ต้องการ
1.	ติดต่อเจ้าของงาน	- สถานที่ก่อสร้างและรายละเอียดเกี่ยวกับที่ดิน - ลักษณะการใช้งาน - ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำเสีย
2.	การสำรวจเบื้องต้น	- หาข้อมูลที่มีอยู่แล้ว เช่น แผนที่แสดงชั้นดิน, ลักษณะธรณีวิทยา ฯลฯ - หาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานของระบบ ซึ่งใช้กันอยู่แล้วในบริเวณนั้น
3.	การทดสอบ	- ทำผังบริเวณและผังภูมิทัศน์ - ลักษณะของชั้นดิน - ความสามารถในการซึมน้ำของดิน
4.	การสำรวจข้อมูลด้านอื่นๆ	- ความสามารถในการระเหยของน้ำ - ความเป็นไปได้หรือผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทิ้งน้ำเสียที่บำบัดแล้วลงทางรับน้ำผิวดินตามธรรมชาติ
5.	การจัดการข้อมูล	- รวบรวมและแสดงผลข้อมูลในรูปที่นำมาใช้งานได้สะดวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.3 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย (characteristics of wastewater) ซึ่งหมายถึง ทั้งปริมาณและองค์ประกอบต่างๆของน้ำเสีย เป็นข้อมูลที่สำคัญ ซึ่งต้องใช้ในการออกแบบและก็เป็นส่วนซึ่งเก็บข้อมูลที่ถูกต้องได้ยาก ในการออกแบบระบบที่มีผู้อยู่อาศัยแล้ว สามารถเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์และวัดปริมาณน้ำเสียได้ แต่สำหรับการออกแบบระบบใหม่ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเก่าหรือค่าเฉลี่ยต่างๆรวมทั้งวิจารณญาณของผู้ออกแบบเอง

ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะสมบัติของน้ำเสียในเมืองไทยนับว่ามีผู้ทำวิจัยกันน้อยมาก ส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลจากต่างประเทศ ความเป็นจริงแล้วมักจะสูงกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงในบ้านเรา

2.1.3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย

1) ปริมาณการไหลของน้ำเสีย

1) ปริมาณการไหลเฉลี่ยทั้งวัน

ปริมาณการไหลเฉลี่ยทั้งวัน มีค่าประมาณ 151 ลิตร/คน-วัน ถึงแม้ว่าปริมาณการไหลนี้จะแตกต่างกันมากนัก แต่ส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าไม่เกิน 227 ลิตร/คน-วัน และมีน้อยมากที่มีค่าเกิน 284 ลิตร/คน-วัน

2) ปริมาณการไหลของน้ำเสียแต่ละประเภท

ปริมาณการไหลของน้ำเสียแต่ละประเภทได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 2.3

3) การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียพบว่ามีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุด เมื่อเทียบกับอัตราการไหลเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ประมาณร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 300 โดยมีค่าส่วนใหญ่อยู่ที่ประมาณร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 150 ของอัตราการไหลเฉลี่ยตลอดทั้งวัน

อัตราการไหลน้อยที่สุดและมากที่สุดในแต่ละชั่วโมงนั้นยากที่จะคาดการณ์ได้ถูกต้อง แต่ก็พบว่าอัตราการไหลน้อยที่สุดคือไม่มีน้ำไหลเลย ส่วนอัตราการไหลมากที่สุดของแต่ละบ้านพบว่าอาจสูงได้ถึง 380 ลิตร/ชั่วโมง

อัตราการไหลสูงที่สุด (peak flow) ขึ้นอยู่กับเครื่องสุขภัณฑ์หรืออุปกรณ์ที่ใช้ ซึ่งก๊อกทั่วๆไปจะมีอัตราการไหลมากที่สุดประมาณ 0.3 ลิตร/นาที แต่ถ้าเป็นถังชักโครกอาจมีค่าสูงถึง

1.6 ลิตร/วินาที ส่วนวิธีการคำนวณสามารถทำได้โดยใช้ Hunter's curve ซึ่งอาศัยระบบหน่วยสุขภัณฑ์ (fixture unit)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการไหลของน้ำเสียแต่ละประเภท (สุรพล สายพานิช)

Activity	Gal/use	Uses/cap/day	gpcd[b]
Toilet Fush	4.3	3.5	16.2
	4.0-5.0	2.3-4.1	9.2-20.0
Bathing	24.5	0.43	10.1
	21.4-27.2	0.32-0.50	7.4-11.6
Cloteswashing	37.4	0.29	10.0
	33.5-40.0	0.25-0.31	7.4-11.6
Dishwashing	8.8	0.35	3.2
	7.0-12.5	0.15-0.50	1.1-4.9
Garbage Grinding	2.0	0.58	1.2
	2.0-2.1	0.4-0.75	0.8-1.5
Miscellaneous	-	-	6.6
			5.7-8.0
Total	-	-	45.6
			41.4-52.0

a Mean and ranges of results

b gpcd may not equal gal/use multiplied by uses/cap/day due to difference in the number of study averages used to compute the mean and ranges shown

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) คุณภาพของน้ำเสีย

1) คุณภาพเฉลี่ย

คุณภาพเฉลี่ยของน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 2.4 ทั้งในรูปของมลสารและความเข้มข้น โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากบ้านที่ติดตั้งเครื่องสุขภัณฑ์ปกติ และมีอัตราการไหลของน้ำเสียประมาณ 170 ลิตร/คน-วัน

ตารางที่ 2.4 คุณภาพน้ำเสียเฉลี่ยจากบ้านพักอาศัย (สุรพล สายพานิช)

Parameter	Mass Loading (gm/cap/day)	Concentration (mg/l)
Total Solids	115-170	680-1000
Volatile Solids	65-85	380-500
Suspended Solids	35-50	200-290
Volatile Suspended Solids	25-40	150-240
BOD_5	35-50	200-290
Chemical Oxygen Demand	115-125	680-730
Total Nitrogen	6-17	35-100
Ammonia	1-3	6-18
Nitrites and Nitrates	<1	<1
Total Phosphorus	3-5	18-29
Phosphate	1-4	6-24
Total Coliforms[b]	-	10^{10}-10^{12}
Fecal coliform[b]	-	10^{8}-10^{10}

a For typical residential dwellings equipped with standard water-using fixtures and appliances (excluding garbage disposal: generating approximately 45 gpcd (170 1pcd).

b Concentrations presented in organisms per liter.

ตารางที่ 2.5 น้ำหนักของมลสารต่อคนตามลักษณะการใช้สอย (สุรพล สายพานิช)

Parameter	Garbage Disposal	Toilet	Basins, Sinks, Applances	Approximate Total
BOD_5	18.1	16.7	28.5	63.2
	10.9-30.9	6.9-23.6	24.5-38.8	
Suspended Solids	26.5	27.0	17.2	70.7
	15.8-43.6	12.5-36.5	10.8-22.6	
Nitrogen	0.6	8.7	1.9	11.2
	0.2-0.9	4.1-16.8	1.1-2.0	
Phosporus	0.1	1.2	2.8	4.0
	0.1-01	0.6-1.6	2.2-3.4	

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นของมลสารตามลักษณะการใช้สอย (สุรพล สายพานิช)

Parameter	Garbage Disposal	Toilet	Basins, Sinks, Appliances	Combined Wastewater
BOD_5	2380	280	260	360
Suspended Solids	3500	450	160	400
Nitrogen	79	140	17	63
Phosporus	13	20	26	23

a Based on the average results presented in Table 5 and the following wastewater flows : Garbage disposal – 2 gpcd (8 lpcd); toilet–16 gpcd (61 lpcd); basins, sinks and appliance – 29 gpcd (110 lpcd); total – 47 gpcd (178 lpcd).

2.1.3.2 วิธีคำนวณลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

การคำนวณลักษณะสมบัติของน้ำเสียประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ๆ คือ ปริมาณและคุณภาพ ซึ่งแปรผันตามปัจจัยอื่นอีกมากมาย สำหรับบ้านพักอาศัยมักคำนวณจากจำนวนคนที่พักอาศัย แล้วนำไปคูณกับลักษณะสมบัติเฉลี่ย จำนวนคนอาจจะคำนวณได้จากสมมติฐานว่ามีผู้อาศัยสูงสุดห้องนอนละสองคน

ค่าสำรองความปลอดภัย (factors of safety) นั้น ผู้ออกแบบอาจจะเผื่อเอาไว้ ตั้งแต่การใช้ตัวเลขในการออกแบบ เช่น ใช้ค่าปริมาณน้ำเสีย ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยหรือการเผื่อจำนวนคนเอาไว้ ซึ่งก็นับว่าได้สำรองเพื่อความปลอดภัยเอาไว้แล้ว หรืออาจจะใช้ค่าสำรองความปลอดภัยมาคูณภายหลังจากเสร็จสิ้นการคำนวณก็ได้เช่นกัน แต่ทั้งนี้จะต้องพึงระมัดระวังมิให้มีการเผื่อเอาไว้จนมากเกินไป

2.1.4 วิธีบำบัดน้ำเสีย

ในหัวข้อนี้ จะได้กล่าวถึงวิธีการบำบัดน้ำเสีย (treatment methods) ที่สามารถนำมาใช้กับบ้านพักอาศัยเฉพาะราย ก่อนที่จะทำการกำจัด (disposal)

วัตถุประสงค์ของการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ การปรับสภาพของน้ำเสียที่ทิ้งออกมาให้อยู่ในรูปซึ่งสามารถกำจัดต่อไปได้ เช่น ถ้ากำจัดโดยการซึมลงใต้ผิวดิน ก็ต้องการเพียงการบำบัดขั้นแรกด้วยถังเกรอะ (septic tank) เพื่อแยกตะกอนและไขมันที่ลอยน้ำออกให้เหลือเพียงน้ำใส แต่ถ้ากำจัดโดยการปล่อยทิ้งโดยตรง ก็จำเป็นต้องบำบัดน้ำเสียนั้นให้มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งซึ่งต้องใช้กระบวนการการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงมาก

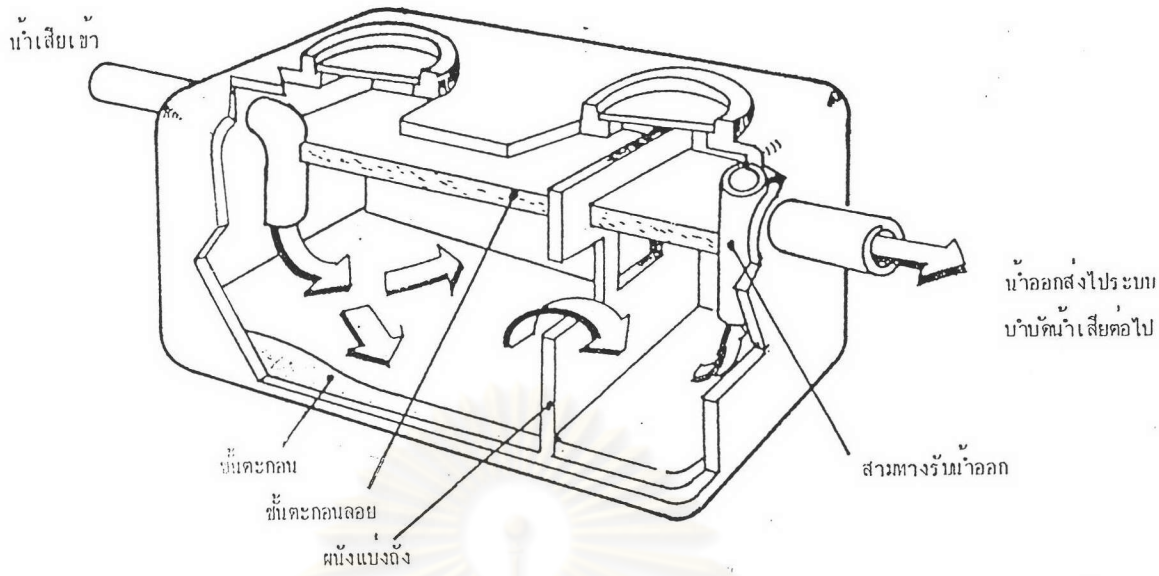
กระบวนการที่สามารถนำมาใช้บำบัดน้ำเสียมีอยู่มากมาย แต่ที่คาดว่าเหมาะสม คือ ถังเกรอะ (septic tank) ส่วนกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบใช้ออกซิเจนชนิดอื่นๆ เช่น กระบวนการตะกอนเร่ง (activated sludge process) กระบวนการลานกรองจุลินทรีย์ (trickling filter) กระบวนการจานหมุนชีวภาพ (rotating biological contactor) นั้น ถึงแม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่การนำมาใช้งานสำหรับบ้านขนาดเล็กจะเสียค่าใช้จ่ายและต้องการการดูแลรักษาสูง

กระบวนการการบำบัดน้ำเสียทุกรูปแบบจะต้องมีกากของแข็งหรือตะกอนเกิดขึ้น ซึ่งจะต้องทำการขนย้ายออกและนำไปทำการกำจัดต่อไป ดังนั้นผู้ออกแบบจึงต้องคำนึงถึงเรื่องนี้ในส่วนที่เกี่ยวกับการบำรุงรักษาด้วย

2.1.4.1 ถังเกรอะ

ถังเกรอะ (septic tank) เป็นถังปิด ฝังอยู่ใต้ดิน น้ำซึมเข้าไม่ได้ ทำหน้าที่บำบัดน้ำเสีย โดยแยกส่วนที่เป็นของแข็งออกจากน้ำ ย่อยสารอินทรีย์ และกักเก็บกากตะกอน น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังเกรอะจะมีความใสเพียงพอที่จะทำการบำบัดต่อด้วยกระบวนการอื่นหรือกำจัดต่อในขั้นสุดท้าย ส่วนประกอบของถังได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.2

ของแข็งซึ่งหนักจะจมลงก้นถังและถูกย่อยสลายจนเป็นกากตะกอน ส่วนของแข็งที่เบา เช่น ไขมันจะลอยขึ้นที่ผิวน้ำ น้ำที่บำบัดแล้วจะไหลลอดช่องน้ำออก (outlet structure) ซึ่งอยู่ต่ำกว่าชั้นตะกอนลอย แล้วส่งไปกำจัดต่อโดยการซึมลงใต้ผิวดินหรือวิธีอื่นต่อไป



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบและการทำงานของถังเกรอะ (สุรพล สายพานิช)

1) การนำไปใช้งาน

ถังเกรอะเป็นเพียงระบบบำบัดขั้นแรกเท่านั้น เพราะน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วยังไม่สามารถทิ้งได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบำบัดอื่น และ/หรือ การกำจัดต่อไปอีก แต่โดยทั่วๆไปมักจะใช้วิธีกำจัดโดยการให้ซึมลงใต้ผิวดิน ถ้าสถานที่ก่อสร้างมีสภาพของดินที่เหมาะสม แต่ถ้าดินไม่สามารถซึมน้ำได้ ก็ต้องใช้วิธีกำจัดแบบอื่น เช่น เนินทราย (sand mounds) การระเหยโดยใช้พืช (evapotranspiration system) หรือบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น

ถังเกรอะสามารถใช้ได้กับบ้านเดี่ยวหรือใช้ร่วมกันหลายหลังก็ได้

2) สมรรถภาพ

ตารางที่ 2.7 สรุปคุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากถังเกรอะ โดยทั่วไปสามารถลดค่าบีโอดีได้ประมาณร้อยละ 40-65 ส่วนข้อมูลด้านอื่นๆพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงด้านการกำจัดเชื้อโรคมากนัก แต่สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันได้ประมาณ 70-80 โดยมีเหลืออยู่ในน้ำออกประมาณ 20-25 มก./ล. และกำจัดฟอสฟอรัสได้ประมาณร้อยละ 15 ทำให้มีความเข้มข้นเหลืออยู่ในน้ำออกประมาณ 20 มก./ล.

องค์ประกอบซึ่งมีผลต่อสมรรถภาพของถังเกรอะ ได้แก่ รูปร่างของถัง ปริมาณน้ำเสีย ลักษณะของท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก จำนวนการแบ่งถัง อุณหภูมิ รวมทั้งการบำรุงรักษา

การแบ่งช่องภายในของถังออกเป็นสองส่วนจะช่วยให้ถังมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากของแข็งหลุดออกไปกับน้ำออกได้ยาก

ตารางที่ 2.7 คุณภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากถังเกรอะ (สุรพล สายพานิช)

Parameter	7 Sites	10 Tanks	19 Sites	4 Sites	1 Tank
BOD_5					
Mean, mg/l	138	138[a]	140	240[b]	120
Range, mg/l	7-480	64-256	-	70.385	30-280
No. of Samples	150	44	51	21	50
COD					
Mean, mg/l	327	-	-	-	200
Range, mg/l	25-780	-	-	-	71-360
No. of Samples	152	-	-	-	50
Suspended Solids					
Mean, mg/l	49	155[a]	101	95[b]	39
Range, mg/l	10-695	43-485	-	48-340	8-270
No. of Samples	148	55	51	18	47
Total Nitrogen					
Mean, mg/l	45	-	36	-	-
Range, mg/l	9-125	-	-	-	-
No. of Samples	99	-	51	-	-

[a] Calculated from the average values from 10 tanks, 6 series of tests.

[b] Calculated on the basis of a log-normal distribution of data.

3) วิธีการออกแบบ

1) หลักการทั่วไป

1) มีปริมาตรเก็บกักน้ำเสียได้ไม่ต่ำกว่า 24 ชั่วโมง โดยไม่รวมปริมาตรของตะกอนที่ก้นถัง (sludge) และตะกอนที่ลอยอยู่ที่ผิวน้ำ (scum)

2) ต้องมีท่อหรือแผ่นกันน้ำกั้นที่ช่องน้ำเข้าและช่องน้ำออกเพื่อป้องกันตะกอนลอยและตะกอนก้นถังหลุดออกไปกับน้ำออก (effluent)

3) ต้องมีปริมาตรเพื่อเก็บกักตะกอนลอยและตะกอนที่ก้นถังอย่างเพียงพอ เพื่อไม่ให้ตะกอนล้นออกจากถังในระยะเวลาอันสั้น

4) ต้องมีท่อระบายก๊าซที่เกิดขึ้น เช่น มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนซัลไฟด์ออกจากถัง

2) หลักการออกแบบ

ในทางปฏิบัติเรามักจะไม่สามารถวัดปริมาณน้ำเสียจริงได้ เพราะจะต้องก่อสร้างถังเกรอะพร้อมกับอาคาร ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องอาศัยข้อมูลที่มีอยู่ โดยใช้ปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 170 ลิตร/คน-วัน และเมื่อคูณค่าสำรองความปลอดภัย 1.67 จะมีค่าประมาณ 284 ลิตร/คน-วัน ถ้ากำหนดมีผู้พักอาศัย 2 คนต่อหนึ่งห้องนอน จะมีน้ำเสีย 570 ลิตร/ห้องนอน-วัน ดังนั้นการคำนวณปริมาตรของถังในส่วนใช้งาน ถ้าใช้ค่า 2-3 เท่า ของปริมาณน้ำเสีย ก็จะมีค่าประมาณ 1,140 – 1,700 ลิตร/ห้องนอน สำหรับปริมาตรของน้ำในถังเกรอะที่ใช้เป็นหลักในการออกแบบได้แสดงเอาไว้ในตารางที่ 2.8

การออกแบบถังเกรอะควรให้มีพื้นที่ของผิวน้ำสูงและมีความลึกของน้ำต่ำ เพราะถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสีย ความลึกของน้ำจะเปลี่ยนแปลงน้อยและมีพื้นที่เก็บตะกอนมาก นอกจากนั้นยังควรใช้ท่อที่เข้าและออกจากถังขนาดใหญ่ไม่ต่ำกว่า 150 มม. เพื่อลดความเร็วของน้ำที่เข้าและออกจากถัง

ตารางที่ 2.8 ปริมาตรของน้ำในถังเกรอะตามจำนวนห้องน้ำ (สุรพล สายพานิช)

ข้อมูล	ปริมาตรที่แนะนำให้ใช้ได้ (ลบ.ม.)	ปริมาตรที่ควรใช้ (ลบ.ม.)
ค่าต่ำสุด	2.0-4.0	3.0
1-2 ห้องนอน	2.0-4.0	3.0
3 ห้องนอน	3.4-6.0	3.4
4 ห้องนอน	4.0-8.0	4.5
5 ห้องนอน	4.0-80	5.5
ทุกจำนวนห้องนอนที่เพิ่มขึ้น	-	1.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ช่องน้ำเข้าและช่องน้ำออก

ช่องน้ำเข้าและช่องน้ำออก ถ้าออกแบบไม่ดีจะทำให้มีตะกอนหลุดออกมากับน้ำออกมาก ซึ่งอาจจะเกิดจากสาเหตุดังต่อไปนี้

1) ตะกอนถูกกวนเนื่องจากน้ำเข้า

2) ตะกอนถูกดูดออกไปเนื่องจากความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องน้ำออก

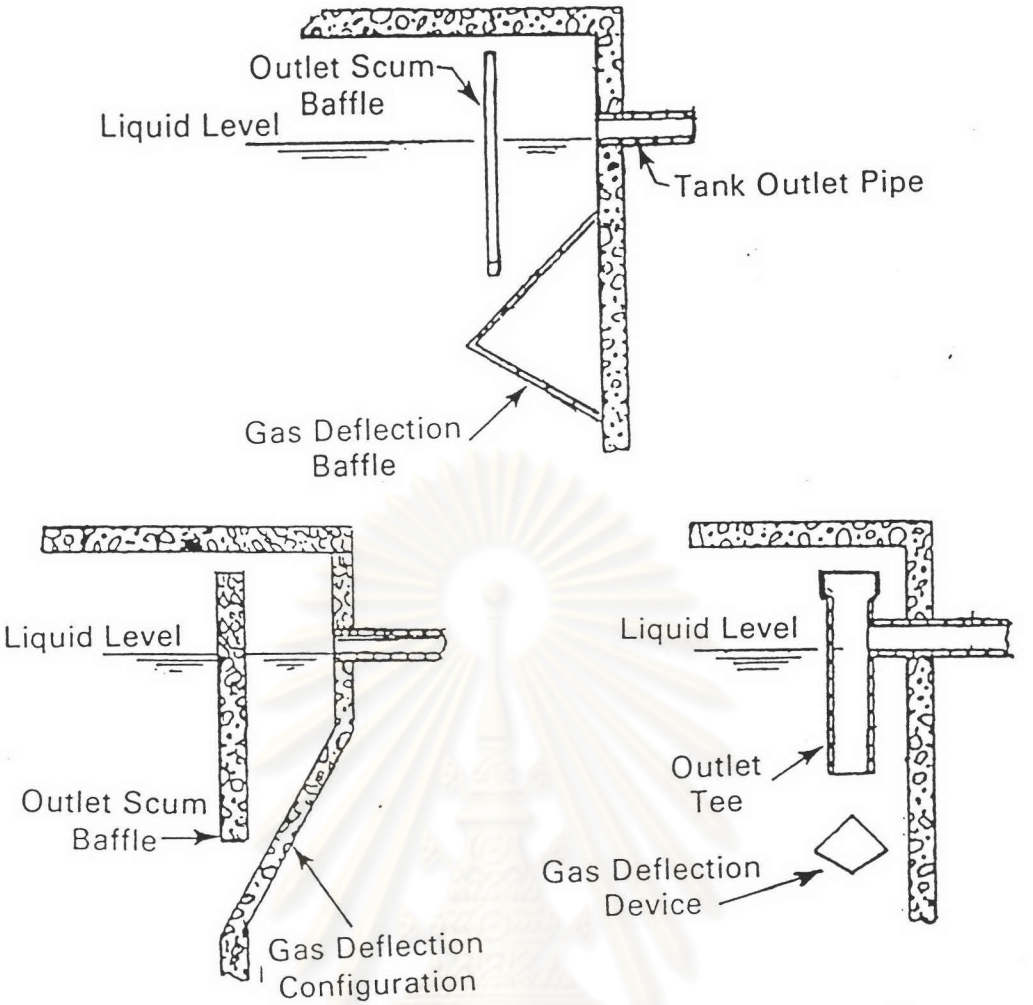
3) ก๊าซที่เกิดขึ้นรบกวนการตกตะกอนและทำให้ตะกอนที่ตกอยู่แล้วฟุ้งกระจายออกไปกับน้ำออก

ดังนั้นช่องน้ำเข้าจึงควรทำเป็นสามทางคว่ำเอาปลายท่อจุ่มลงใต้ระดับน้ำ ส่วนช่องน้ำออกจะใช้เป็นสามทางหรือผนังกั้นน้ำ (baffle) หรือโครงสร้างพิเศษ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ก็ได้ นอกจากนั้นช่องน้ำออกยังจะต้องมีช่องว่างเหนือระดับน้ำ และมีความลึกของช่องรับน้ำได้ระดับที่เหมาะสม ดังแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.4 และตารางที่ 2.9

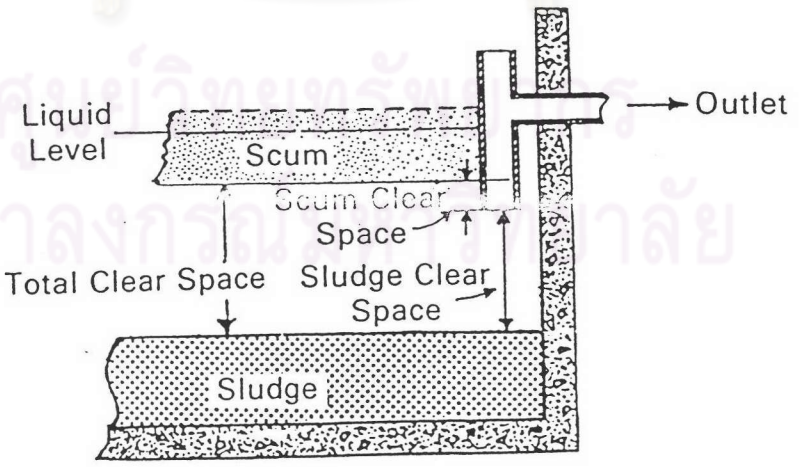
ตารางที่ 2.9 ความสูงเหนือระดับน้ำและความลึกต่ำกว่าระดับน้ำของสามทางหรือแผ่นกั้นน้ำออก (สุรพล สายพานิช)

ปริมาตรของน้ำในถังเกรอะ (ลบ.ม.)	ความสูงเหนือระดับน้ำ (%ของความลึกของน้ำ)	ความลึกต่ำกว่าระดับผิวน้ำ (%ของความลึกของน้ำ)
2.0	12	22
3.0	12	24
4.0	12	26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



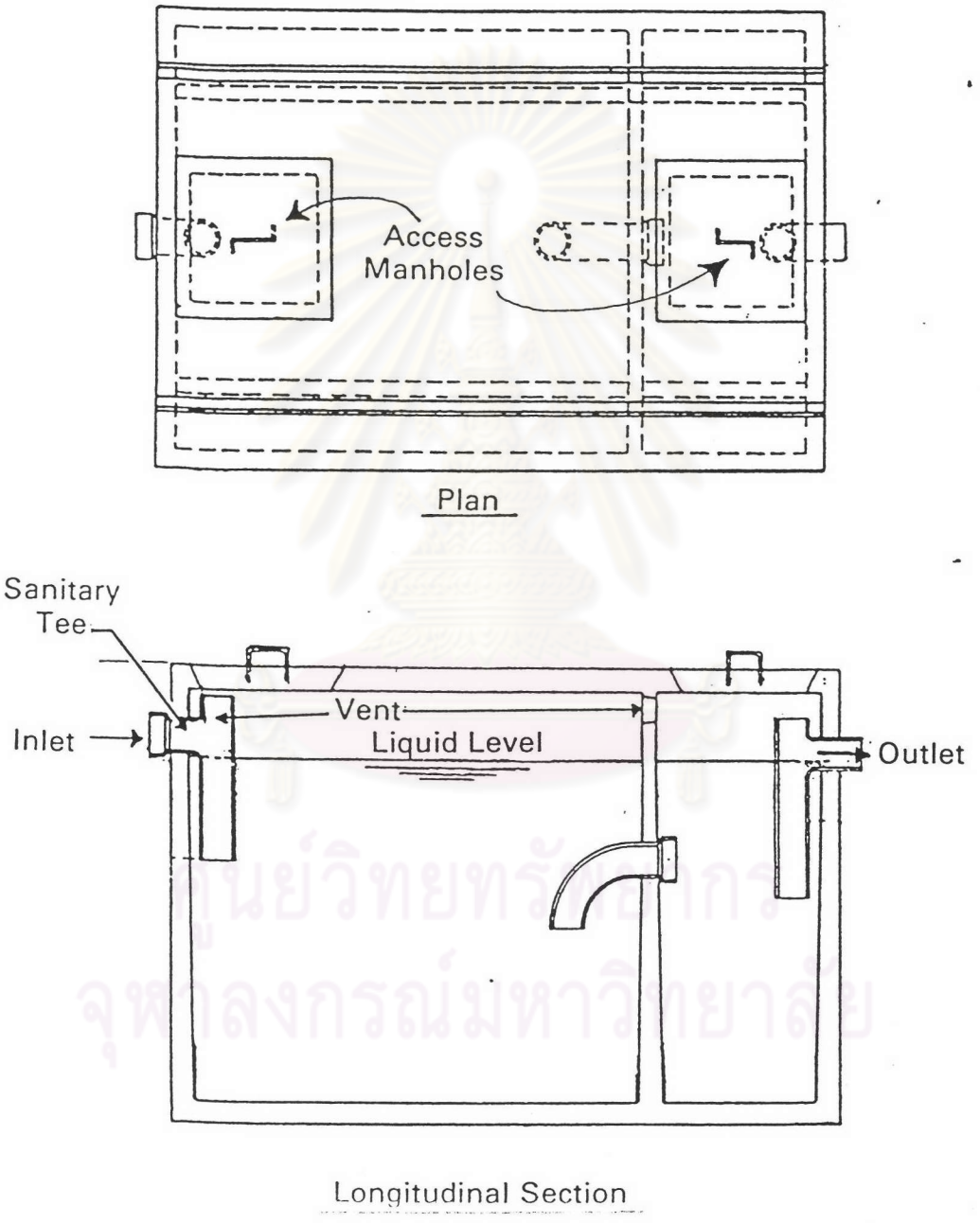
รูปที่ 2.3 โครงสร้างพิเศษของช่องน้ำออกเพื่อป้องกันตะกอนหลุดออกไปกับน้ำออก (สุรพล สายพานิช)



รูปที่ 2.4 ระยะของชั้นตะกอนลอยและตะกอนก้นถังในถังเกรอะ (สุรพล สายพานิช)

4) การกั้นผนังแบ่งถัง

การกั้นผนังแบ่งถังออกเป็นสองส่วนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ทั้งการกำจัดค่าสารอินทรีย์และของแข็งแขวนลอย รูปถังเกรอะสองตอนได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.5 ปกติแล้วปริมาตรของถังส่วนหลังจะมีค่าระหว่าง 1/3 ถึง ½ เท่าของถังส่วนแรก



รูปที่ 2.5 ถังเกรอะที่แบ่งออกเป็นสองตอน (สุรพล สายพานิช)

5) ช่องเปิดเพื่อการซ่อมบำรุง

ควรทำช่องเปิดเพื่อการซ่อมบำรุง ควรมีอย่างน้อยที่ท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก ถ้าช่องเปิดนั้นอยู่เหนือดินจะต้องอุดรูรั่วต่างๆ เพื่อป้องกันกลิ่นรั่วออกมาจากถังหรืออาจจะทำฝาเกลียวเปิดขนาดเล็กอยู่ในฝาเปิดใหญ่ เพื่อการสำรวจโดยไม่ต้องเปิดฝาใหญ่ก็จะมีความสะดวกขึ้น

4) การดูแลรักษาและซ่อมบำรุง

ถังเกรอะต้องการการดูแลรักษาและซ่อมบำรุงน้อยมาก เนื่องจากไม่มีเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ยุ่งยาก หากไม่มีปัญหาเรื่องโครงสร้างของถัง ในการดูแลรักษาจะต้องทำเพียงการสูบตะกอนที่สะสมอยู่ในถังออกทุกระยะ 2-5 ปี แล้วแต่ปริมาณของตะกอนและการออกแบบปริมาตรของถัง

เพื่อความแน่ใจและความถูกต้องในการสูบตะกอนจากถังเกรอะ ควรทำการสำรวจความหนาของชั้นตะกอน หากพบว่าชั้นของตะกอนลอย (scum layer) อยู่สูงกว่าระดับช่องรับน้ำออก 7.5 ซม. หรือความสูงของชั้นตะกอนก้นถัง (sludge level) เหลืออีกเพียง 20 ซม. ก็จะถึงระดับช่องรับน้ำออก แสดงว่าจำเป็นต้องทำการสูบตะกอนออกจากถัง วิธีการวัดความลึกของชั้นตะกอนอาจจะใช้บานกระดกหยั่งดูความลึกหรือใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กที่มีสายยางส่งน้ำแบบใสสูบไล่ลงไปตามความลึกก็ได้

2.1.5 ระบบกำจัดน้ำเสียแบบติดกับที่ (onsite wastewater disposal system)

ระบบกำจัดน้ำเสียแบบติดกับที่จะทำหน้าที่ในการกำจัดน้ำเสียให้หมดไป(ultimate disposal) ซึ่งระบบกำจัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันประกอบด้วย

1) ระบบการซึมลงดิน (soil absorption system) ได้แก่
   - ระบบรางซึมและลานซึม (trench and bed system)
   - ระบบบ่อซึม (seepage pits system)
   - ระบบพูนดิน (mound system)
2) ระบบการระเหย (evaporation system) ได้แก่
   - evapotranspiration beds
   - lagoon
   - mechanic

3) ระบบระบายลงสู่แหล่งน้ำ (discharge to surface waters)

2.1.6 คุณลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นจะประกอบไปด้วยน้ำเสีย 2 ประเภท คือ

1) น้ำเสียจากโถส้วมและโถปัสสาวะ

2) น้ำเสียจากอ่างล้างมือ ห้องอาบน้ำ จากการล้างภาชนะ จากเครื่องล้างจาน หรือจากการซักผ้า จากการทำความสะอาดอาหาร ปรุงอาหาร หรือจากการทำความสะอาดพื้น

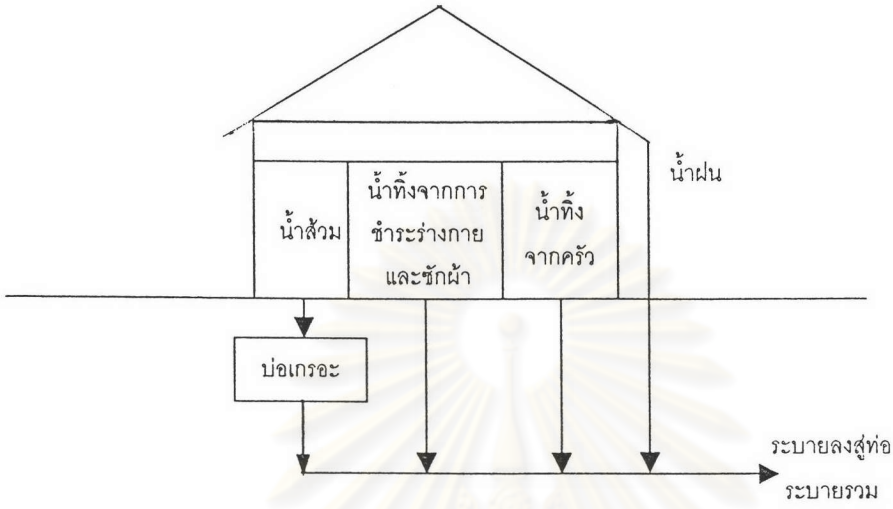
2.1.6.1อัตราการไหลของน้ำเสีย

อัตราการไหลของน้ำเสียจากบ้านพักอาศัยขึ้นอยู่กับกิจกรรมภายในบ้าน ชนิด และอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน (ตารางที่ 2.10) ซึ่งเมื่อรวมอัตราการไหลของน้ำเสียภายในบ้านทั้งหมดจะมีค่าประมาณ 148 – 212 ลิตร/คน/วัน

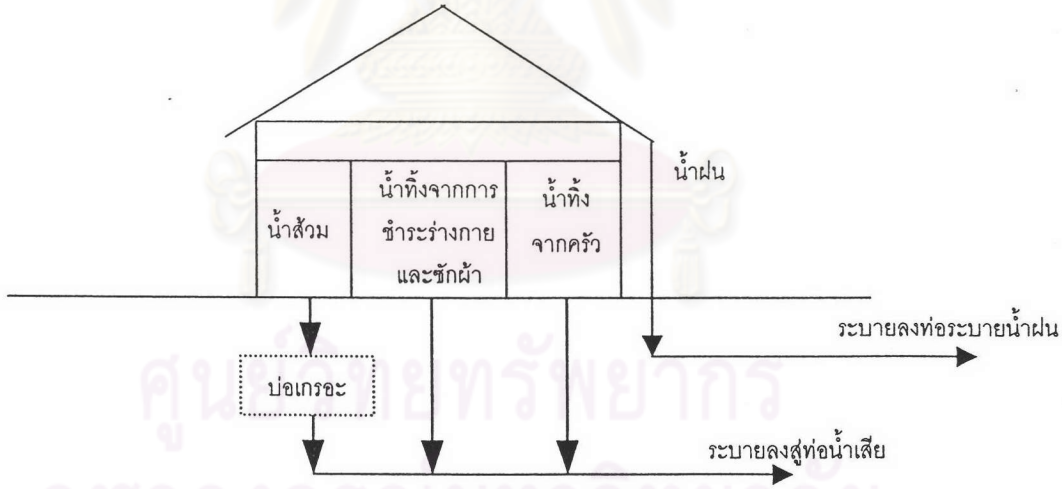
ตารางที่ 2.10 อัตราการไหลของน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย (บุญส่ง ไข่เกษ และคณะ, 2534)

ประเภทน้ำเสีย	อัตราการไหล (ลิตร/คน/วัน)
1. น้ำเสียจากส้วม (อุจจาระและปัสสาวะ)	16.1
2. น้ำเสียจากห้องอาบน้ำ	
- ตักอาบ	100.0
- ฝักบัว	65
3. น้ำเสียจากการซักผ้า	
- ด้วยมือ	48.6
- ด้วยเครื่อง	20.9
4. น้ำเสียจากครัว	45.75
รวม	147.75 – 212.45

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กรณีที่ 1 ชุมชนเก่า ซึ่งมีระบบรวบรวมน้ำเสียแบบท่อระบายรวมและมีบ่อเกรอะบำบัดน้ำเสียส้วมก่อน



กรณีที่ 2 ชุมชนใหม่ ซึ่งมีระบบรวบรวมน้ำเสียเป็นแบบท่อระบายแยก

รูปที่ 2.6 ระบบรวบรวมน้ำเสียของชุมชนเก่าและใหม่ของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.1.6.2 คุณลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยเกิดจากกิจกรรมต่างๆในบ้าน จะมีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแหล่งกำเนิดต่างๆ โดยน้ำเสียจากครัวจะเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณความสกปรกสูงสุด รองลงมาคือน้ำเสียจากส้วม (ตารางที่ 2.11)

ตารางที่ 2.11 คุณลักษณะของน้ำเสียจากบ้านพักอาศัย (บุญส่ง ไข่เกษ และคณะ, 2534)

คุณลักษณะ	น้ำเสียจากส้วม	จากห้องอาบน้ำ		จากการซักผ้า		จากครัว		น้ำเสียรวม
		ตักอาบ	ฝักบัว	ด้วยมือ	เครื่อง	ผ่านตะแกรง	ไม่ผ่าน	
pH	7.71	7.71	7.01	7.19	7.66	7.24	6.33	7.08
COD (mg/l)	1,474	232	388	202	460	959	2,904	-
BOD (mg/l)	702	121	261	67	147	540	1,774	196.76
TKN (mg/l)	300	8.3	37.9	14.0	11.6	17.6	114.2	32.47
PO_4^{-2} (mg/l)	24	5.6	0.5	10.3	24.1	12.7	87.2	-
SS (mg/l)	559	45	79	60	54	213	1,189	233.82
FOG (mg/l)	538	407	479	494	521	501	2,712	299.11

2.1.6.3 ปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย

ปริมาณความสกปรกที่เกิดจากคนในที่พักอาศัยได้จาก "ค่าสมมูลย์ประชากร (สป.)" หรือค่าความสกปรกที่เทียบว่า คนคนหนึ่งได้ปล่อยความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ที่วัดออกมาในรูปของบีโอดี (มีหน่วยเป็นกรัมต่อคนต่อวัน หรือ g/c/d) จากการศึกษาพบว่า สป. สำหรับกิจวัตรประจำวันในที่พักอาศัยของคนในกรุงเทพฯ อันได้แก่ การถ่ายอุจจาระ ปัสสาวะ การอาบน้ำ การซักล้าง การประกอบอาหาร และการล้างภาชนะ มีค่าเท่ากับ 53 กรัมบีโอดี/คน/วัน โดยกิจวัตรประจำวันต่างๆจะมีค่า สป. แตกต่างกันออกไป (ตารางที่2.12)

ตารางที่ 2.12 ค่าสมมูลย์ประชากร (สป.) ในรูปของบีโอดีของกิจกรรมประจำวันของคนในกรุงเทพฯ (บุญส่ง ไข่เกษ และคณะ, 2534)

กิจกกรม	ความสกปรก	
	ค่าสมมูลย์ประชากร (สป.) กรัม/คน/วัน	ร้อยละ
จากการถ่ายอุจจาระ ปัสสาวะ	11.42	21.4
จากการอาบน้ำ	14.82	27.8
จากการซักผ้า	3.15	5.9
จากการประกอบอาหาร (จากห้องครัว)*	23.97	44.9

* น้ำเสียผ่านตะแกรง (Screening) มาแล้ว
ถ้าไม่ผ่านตะแกรงมีค่าเท่ากับ 52 กรัม/คน/วัน

ค่าสมมูลย์ประชากร (สป.) = ค่าบีโอดีของน้ำเสีย (มก. ลบ. ดม.) x ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาต่อวัน (ลบ. ดม./คน/วัน)
= ค่าบีโอดี เป็น มก. หรือ กรัม/คน/วัน

2.1.7 ระบบซึมลงดิน (soil absorption system)

ในกระบวนการกำจัดน้ำโสโครกโดยใช้บ่อเกรอะบ่อซึม น้ำที่ผ่านจากบ่อเกรอะไม่ใช่น้ำที่สะอาด ประมาณร้อยละ 60-70 ของตะกอนแขวนลอย (suspended solids) เท่านั้นที่ถูกตกตะกอนออกไป แต่ส่วนที่ละลายน้ำ (dissolved solids) ยังคงอยู่ในน้ำปะปนอยู่กับส่วนที่เหลือจากการเน่าเปื่อย (decomposition) ของกากตะกอน น้ำที่ออกจากบ่อเกรอะมีลักษณะค่อนข้างใส มีสีน้อยมาก และมีกลิ่นเหม็น ซึ่งเกิดจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ และก๊าซอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรีย (bacteria) อยู่ด้วยเป็นจำนวนมาก และไม่มีปฏิกิริยาใดๆในบ่อเกรอะที่ทำให้แน่ใจว่าแบคทีเรียชนิดที่ทำให้เกิดโรค (pathogenic bacteria) ถูกกำจัดหมดไป ดังนั้นถ้าปล่อยน้ำที่ระบายออกจากบ่อเกรอะลงคูคลองหรือลำน้ำธรรมชาติจะเป็นเหตุรำคาญและเป็นเหตุของการแพร่เชื้อโรคได้ จึงจำเป็นต้องหาวิธีกำจัดที่เหมาะสม วิธีการหนึ่งที่ใช้กันมานานและเป็นวิธีการที่ประหยัดเพราะไม่ต้องพึ่งพาเครื่องมือหรือเทคโนโลยีสมัยใหม่ คือ การปล่อยให้น้ำที่ล้นจากบ่อเกรอะซึมลงในดิน ดินจะทำหน้าที่กรองปฏิกูลและแบคทีเรียในดินจะใช้ออกซิเจนจากรูพรุนของดินย่อยสลายสิ่งโสโครกที่ละลายน้ำอยู่จนหมด

ระบบนี้มีชื่อว่าระบบซึมในดิน (soil absorption system) ซึ่งมีใช้กันอยู่หลายประเภท ดังจะได้กล่าวต่อไป

2.1.7.1 ระบบรางซึมและลานซึม (trench and bed system)

ระบบรางซึมและลานซึมเป็นระบบระบายน้ำโสโครกโดยวิธีการซึมผ่านดินของน้ำที่นิยมใช้กันทั่วๆไป ลักษณะของร่องซึมประกอบด้วยเส้นท่อเป็นท่อนๆ แต่ละท่อนยาวประมาณ 1 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร วางต่อกันโดยเว้นระยะรอยต่อไว้เล็กน้อยเพื่อระบายน้ำ หรืออาจสวมติดกันโดยใช้ท่อเจาะรูไว้รอบๆเพื่อระบายน้ำ ท่อมักทำด้วยดินเผาหรือวัสดุที่ไม่ใช่โลหะเพื่อป้องกันการกัดกร่อน ระบบรางซึมนี้วางอยู่ในระดับไม่ลึกจากผิวดินเดิมมากนัก โดยทั่วๆไปความลึกของเส้นท่อประมาณ 0.30-1.50 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้พ้นจากระดับน้ำใต้ดิน ส่วนความกว้างของแนวร่องดินที่ขุดรอบเส้นท่อประมาณ 0.30-0.90 เมตร ที่ส่วนล่างของรางซึมต้องใส่กรวดหรือหินย่อยที่ล้างสะอาดแล้วหนาประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อรองรับเส้นท่อก่อนจะทำการกลบฝังเส้นท่อทั้งด้านข้างและบนเส้นท่อด้วยกรวดหรือหินย่อยที่ล้างสะอาดแล้วหนาประมาณ 5 เซนติเมตร ต้องใส่กรวดหรือหินที่สะอาดให้รอบเส้นท่อเพื่อช่วยให้การกระจายน้ำเป็นไปได้ดี ต่อจากนั้นจะปูทับชั้นกรวดหรือหินที่สะอาดด้วยหญ้าแห้งหรือเศษกระดาษเพื่อเป็นการป้องกันดินที่กลบท่อไหลมาอุดตันรูระบายรอบๆท่อ แล้วจึงปิดทับร่องด้วยดินที่ขุดขึ้นมาก่อนหน้านี้ สำหรับระบบรางซึมเราถือว่าพื้นที่ซึมน้ำเกิดขึ้นทั้งด้านล่างและด้านข้างของท่อ (bottoms and sidewalls of the trenchs)

สำหรับระบบลานซึมนั้นแตกต่างจากระบบรางซึม คือ ลานซึมมีความกว้างมากกว่า 1 เมตร และระบบประกอบด้วยเส้นท่อมากกว่า 1 แนวเส้นท่อ ดังนั้นจึงถือว่าพื้นที่ซึมน้ำของลานซึม เกิดขึ้นทางด้านล่างเป็นหลัก

US.EPA และ Winneberger (สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ได้ให้ข้อแนะนำหลายประการเกี่ยวกับระบบรางซึมและลานซึม ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1) ข้อแนะนำในการพิจารณาพื้นที่ที่จะใช้รางซึมและลานซึม

การพิจารณากำหนดความเหมาะสมของพื้นที่ที่จะใช้รางซึมหรือลานซึม อาศัยหลักเกณฑ์การพิจารณาปัจจัยที่สำคัญ คือ ความสามารถของพื้นที่หรือพื้นดินในการซึมน้ำในช่วงระยะเวลาหลายๆปีสำหรับการใช้ระบบ ดังนั้นการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับดินเป็นต้นว่า เนื้อดิน

(soil texture) โครงสร้างดิน(soil structure) สีดิน(soil color) และความลาดชันของพื้นที่(slope) รวมทั้งระดับน้ำใต้ดิน มีความสำคัญสำหรับการกำหนดความเหมาะสมของพื้นที่ ข้อกำหนดโดยทั่วๆไปของพื้นที่ได้รวบรวมแสดงไว้ในตารางที่ 2.13

2) การกำหนดขนาดของพื้นที่ที่ต้องการสำหรับเป็นพื้นที่ซึม

การออกแบบระบบซึมลงดิน เริ่มตั้งแต่พื้นที่ซึมน้ำ ซึ่งน้ำเสียจะไหลลงสู่พื้นดิน เมื่อการทำงานของระบบดำเนินไปเรื่อยๆ การอุดตัน (clog) ของดินจะเกิดขึ้น ทำให้ความสามารถของดินในการซึมน้ำลดลงอันจะเป็นสาเหตุให้ระบบล้มเหลวได้ เมื่อเป็นดังนี้ในการออกแบบจึงจำเป็นต้องกำหนดขนาดพื้นที่โดยอาศัยการคาดคะเนของ hydraulic conductivity of the clogging mat และปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยเข้าสู่ระบบในแต่ละวัน

ตารางที่ 2.13 เกณฑ์การพิจารณาสถานที่ที่จะใช้รางซึมและลานซึม (สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527)

หัวข้อพิจารณา	ข้อกำหนด
1) พื้นที่ภูมิประเทศ [a]	ควรเป็นพื้นที่ราบมีการระบายน้ำดี พื้นที่ที่เป็นเนินมีความเหมาะสมกว่าพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแอ่ง
2) ความลาดชัน [b]	สำหรับระบบรางซึม ความลาดชันที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 0-25 % ส่วนพื้นที่ใดที่มีความลาดชันมากกว่า 25 % ยังพออนุโลมให้ใช้ได้ แต่จะมีข้อจำกัดในการทำงานของเครื่องจักรในการก่อสร้าง สำหรับระบบลานซึม ขีดจำกัดของความลาดชันควรเป็น 0-5 %

ตารางที่ 2.13 (ต่อ)

หัวข้อพิจารณา	ข้อกำหนด
3) ระยะห่างของระบบซึมกับสิ่งก่อสร้าง	
- บ่อน้ำ	15 – 30 เมตร
- หนองน้ำ , น้ำพุ	15 – 30 เมตร
- เขตบ้านเรือน	2 – 4 เมตร
- ฐานรากของอาคาร	3 – 6 เมตร
4) เนื้อดิน	ดินที่มีเนื้อดินเป็นดินทราย (sandy) หรือดินร่วน(loamy) มีความเหมาะสมมากที่สุด ส่วนดินที่มีกรวด (gravel) หรือหินมนเล็ก (cobble) ผสมอยู่มาก ซึ่งทำให้มีช่องว่าง (pore) มาก และดินเหนียว (clay) ซึ่งมีความซึมช้า ไม่เหมาะสมที่จะใช้ระบบซึมทั้งสองนี้
5) โครงสร้างดิน	โครงสร้างของดินที่มีลักษณะ granular , blocky หรือ prismatic มีความเหมาะสมมากกว่าดินที่มีโครงสร้างแบบ platy หรือดินที่ unstructured
6) สีดิน	พื้นที่ใดที่มีสีอ่อนๆ สม่ำเสมอ (bright uniform color) แสดงว่าเป็นดินที่มีการระบายน้ำดี การถ่ายเทอากาศดี เหมาะสมที่จะใช้ระบบซึมนี้ ส่วนดินที่มีสีเข้ม เช่น น้ำตาลเข้มหรือเทาเข้ม หรือมีจุดประ (mottles) แสดงว่าดินนั้นอิ่มน้ำ ระดับน้ำใต้ผิวดินอยู่สูงตลอดปีหรือเกือบตลอดปี ไม่สมควรใช้ระบบซึมดังกล่าว
7) ชั้นของดิน	ชั้นของดินถ้ามีการเปลี่ยนแปลงทั้งเนื้อดินหรือโครงสร้างดิน ต้องทำการตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่เป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.13 (ต่อ)

หัวข้อพิจารณา	ข้อกำหนด
8) ความลึกของชั้นที่ไม่อิ่มตัว	ส่วนล่างสุดของระบบกับระดับน้ำใต้ดินสูงสุด ควรมีระยะห่างอย่างน้อย 0.60 – 1.20 เมตร
9) อัตราการซึม [c]	ดินควรมีอัตราการซึมอยู่ในช่วง 1 – 25 นาที/ซม. และต้องระมัดระวังในการก่อสร้าง สำหรับดินที่มีความซึมช้า

(a) ตำแหน่งของพื้นที่และความลาดชันเป็นอุปสรรคอย่างมากสำหรับลานซึม เนื่องจากความลึกในการขุดปรับดิน

(b) ระยะที่ให้ไว้เป็นเพียงข้อแนะนำทั่วไป ในการปฏิบัติจริงต้องพิจารณาแต่ละสถานที่ให้ละเอียดทั้งสภาพภูมิประเทศ ความซึมของดิน น้ำใต้ดิน และลักษณะทางธรณีวิทยาด้วย

(c) ดินที่มีความซึมเร็วกว่า 0.4 นาที/ซม. ก็สามารถใช้ระบบทั้งสองนี้ได้ แต่ต้องมีการขุดดินเดิมออก แล้วใช้ดินร่วนทราย หรือทรายถมให้หนาอย่างน้อย 60 เซนติเมตร

นอกจากนี้ US.EPA ได้ให้ข้อแนะนำในการพิจารณาความเหมาะสมของการใช้รางซึมและลานซึม โดยคำนึงถึงอัตราการซึมไว้ดังนี้

1) ดินที่มีอัตราการซึมเร็วกว่า 0.4 นาที/ซม. ไม่สมควรใช้ระบบซึมแบบรางซึมหรือลานซึม ทั้งนี้เพราะว่าดินที่ซึมน้ำเร็วเกินไป เช่น ดินทราย จะทำให้กำจัดน้ำเสียไม่เกิดประสิทธิผล เนื่องจากช่วงเวลาในการบำบัดน้อย สิ่งสกปรกและแบคทีเรียต่างๆยังคงหลงเหลืออยู่และจะไหลไปในดินทำให้เกิดการปนเปื้อน (contamination) ต่อคุณภาพของน้ำใต้ดิน

2) ดินที่มีอัตราการซึมน้ำช้ากว่า 25 นาที/ซม. ก็ไม่สมควรก่อสร้างระบบซึมแบบรางซึมหรือลานซึม เนื่องจากดินประเภทนี้เกิดการบดอัดแน่นได้ง่ายในระหว่างการก่อสร้าง ทำให้อัตราการซึมของดินลดลงถึงครึ่งหนึ่งของอัตราการซึมที่คาดไว้

3) ข้อเปรียบเทียบระหว่างรางซึมและลานซึม

ข้อดีของลานซึม คือ

- ลานซึมต้องการพื้นที่น้อยกว่ารางซึม
- ค่าก่อสร้างสำหรับพื้นซึมน้อยกว่าค่าก่อสร้างสำหรับรางซึม

อย่างไรก็ตามได้มีการศึกษาแล้วพบว่ารางซึมยังมีความเหมาะสมและนิยมใช้กันมากกว่าลานซึม คือ

- รางซึมสามารถเพิ่มพื้นที่ด้านข้าง (sidewall area) ได้ถึง 5 เท่า ซึ่งสะดวก กว่าการใช้ลานซึมที่ด้านล่าง (bottom area) ที่เท่าๆกัน
- ความเสียหายอันเกิดจากการก่อสร้างมีน้อย เพราะว่าเครื่องจักรสำหรับใช้ในการก่อสร้างสามารถทำงานข้างๆเส้นท่อได้
- การก่อสร้างรางซึม ทำได้สะดวกในพื้นที่ลาดชัน ส่วนลานซึมใช้ได้ในเฉพาะพื้นที่ราบ และดินเป็นดินทรายหรือดินร่วนทราย และมีความลาดชันน้อยกว่า 5 %

2.1.7.2 ระบบบ่อซึม (seepage pits system)

บ่อซึมเป็นระบบกำจัดน้ำเสียระบบหนึ่งที่อาศัยการดูดซึมของดินซึ่งใช้สำหรับกำจัดน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาบ้างแล้ว เช่น ผ่านบ่อเกรอะ หรือบ่อดักไขมัน น้ำเสียจะเข้ามาสู่บ่อซึมและซึมออกทางผนังของบ่อ บ่อซึมเหมาะสำหรับกำจัดน้ำเสียที่มีปริมาณไม่มาก และใช้สำหรับบริเวณที่ไม่สามารถสร้างระบบรางซึมหรือลานซึมได้ แต่จะต้องมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึกประมาณ 0.9 - 1.2 เมตร จากระดับก้นบ่อซึม

2.1.7.3 ระบบพูนดิน (mound system)

ระบบซึมแบบพูนดินถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาเรื่องดินที่มีความซึมช้า และมีระดับน้ำใต้ดินสูง พื้นซึมจะสร้างบนกรวดหยาบ ซึ่งถมลงบนดินเดิมที่ขุดลอกผิวหน้าดินออกไปแล้ว ระบบพูนดินจะนำมาใช้เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เป็นข้อจำกัดของพื้นที่ในการใช้ระบบซึมแบบอื่นๆ คือ

- ดินมีอัตราการซึมช้า
- ดินที่มีชั้นการซึมน้อย คือ มีชั้นหินอยู่ระดับสูงใกล้ผิวดิน
- ดินที่มีการซึมน้ำดี แต่ระดับน้ำใต้ดินสูงมาก

2.1.8 ระบบการทำงานของดินในการกำจัดน้ำโสโครก

การกำจัดน้ำเสียโดยการปล่อยน้ำเสียลงไปในดิน เพื่อให้ดินทำการกำจัดน้ำเสียนั้นให้สะอาดไม่ก่อมลภาวะขึ้น เป็นระบบหรือกระบวนการทำงานของดินที่ประกอบด้วยการกระทำที่ซับซ้อน ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และยังมีกิจกรรมของสิ่งมีชีวิต พวกจุลินทรีย์ต่างๆอยู่ที่ชั้นผิวดินอีกด้วย ดังแสดงในแผนผังและรายระเอียดต่อไปนี้

<u>กลไกการบำบัด (treatment mechanism)</u>

ทางกายภาพ	ทางเคมี	ทางชีววิทยา
- การกรอง	- การดูดติดผิว (adsorption)	- การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ
- การเจือจาง	- การตกตะกอน (precipitation)	

2.1.8.1 กลไกการบำบัดทางกายภาพ

เมื่อน้ำเสียถูกปล่อยลงสู่ดินและไหลผ่านช่องว่างของดิน ตะกอนแขวนลอยต่างๆที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างก็จะถูกกักและกำจัดออกไปและเมื่อการกักตะกอนดำเนินไปเรื่อยๆ ตะกอนที่ถูกกักไว้ก็จะรวมตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น และอุดให้ช่องว่างเล็กลง ทำให้สามารถกักตะกอนที่มีขนาดเล็กๆลงไปได้อีก

ความลึกหรือระยะทางที่ใช้ในการกำจัดหรือกรองตะกอนต่างๆขึ้นอยู่กับขนาดของตะกอนแขวนลอย เนื้อดิน และอัตราน้ำเสียที่ปล่อยลงดิน นั่นคือถ้าปริมาณน้ำเสียมีมาก และดินมีเนื้อหยาบ ระยะทางหรือความลึกที่จะกำจัดตะกอนก็ต้องเพิ่มมากขึ้นด้วย

2.1.8.2 กลไกการบำบัดทางเคมี

โดยที่ดินแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติของเนื้อดินแตกต่างกัน ดินเนื้อหยาบ ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคดินประเภทแร่ปฐมภูมิ (primary mineral) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีคล้ายๆ หรือเหมือนกับแร่ประกอบหิน (rock forming mineral) ซึ่งเกือบจะไม่มีปฏิกิริยาเคมี หรือไม่มีเลยก็ว่าได้ ซึ่งนับว่าแตกต่างจากดินเหนียว โดยที่แร่ดินเหนียวจัดว่าเป็นสารคอลลอยดอล และมีปฏิกิริยาเคมีมาก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัดสารต่างๆ

ดินเหนียวบางชนิดสามารถเติมหรือใส่สารเคมีประเภทกรด ด่าง หรือเกลือได้ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบ (form) ของมันเลย ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) นอกจากนี้การแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange) เป็นสมบัติประการสำคัญของดินที่ใช้อธิบายถึงสภาพความเป็นกรด สภาพความเป็นด่างของดิน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการกำจัดสารเคมีในน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่ดิน เช่น ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

2.1.8.3 กลไกการบำบัดทางชีวภาพ

เนื่องจากดินประกอบด้วยจุลินทรีย์ (microorganism) โดยเฉพาะที่บริเวณผิวหน้าหรือชั้นต้นๆของหน้าตัดดิน ดังนั้นการบำบัดทางชีวภาพคือการกระทำเนื่องจากจุลินทรีย์ต่างๆเหล่านั้น เช่น แบคทีเรียที่จะย่อยละลายสารอินทรีย์ต่างๆที่มีในน้ำเสียที่ทิ้งลงสู่ดิน นอกจากนี้ยังมีกระบวนการตรึงไนโตรเจน โดยไนโตรแบคเตอร์ อีกเป็นต้น

2.1.8.4 การกำจัดชีวสารและสารเคมี (removal of biological and chemical constituents)

1) การกำจัดเชื้อโรคไวรัสและแบคทีเรีย

เชื้อไวรัส แบคทีเรีย และเชื้อโรคอื่นๆถูกกำจัดออกจากน้ำเสียได้อย่างรวดเร็วเมื่อน้ำซึมผ่านดิน เชื้อไวรัสมีขนาดเล็กมากและเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเช่นเดียวกับดิน โดยเฉพาะอนุภาคดินเหนียว ดังนั้นเชื้อไวรัสจึงมีโอกาสน้อยมากในการแทรกซึมผ่านดินเป็นระยะ 2.5-5 ซม. ประกอบกับเชื้อไวรัสมีช่วงชีวิต (lifespans) ที่สั้นมากในดิน จึงไม่เป็นปัญหาต่อความสามารถของดินในการรับเชื้อไวรัสที่มีในน้ำเสียที่ปล่อยลงดิน ในกรณีของแบคทีเรียก็เช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่าแบคทีเรียจะมีขนาดใหญ่กว่าไวรัส และปฏิกิริยาต่างๆที่ผิวดินมีผลต่อแบคทีเรียไม่มากนัก

แบคทีเรียสามารถแทรกซึมเข้าสู่ดินได้ แต่ก็เป็นระยะทางไม่เกิน 1 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคดิน และความเร็วของการเคลื่อนที่ในดิน แบคทีเรียมีช่วงชีวิตที่จำกัด ดังนั้นจึงสามารถกำจัดแบคทีเรียได้ดี

สำหรับจุลินทรีย์ (organism) ที่ใช้กันทั่วไปสำหรับเป็นตัวบ่งชี้ (indicator) ถึงมลพิษทางน้ำอันเนื่องมาจากมนุษย์และสัตว์ คือ "Coliform group" Orlob (1956 อ้างถึงใน สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ก็ได้ตั้งสูตรสำหรับการหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างบ่อเกรอะ (septic tank) และน้ำประปา เพื่อการกำจัด coliform bacteria ทั้งนี้เพื่อจะรักษาคุณภาพของน้ำดื่มไว้ สมการนั้นคือ

$$L = 107\,dv$$

เมื่อ L = ระยะทาง (เมตร)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลย์ของดิน (D^{10}) (ซม.)

v = การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน (เมตร/วัน)

และจากการคำนวณโดยใช้สมการนี้ก็สรุปได้ว่า ระยะทางที่ต้องใช้สำหรับการกำจัด coliform สั้นมาก และพอเพียงที่จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายในน้ำที่ใช้อุปโภคบริโภค จึงเป็นอันว่าดินมีความสามารถในการกำจัดแบคทีเรียในน้ำเสียที่จะปล่อยลงสู่ดินได้

2) การกำจัดฟอสฟอรัส

การกำจัดฟอสฟอรัสในดินเกิดขึ้นโดย 2 หลักการ

1) โดยกระบวนการทางจุลชีวะ (microbiological)

2) โดยกระบวนการทางเคมีหรือกายภาพ นั่นคือโดยการตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation) หรือการดูดซึม (sorption)

การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียโดยกระบวนการทางจุลชีวะให้ผลดีในกรณีที่ใช้กระบวนการกำจัดน้ำเสียทาง artificial treatment system เช่นกระบวนการ activated sludge ซึ่งสามารถกำจักฟอสเฟตได้ถึง 90% หรือถ้าใช้ spray irrigation flow ภายใต้เงื่อนไขที่มีอากาศ (aerobic) ก็จะสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ 76% ถึง 93%

Stumn (1962 อ้างถึงใน สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) และ Hsu (1965 อ้างถึงใน สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับ solubility equilibria และ sorption phenomena ไว้ว่ามีประจุโลหะหลายชนิดที่มีผลโดยเฉพาะต่อการตกตะกอนฟอสเฟต (precipitating phosphate) จากสารละลาย และที่สำคัญคือ แคลเซียม , เหล็ก และอลูมิเนียม ซึ่งโลหะทั้ง 3 ชนิดนี้ก็มีปรากฏอยู่ในดิน

ในตารางที่ 2.14 ได้แสดงปฏิกิริยาเคมีของการกำจัดฟอสเฟต ในโรงงานบำบัดน้ำเสียชุมชน (sewage treatment plant)

ตารางที่ 2.14 ปฏิกิริยาเคมีของการกำจัดฟอสเฟต (สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527)

$Fe^{+3} + PO_4^{-3}$	=	$FePO_4$
$3Fe^{+2} + 2PO_4^{-3}$	=	$Fe_3(PO_4)_2$
$Al^{+3} + PO_4^{-3}$	=	$AlPO_4$
$Ca^{+2} + 2H_2PO_4^{-2}$	=	$Ca(H_2PO_4)_2$
$Ca^{+2} + HPO_4^{-2}$	=	$CaHPO_4$
$10Ca^{+2} + 6PO_4^{-3} + 2OH^{-1}$	=	$Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$

ขบวนการทางเคมีในดินก็เช่นเดียวกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในโรงงานกำจัดน้ำเสียดังกล่าว อนุภาคประจุบวก (cation) เช่น แคลเซียม , เหล็ก และอลูมิเนียม มีอยู่ในดินตามธรรมชาติ และมีความสามารถในการตกตะกอนฟอสเฟตในน้ำเสียที่ไหลผ่านดิน ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดนั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอนุภาคประจุบวกเหล่านี้ในดินและพีเอชของดินนั้นด้วย

Hsu (1965 อ้างถึงใน สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับการตรึงสารฟอสฟอรัส (phosphorus fixation) ในดินที่พีเอชต่างๆกันดังนี้ คือ ในดินที่มีสภาพกรด คือมีพีเอชต่ำ เหล็กไฮดรอกไซด์หรืออลูมินัมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยาจับกับไอออนฟอสเฟต หรืออลูมินัมฟอสเฟตทำให้ละลายยากขึ้น แต่ในดินที่มีความเป็นกลางหรือเป็นด่าง คือพีเอชสูงขึ้น เหล็กฟอสเฟตหรืออลูมินัมฟอสเฟตสามารถปลดปล่อยไอออนฟอสเฟตออกมาสู่สารละลายดินได้ ในขณะที่เหล็กหรืออลูมินัมยังคงสภาพเป็นสารที่ไม่ละลายในรูปไฮดรอกไซด์

ในรายงานเรื่อง "The use of the soil mantle as wastewater treatment system" โดย McGauhey and Krone (1967 อ้างถึงใน สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ได้กล่าวว่า "ภายใต้สภาวะปกติของสภาพความเป็นกรดด่างของดิน ฟอสเฟตจะถูกกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพ"

3) การกำจัดไนโตรเจน

การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่ดิน อาศัยกระบวนการทางชีววิทยา โดยการกระทำของจุลินทรีย์ในดิน (microorganism) ภายใต้สภาวะมีอากาศหรือไร้อากาศ organic nitrogen จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย โดยการกระทำของแซโปรไฟติคแบคทีเรีย (Saprophytic bacteria) พวกไนโตรโซโมแนส หรือที่เรียกว่าไนไตรต์ฟอร์มเมอร์ (nitrite formers) สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ ภายใต้สภาวะมีอากาศ ดังสมการข้างล่าง

$$NH_4^+ + 3/2O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- + 2H^+ + H_2O$$

จากนั้นไนไตรท์ก็จะถูกออกซิไดส์โดยไนโตรแบคเตอร์

$$NO_2^- + 1/2O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} NO_3^-$$

ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (anaerobic condition) ไนเตรทและไนไตรท์จะถูกรีดิวส์โดยกระบวนการ denitrification ไนโตรเจนบางส่วนจะถูกรีดิวส์โดยแบคทีเรียไปเป็นก๊าซไนโตรเจน แล้วจะเคลื่อนตัวเข้าสู่บรรยากาศ บางส่วนก็จะถูกรีดิวส์ไปเป็นแอมโมเนีย

นอกจากกระบวนการทางชีววิทยาแล้ว กระบวนการดูดติดผิว (adsorption process) ก็นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการกำจัดไนโตรเจน Preul (1968 อ้างถึงใน สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ได้ทำการศึกษากลไกการทำงานของดินในการกำจัดไนโตรเจนแล้วสรุปว่า

1) ปัจจัยหลักที่สำคัญในการควบคุมการเคลื่อนที่ของไนโตรเจนในดินได้แก่การดูดติดผิวและการกระทำทางชีววิทยา

2) เมื่อไนโตรเจนอยู่ในรูปแอมโมเนียอิออน กระบวนการดูดติดผิวทางกายภาพในดินเป็นกลไกที่สำคัญในการกำจัดไนโตรเจน และเมื่อไนโตรเจนอยู่ในรูปของไนเตรท ภายใต้สภาวะที่พีเอชปกติจะไม่มีการเคลื่อนไหวของไนโตรเจน

ปกติแล้วไนโตรเจนที่มีในน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนจะอยู่ในรูป organic nitrogen และแอมโมเนีย ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของดินโดยการดูดซับและขบวนการทางชีววิทยามีประมาณ 40% ถึง 70%

ที่ Santee แคลิฟอร์เนีย การกำจัดน้ำทิ้งโดยปล่อยลงสู่ดิน พบว่าที่ระยะทางประมาณ 100 เมตร ไนโตรเจนจะถูกกำจัดออกถึง 30% - 40% และการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจะเกิดที่ระยะทางประมาณ 500 เมตร ของการซึมของน้ำในดิน

4) การกำจัดสารอินทรีย์อื่นๆ

การกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่ดินส่วนใหญ่เป็นไปโดยกิจกรรมหรือการกระทำทางชีววิทยาโดยจุลินทรีย์ต่างๆ เช่น แบคทีเรีย รา สาหร่าย หรือโปรโตซัว ซึ่งมีความสามารถในการทำลายอินทรีย์สารนั้นๆ โดยทฤษฎีแล้วสามารถกล่าวได้ว่า ถ้าปริมาณของดินและระยะเวลาในการย่อยสลายไม่มีขีดจำกัดแล้ว เกือบ 100% ของอินทรีย์สารที่สามารถย่อยสลายทางชีววิทยา (biodegradable organic matter) สามารถกำจัดออกไปได้ แต่โดยทั่วไปแล้วปริมาณของอินทรีย์สารในน้ำทิ้งโดยเฉพาะจากแหล่งชุมชนมีไม่มากนัก จึงไม่เป็นปัญหาสำหรับการใช้ระบบซึมลงดินในการกำจัดน้ำเสีย

2.1.9 การอุดตันของดิน (soil clogging)

การกำจัดน้ำเสียโดยใช้ระบบซึมลงดินมีข้อกำหนดที่สำคัญในการตัดสินว่าดินมีความเหมาะสมสำหรับการใช้ระบบหรือไม่ คือ ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านของดิน อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าดินมีความเหมาะสมและมีการใช้ระบบซึมลงดินนั้นไปเรื่อยๆ ดินซึ่งทำหน้าที่กรองหรือกักสิ่งโสโครกต่างๆก็จะมีการอุดตัน (clog) เกิดขึ้นได้ และทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดน้อยลง สาเหตุที่เกิดจากการอุดตันของดินเกิดจากปัจจัยหลายประการ ทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ

2.1.9.1 ปัจจัยทางกายภาพ

ดินที่มีขนาดของเม็ดดินคละกัน จะสามารถอัดแน่นได้ดีกว่าดินที่มีขนาดของเม็ดดินขนาดเดียวกัน สำหรับพวกเม็ดดินที่มีขนาดละเอียดจะเรียงตัวกันเป็นชั้นบางๆตามผิวพื้นดิน และการเรียงตัวของเม็ดดินประเภทนี้จะทำให้เกิดการอุดตัน Orlob และ Krone (1956 อ้างถึงใน

สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) พบว่าการตกตะกอนของอนุภาคที่ละเอียดจะอยู่ในชั้นล่างของพวกที่มีอนุภาคใหญ่ การดูดติดผิวของเม็ดดินและการซึมเข้าตามจุดที่สัมผัสของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าจนเกิดการอุดตัน การอุดตันประเภทนี้จะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาจากนั้น การอุดตันจะเป็นการอุดตันที่ถาวรจนมีผลต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำ จนกระทั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้มวลของดินเกิดการเปลี่ยนแปลงใหม่

การอุดตันที่เกิดขึ้นทางกายภาพที่สำคัญประการหนึ่ง คือ ความหน่วงของความชื้นดินเนื่องจากแรงดันในหลอดเล็ก (capillary force) Winnebeger และคณะ (สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ได้แสดงให้เห็นว่าดินที่มีขนาดเม็ดดินพอเหมาะที่ทำให้แรงตึงผิวและแรงดันในหลอดเล็กสูงสุด จะมีความยาวของแท่งดินสำหรับการระบายน้ำน้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่าแรงดันในหลอดเล็กเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการไหลของน้ำในดิน

2.1.9.2 ปัจจัยทางเคมี

ปฏิกิริยาทางเคมีในดินบางอย่าง โดยเฉพาะ ion exchange ทำให้เกิดการอุดตันขึ้นได้ เช่น การเกิด deflocculation ของดิน เนื่องจากมีความเข้มข้นของโซเดียมสูง โฟร์แมนและคณะ (1945 อ้างถึงใน สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ได้พบว่า ดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่มากจะมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านสูงมากกว่าดินปกติเมื่อเปรียบเทียบโดยปล่อยน้ำที่มีปริมาณโซเดียมต่ำและน้ำที่มีปริมาณโซเดียมอยู่สูงลงไป

2.1.9.3 ปัจจัยทางชีวภาพ

ปัจจัยทางชีวภาพของดินที่ทำให้เกิดการอุดตันขึ้นกับคุณสมบัติของอินทรีย์สารในน้ำเสียและสภาวะแวดล้อมของดิน โดยทั่วไปแล้วการอุดตันเนื่องมาจากปัจจัยทางชีวภาพจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวหน้าดินหรือชั้นตื้นๆของดิน ซึ่งการอุดตันที่ผิวดินนี้ยังเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุอีก 2 ประการ คือ

1) การลดลงของขนาดช่องว่าง เนื่องจากการทับถมของตะกอนแขวนลอยของอินทรีย์สาร

2) การลดลงของขนาดช่องว่าง เนื่องจากการเจริญของแบคทีเรียตามบริเวณช่องว่างที่มีตะกอนถูกกักอยู่

ช่องว่างที่ถูกอุดตันหรือขนาดเล็กลงจากสาเหตุข้างต้นนี้ สามารถเปิดขึ้นได้ใหม่ โดยการย่อยสลายของอินทรีย์สารโดยแบคทีเรีย และการตายของแบคทีเรีย เนื่องจากอาหารน้อยลง หรือในช่วงที่ดินแห้ง

2.1.10 การแก้ไขการอุดตันของดิน

การปรับปรุงหรือแก้ไขการอุดตันของดิน เพื่อให้ดินมีความสามารถในการซึมน้ำดีขึ้นเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับการใช้ระบบซึมลงดินในการกำจัดน้ำเสีย Winneberger และคณะ (1961-1965 อ้างถึงใน สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์, 2527) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าถึงข้อบกพร่องของระบบและการแก้ไขปรับปรุงอันเนื่องมาจากการอุดตัน แล้วได้ให้คำแนะนำไว้หลายประการดังนี้

1) การทดสอบดินและการก่อสร้างจำเป็นต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง ป้องกันไม่ให้เกิดการบดอัดหรือทำลายสภาพของดิน

2) ในกรณีที่การทำให้ระบบแห้งทำได้ยาก ก็จำเป็นต้องใช้การระบายน้ำของดินช่วยเพื่อที่จะคงสภาพแอโรบิกไว้

3) การปล่อยน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบลงดินทางด้านข้างหรือขนานไปกับพื้นจะดีกว่าการปล่อยทิ้งลงในแนวดิ่ง

การใช้สารช่วยก่อตะกอนจะช่วยลดปริมาณตะกอนแขวนลอย , COD , สารสังเคราะห์ และความเข้มข้นเนื่องจากสารอื่นๆในน้ำทิ้ง ทำให้การอุดตันลดน้อยลงและการทำงานของระบบมีช่วงเวลามากขึ้น

2.1.11 ระบบระเหย (evaporation system)

การกำจัดน้ำเสียโดยการระเหย เป็นวิธีการกำจัดน้ำเสียวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เมื่อน้ำเสียไม่สามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำผิวดินได้ และไม่สามารถกำจัดได้ด้วยการปล่อยซึมลงดินในบางกรณี ซึ่งระบบระเหยนี้มีด้วยกันหลายประเภท คือ

2.1.11.1 evapotranspiration beds

1) evapotranspiration system (ET)

ระบบนี้เป็นระบบกำจัดน้ำเสียที่ทำโดยการระเหยน้ำเสียสู่บรรยากาศ จะไม่มีการซึมของน้ำเสียลงสู่ดิน ซึ่งระบบนี้จะทำการขุดดินออกไป แล้วเอาทรายมาปูรองพื้น แล้ววางแผ่นพลาสติกกันซึมทับ จากนั้นจะวางท่อกระจายน้ำเสียซึ่งเราจะเอากรวดมาถมรอบๆเส้นท่อเพื่อช่วยในการกระจายน้ำเสีย แล้วถมด้วยทรายทับอีกชั้น ซึ่งที่ผิวหน้าของระบบนี้จะถมทับด้วยดินเดิม แล้วทำการปลูกพืชคลุมไว้ ซึ่งน้ำเสียจะเข้าสู่ระบบทางท่อกระจายน้ำเสีย แล้วจะไหลขึ้นผ่านรูพรุนของดินและทรายขึ้นไปโดยอาศัยแรงดัน capillary แล้วน้ำเสียก็จะระเหยสู่บรรยากาศ และส่วนหนึ่งก็จะถูกรากของพืชดูดซึมน้ำไว้โดยราก แล้วก็จะระเหยสู่บรรยากาศทางใบพืช ระบบ ET นี้จะใช้ได้ในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง และดินไม่ค่อยซึมน้ำ โดยที่ปริมาณน้ำเสียประมาณ 71 % จะถูกกำจัดไปโดยกระแสลมเหนือระบบ ส่วนปริมาณน้ำเสียอีก 21 % จะถูกกำจัดโดยพลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งระบบนี้จะใช้ในกรณีที่ไม่สามารถปล่อยน้ำเสียทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และไม่สามารถให้น้ำเสียซึมลงดินได้

ซึ่งระบบกำจัดน้ำเสียระบบ evapotranspiration system นี้จะต้องพิจารณาองค์ประกอบหลายๆด้านด้วย ซึ่งได้แก่

- ค่า evaporation rate

เป็นค่าอัตราการระเหยของน้ำ ซึ่งจะต้องมีค่ามากกว่าค่า precipitation rate จึงจะทำให้สามารถสร้างระบบ evapotranspiration system ได้

- ค่า precipitation rate

เป็นค่าอัตราน้ำที่ตกลงมาเข้าสู่ระบบ evapotranspiration system ซึ่งส่วนมากจะเป็นปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา

- ค่า salt concentrations

เป็นปริมาณสะสมของตะกอนเกลือ ซึ่งเกิดจากการที่น้ำระเหยไป เหลือแต่ตะกอนของสารต่างๆ ซึ่งจะมีมากในบริเวณผิวดิน แต่ตะกอนต่างๆนี้จะกระจายตัวอีกครั้งลงสู่ดินในฤดูฝน เนื่องจากมีน้ำฝนมาช่วยกระจายและชะล้างตะกอนต่างๆให้กระจายไป ซึ่งค่า salt concentrations นี้จะไม่ค่อยมีผลกระทบต่อระบบ evapotranspiration system

- temperature

เป็นค่าอุณหภูมิของอากาศที่มีผลต่อระบบการระเหยมากที่สุด ถ้าอุณหภูมิสูง การระเหยก็จะมีมากกว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

- relative humidity

เป็นค่าความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศมีผลต่อการระเหยรองลงมาจากค่า temperature ถ้าในบรรยากาศมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูง การระเหยก็จะเกิดขึ้นน้อยกว่าในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า

- solar radiation

เป็นค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีผลต่อการระเหยน้อยกว่าค่า Relative Humidity

- wind speed

เป็นค่าความเร็วลมในบรรยากาศ ซึ่งจะมีผลต่อการระเหยน้อยที่สุด

- ชนิดของพืชที่ปลูกคลุมผิวดิน

พืชที่จะปลูกคลุมผิวดินนั้นจะต้องมีลักษณะพิเศษ คือ ต้องสามารถทนต่อสภาพน้ำท่วมขังได้ เนื่องจากบางกรณีในช่วงฤดูฝนอาจจำเป็นต้องมีน้ำขังอยู่ในระบบเป็นบางเวลา และรากของพืชจะต้องไม่มีความยาวมากเกินไป เพราะรากของพืชอาจจะไปรบกวนระบบได้

2) evapotranspiration/absorption (ETA)

ระบบนี้จะคล้ายๆกับระบบ ET แต่จะต่างกันตรงที่จะให้น้ำเสียบางส่วนซึมลงดิน โดยระบบนี้จะไม่ใช้แผ่นพลาสติกปูรองที่ก้นหลุม

2.1.11.2 lagoon

เป็นระบบที่ใช้บ่อน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ระบบนี้ใช้ในกรณีที่มีพื้นที่มากเพียงพอ เพราะใช้พื้นที่มาก

2.1.11.3 mechanical

ระบบนี้จะใช้เครื่องจักรกลในการระเหยน้ำเสีย โดยใช้ความร้อนจากเครื่องทำความร้อน

2.1.12 การระเหย

การระเหย (evaporation) คือ การเปลี่ยนสถานะของน้ำจากของเหลวหรือของแข็งไปเป็นสถานะก๊าซ และแพร่สู่บรรยากาศ

2.1.12.1 กลไกการระเหย

ถ้าขยายหยดน้ำเล็กๆให้ใหญ่ขึ้น จะเห็นว่าโมเลกุลเหล่านั้นไม่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเดียวกันทั้งหมด บางโมเลกุลจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าโมเลกุลอื่น พลังงานที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่นี้เรียกว่า พลังงานจลน์ (kinetic energy) อุณหภูมิของน้ำหรือสสารต่างๆก็เป็นการวัดพลังงานจลน์เฉลี่ยของสารนั้น หรือกล่าวได้ว่าอุณหภูมิคือค่าความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุล ถ้าเพิ่มพลังงานให้กับน้ำ โมเลกุลของน้ำก็จะเคลื่อนที่เร็วขึ้น และอุณหภูมิก็จะสูงขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าเอาพลังงานออก โมเลกุลก็จะเคลื่อนที่ช้าลงและอุณหภูมิก็ลดลง

กระบวนการการเคลื่อนที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องที่ผิวน้ำ โมเลกุลที่มีความเร็วพอเพียงและเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่เหมาะสมจะหลุดออกจากผิวของเหลวเข้าสู่บรรยากาศ โมเลกุลเหล่านี้เปลี่ยนจากสถานะของเหลวไปเป็นไอในกระบวนการที่เรียกว่า “การระเหย” ขณะที่มีบางโมเลกุลหลุดออกจากของเหลวก็มีส่วนที่กลับเข้ามาจากสถานะไอเป็นของเหลว เรียกกระบวนการนี้ว่า “การควบแน่น” ดังนั้นที่ผิวของเหลวจะพบว่ามีทั้งโมเลกุลที่ระเหยไป (หนีออกไป) และที่ควบแน่น(กลับเข้ามา)

2.1.12.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการระเหย

การระเหยจะเกิดขึ้นได้จะต้องมีปัจจัยต่อไปนี้

1) มีแหล่งน้ำ

2) มีแหล่งความร้อน ซึ่งอาจมาจาก

- พลังงานแสงอาทิตย์ , R_C
- จากกระแสอากาศ , H
- จากพื้นดิน , G
- จากพื้นน้ำ , R_S

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) มีผลต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ผิวน้ำกับความดันไอน้ำในบรรยากาศเป็นบวก ($e_s - e_d > 0$)

2.1.12.3 องค์ประกอบที่ควบคุมการระเหยของน้ำ

อัตราการระเหยของน้ำขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่อไปนี้

1) องค์ประกอบทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่

- รังสีดวงอาทิตย์ แปรตามละติจูด ฤดูกาล เวลาของวัน และ สภาพของท้องฟ้า

- ความดันไอน้ำ อัตราการระเหยของน้ำแปรตามค่าผลต่างระหว่างความดันไอน้ำของน้ำกับความดันไอน้ำของอากาศเหนือผิวน้ำดังสมการของดาลตัน

$$E = f(u)(e_s - e_d)$$

โดยที่ E = ค่าอัตราการระเหย

$f(u)$ = ฟังก์ชันความเร็วลม

e_s = ความดันไอน้ำที่ผิวน้ำ

e_d = ความดันไอน้ำในบรรยากาศ ณ ความสูงหนึ่ง

ถ้าผลต่างของความดันไอน้ำมีค่าเป็นบวก การระเหยของน้ำจะเกิดขึ้นจนกระทั่งค่าผลต่างของไอน้ำมีค่าเป็นศูนย์การระเหยของน้ำก็จะหยุดลง

- อุณหภูมิของอากาศ เมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูง โมเลกุลของไอน้ำในอากาศก็จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เมื่อไอน้ำชนกับอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศก็จะเป็น การชนแบบสะท้อนกลับ แต่เมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่ำ โมเลกุลของไอน้ำจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ เมื่อไอน้ำชนกับอนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศก็จะเป็นการชนแบบเกาะติด ทำให้อนุภาคในอากาศมีขนาดและมวลเพิ่มขึ้น เมื่อเกิดการชนขึ้นหลายครั้งก็จะกลายเป็นละอองน้ำขนาดเล็กที่ลอยอยู่ในอากาศและตกลงสู่ผิวน้ำในที่สุดเมื่อมีมวลมากพอ ดังนั้นการที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำ โอกาสที่โมเลกุลของน้ำในบรรยากาศจะกลับลงสู่พื้นน้ำจะมีมากขึ้น ทำให้อัตราการระเหยต่ำกว่าเมื่ออากาศมีอุณหภูมิสูง

- ลม ดังสมการของดาลตัน อัตราการระเหยแปรผันตรงกับฟังก์ชันของความเร็วลม โดยที่ลมจะทำให้เกิดความแปรปรวนของกระแสอากาศเหนือผิวน้ำ จึงเกิดการพาไอน้ำที่อยู่บริเวณผิวน้ำออกไปสู่บรรยากาศเร็วขึ้น ทำให้ความดันไอน้ำในบรรยากาศลดต่ำลง โมเลกุลของน้ำที่ผิวน้ำจึงมีโอกาสจะหลุดเข้าสู่บรรยากาศมากขึ้น นอกจากนั้นลมยังช่วยในการถ่ายเทพลังงานให้กับโมเลกุลของน้ำที่ผิวน้ำอีกด้วย

- ความกดของบรรยากาศ ในบริเวณที่มีความกดอากาศสูงจะมีโมเลกุลของอากาศอยู่หนาแน่น ทำให้โอกาสที่โมเลกุลของน้ำที่หลุดเข้าสู่บรรยากาศจะชนกับโมเลกุลของอากาศและกลับเข้าสู่พื้นน้ำมากขึ้น

2) คุณภาพของน้ำ

น้ำที่ถูกเจือปนจะมีความดันไอของน้ำนั้นลดลง เป็นผลให้การระเหยลดต่ำลง นอกจากนั้นความขุ่นและสีของน้ำเจือปนยังมีผลต่อการดูดกลืนและการสะท้อนพลังงานความร้อน ทำให้พลังงานและอุณหภูมิของแหล่งน้ำนั้นเปลี่ยนแปลงไป อัตราการระเหยจึงเปลี่ยนไป

2.1.12.4 การคำนวณหาค่าการระเหยของน้ำ

การหาค่าน้ำระเหยไม่สามารถวัดได้โดยตรง ต้องหาโดยการคำนวณจากสมการต่างๆ ดังนี้

1) วิธีสมดุลของน้ำ

อาศัยหลักสมดุลน้ำ

น้ำเข้า = น้ำออก

$$I + P + \Delta S = O + O_g + E$$

โดยที่ E = ค่าน้ำระเหย

ΔS = การเปลี่ยนแปลงน้ำในการกักเก็บน้ำ

I = น้ำไหลเข้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

P = น้ำฝน

O = น้ำไหลออก

O_g = น้ำซึมออก

ในทางปฏิบัติมีข้อผิดพลาดในการวัดปริมาณน้ำไหลเข้า-ออก และมีการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำกักเก็บมาก ทำให้ได้ค่าการระเหยของน้ำที่ผิดพลาดและเวลาที่ใช้ในการหาน้ำระเหยควรจะใช้เวลานานพอที่จะทำให้ค่าการระเหยมีมากเมื่อเทียบกับเทอมอื่นๆ

2) วิธีสมดุลของพลังงาน

อาศัยหลักการของกฎทรงพลังงานได้สมการ

$$R_n = H + G + LE + R_s + R_p + R_i$$

โดยที่ R_n = ปริมาณรังสีรวมที่ผิวน้ำได้รับ

$= R_c(1 - r) - R_b$

R_c = ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์

r = อัตราการสะท้อนรังสีที่บรรยากาศ

R_b = ปริมาณรังสีที่สะท้อนกลับ ณ ผิวน้ำ

H = ความร้อนที่ถ่ายเทจากอากาศสู่ผิวน้ำ หรือในทิศทางตรงข้าม

G = ความร้อนที่เข้าสู่พื้นดิน

LE = ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนของเหลวให้กลายเป็นไอ โดยที่ L เป็นความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ และ E เป็นค่าการระเหย

R_s = ความร้อนที่เก็บอยู่ในน้ำ

R_p = ความร้อนที่เปลี่ยนเป็นพลังงานเคมีในกระบวนการสังเคราะห์แสง

R_i = ความร้อนที่เข้าหรือออกจากระบบโดยการไหลเข้าหรือออกจากน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่า R_p ไม่ค่อยนำมาใช้เนื่องจากมักมีค่าต่ำกว่า 1% ค่า R_s และ R_i สามารถหาได้อุณหภูมิและปริมาตรของน้ำ ค่า G อาจนำมาคิดรวมกับ R_s ได้ ดังนั้นจึงแปรรูปสมการใหม่โดยใช้ค่า R แทนค่า $R_n - G - R_s - R_i$ และตัด R_p ออกจากสมการ จะได้

$$R = H + LE$$

กำหนดอัตราส่วนของโบเวนไว้ดังนี้

$$\beta = \frac{H}{LE}$$

$$\beta = \frac{\rho C_p K_H \partial T/\partial z}{\rho L K_w \partial q/\partial z}$$

$$\beta = \frac{\gamma \Delta T}{\Delta q}$$

และจากสมการข้างบนจะได้

$$E = \frac{R}{L + (1 + \beta)}$$

$$E = \frac{R \quad 1}{L \quad [1 + \gamma(T_s - T_a)/(e_s - e_d)]}$$

โดยที่ C_p = ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ

T_s = อุณหภูมิที่ผิวน้ำ

T_a = อุณหภูมิอากาศ

e_s = ความดันไอน้ำที่ผิวน้ำ

e_d = ความดันไอน้ำจริงที่บรรยากาศ

K_H = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

K_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทไอน้ำ

q = ความชื้นจำเพาะ

3) วิธีอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic approach)

อาศัยสมการของดาลตัน

$$E = f(u)(e_s - e_d)$$

ซึ่ง f(u) เป็นฟังก์ชันของความเร็วลมที่อยู่ในรูป a (1 + bu) โดยที่ a และ b เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความสูงที่วัด e_d และ u และขึ้นอยู่กับธรรมชาติของผิวน้ำระเหย

ทฤษฎีพื้นฐานของสมการคือการถ่ายเทไอน้ำจากผิวน้ำไปสู่บรรยากาศทำให้เกิดกระบวนการแปรปรวนซึ่งสามารถหาได้ในรูปของความเร็วลมและความดันไอน้ำ แล้วจึงแปลงเป็นค่าอัตราการระเหยดังความสัมพันธ์ในสมการของดาลตัน

4) วิธีผสมระหว่างอากาศพลศาสตร์และสมการสมดุลพลังงาน

จะได้

$$E = \frac{R\Delta/L + E_a\gamma}{\Delta + \gamma}$$

โดยที่ E = $f(u)(e_a - e_d)$

e_a = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่บรรยากาศ

และ $\Delta = \frac{e_s - e_a}{T_s - T_a}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.13 สีและการดูดแสง

วัตถุที่มีสีดำและสีเข้มสามารถดูดแสงและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้ดี ในขณะที่วัตถุที่มีสีขาวและสีอื่นจะดูดแสงและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนได้น้อยกว่าเนื่องจากเกิดการสะท้อนที่ผิววัตถุได้มากกว่า

2.1.14 สมการการระเหย

ในการทดลองนี้ต้องนำข้อมูลการระเหยและสภาพอากาศที่วัดได้มาหาความสัมพันธ์ในรูปของสมการ เพื่อนำไปใช้ประมาณค่าการระเหยที่เกิดขึ้น ณ สภาพอากาศต่างๆในช่วงเดือนต่างๆของปี โดยปัจจัยที่จำกัดค่าการระเหยคือผลต่างของความดันไอน้ำอิ่มตัวกับความดันไอน้ำในบรรยากาศ $(e_a - e_d)$

ดังนั้นค่าการระเหยที่ได้อยู่ในรูป

$$E = k(e_a - e_d)^d$$

เมื่อ k เป็นค่าจากปัจจัยอื่นๆและ d เป็นค่าคงที่

ปัจจัยอื่นที่ทำให้เกิดการระเหยคือ

1) การถ่ายเทมวลสารจากน้ำสู่บรรยากาศโดยไม่ขึ้นกับลมและแสงอาทิตย์ ซึ่งสมมุติเป็น a

2) การถ่ายเทพลังงานจากลมสู่ผิวน้ำ และการพัดพาไอน้ำเหนือผิวน้ำซึ่งเป็นการลดความดันไอน้ำเหนือผิวน้ำ สมมุติเป็น bU โดยที่ U คือความเร็วลม

3) การถ่ายเทพลังงานจากแสงอาทิตย์สู่ผิวน้ำ สมมุติเป็น cR โดยที่ R คือค่าพลังงานแสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่

เมื่อค่า k เป็นผลรวมของปัจจัยทั้ง 3 ดังนั้น

$$k = a + bU + cR$$

จึงได้รูปสมการการระเหยเป็น

$$E = (a + bU + cR)(e_a - e_d)^d$$

ซึ่งมีรูปแบบคล้ายกับสมการของดาลตัน

2.1.15 ระบบระบายลงสู่แหล่งน้ำ (discharge to surface waters)

การกำจัดน้ำเสียโดยการระบายลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน เป็นวิธีการกำจัดน้ำเสียวิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เมื่อน้ำเสียไม่สามารถกำจัดได้ด้วยการปล่อยซึมลงดิน น้ำเสียที่จะกำจัดด้วยวิธีระบายลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน จะต้องผ่านการบำบัดมาแล้วอย่างดีหรือมีคุณภาพน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กำหนดไว้เสียก่อน

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมศักดิ์ พิทักษานุรัตน์ (2527) ได้ทำการศึกษาลักษณะดินเพื่อใช้ในระบบการซึมลงดินในการกำจัดน้ำเสีย โดยได้ทำการทดลองการทดสอบหาอัตราการซึมน้ำ (percolation test) เพื่อหาอัตรา การซึมน้ำของดินแต่ละประเภท ซึ่งทำการทดสอบหาค่าอัตราการซึมน้ำของดินในพื้นที่ต่างกัน 3 แห่ง ซึ่งจะได้ข้อมูลอัตราการซึมน้ำ (percolation rate) 3 ค่า สำหรับดินแต่ละประเภท โดยในแต่ละพื้นที่ทำการเตรียมหลุมทดสอบ 6 หลุม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ลึก 70 เซนติเมตร ใส่กรวดหนาประมาณ 5 เซนติเมตรที่ก้นหลุมและทำการวัดอัตราการซึมแต่ละหลุม 3 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ยกัน ได้ผลการทดลองสรุปลักษณะดินได้ 3 ประเภท คือ ดินเหนียว ดินร่วน และดินทราย ดินที่ไม่เหมาะแก่การใช้ระบบซึมลงดิน คือ ดินเหนียว และดินทราย เนื่องจากดินเหนียวนั้นไม่ค่อยจะซึมน้ำ ส่วนดินทรายจะซึมน้ำเร็วเกินไปที่จะช่วยกรองของเสียในน้ำเสียได้ก่อนที่จะซึมถึงน้ำใต้ดิน

สุประพล วัตตะสิริชัย (2542) ได้ทำการศึกษาการวัดอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ สามารถนำมาใช้คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณจัดสรรน้ำของโครงการชลประทาน จึงได้ทำการศึกษาวิธีการพยากรณ์อัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ โดยใช้พื้นที่บริเวณลุ่มน้ำมูลตอนบนเป็นกรณีศึกษา จากการศึกษาวิธีพยากรณ์อัตราการระเหยรายสัปดาห์โดยวิธีการทางสโตคลาสติคในรูปแบบของแบบจำลอง autoregressive (AR) ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง AR ลำดับที่ 2 ที่มีพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลามีความเหมาะสมที่จะใช้ในการพยากรณ์ได้ดี โดยจากการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยระหว่างค่าอัตราการระเหยจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยค่าสถิติ Z-test จำนวน 20 ชุดข้อมูล พบว่ายอมรับผลการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จำนวน 17 ชุดข้อมูล และยอมรับผลการพยากรณ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.025 , 0.01 , 0.005 จำนวน 3 ชุดข้อมูลตามลำดับ และเมื่อทำการทดสอบการพยากรณ์ข้อมูลในระยะสั้น (1 สัปดาห์ล่วงหน้า) พบว่าค่าพยากรณ์ใกล้เคียงค่าจริงกว่าการพยากรณ์ในระยะยาว (1 ฤดูกาลล่วงหน้า) ในขณะเดียวกันได้ทำการศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยแบบ เอ (Kp) กับค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการแปลงอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ เป็นอัตราการระเหยจากอ่างเก็บน้ำ (Kress) ซึ่งผลการทดลองวัดค่าปริมาณการใช้น้ำของหญ้าเทียบกับอัตราการระเหยจากถาดพบว่าค่า Kp มีค่าอยู่ระหว่าง 0.60 ถึง 0.97 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.78 (r = 0.28) หรือ Etp = 0.2237Epan + 2.8098 (r = 0.84) และผลจากการทดลองวัดค่า Kress พบว่า Kress มีค่าเท่ากับ 0.78 (r = 0.89) หรือ Eres = 0.9116Epan – 0.7098 (r = 0.98)

Edwin R. Bennett และ K. Daniel Linstedt (1978) ได้ทำการศึกษาการกำจัดน้ำเสียโดยวิธี Evaporation-Transpiration โดยได้ทำการทดลองในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำการทดลองศึกษาการกำจัดน้ำเสียโดยระบบ evapotranspiration system ที่ใช้ธรรมชาติและใช้เครื่องจักรกล และมีการทำ lysimeters เพื่อหาผลกระทบในการออกแบบและดำเนินการระบบ โดยใช้พารามิเตอร์ต่างๆ

Somchai Juntharasri (1977) ได้ทำการศึกษา ค่าpotential evapotranspiration (PET) ซึ่งคำนวณมาจากสมการของ Penman, Ivanov , Papadakis , Jensen-Haise , Christiansen-Hargreaves , Truc , Thornwaite และ Blaney-Criddle ซึ่งอ้างอิงจากค่า mean monthly meteorological data สำหรับ 16 สถานีของกรมอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทยในช่วงปี ค.ศ.1965-1975 การคำนวณค่า PET ของแต่ละสถานีและพื้นที่นั้นจะเกี่ยวข้องกับการวัดค่า pan evaporation โดยวิธี U.S. Class-A โดยใช้สมการถดถอยในช่วงอากาศเปียก (เมษายน-กรกฎาคม) ช่วงอากาศแห้ง (ตุลาคม-มีนาคม) และตลอดทั้งปี (มกราคม-ธันวาคม) จากสมการถดถอยนี้แสดงให้เห็นว่าการคำนวณค่า PET จากสมการของ Penman จะให้ค่า correlation coefficient สูงสุด และค่า standard error ต่ำสุดในการ

ประมาณค่า การศึกษาในครั้งนี้จะใช้ความสัมพันธ์ของสมการของ Penman สำหรับการหาค่า pan evaporation โดยวิธี U.S. Class-A สำหรับพื้นที่ใกล้สถานีในการศึกษา การคำนวณค่า PET โดยสมการของ Penman นี้จะใช้ในการออกแบบระบบ irrigation ในระดับท้องถิ่น

Muhammad Arif (1987) ได้ทำการศึกษาหาว่าการประมาณค่า reference crop evapotranspiration วิธีใดมีความถูกต้องมากที่สุดจากหลายๆวิธีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ในการศึกษานี้จะพิจารณา 5 วิธีการประมาณค่า ETo ซึ่งจะใช้ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาของประเทศไทยในช่วงเวลา 10 ปี (ค.ศ. 1974-1983) จากการศึกษานี้พบว่าวิธีของ Penman จะให้ค่า ETo ที่ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด โดยพิจารณาถึงสภาพภูมิอากาศต่างๆด้วย และการศึกษานี้พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในประเทศไทยน้อยมาก แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมมาก ซึ่งแต่ละวิธีก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในพื้นที่นั้นๆว่าเหมาะสมจะใช้วิธีใดในการประมาณค่า ETo

Qurban Hussain (1985) ได้ทำการศึกษาที่จะพยายามหาวิธีที่สะดวกที่สุดในการประมาณค่า reference crop evapotranspiration (ETo) โดยคำนึงถึงข้อมูลเกี่ยวกับภูมิอากาศ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อประเทศไทย ซึ่งวิธีการต่างๆในการหาค่า ETo จะถูกเปรียบเทียบกับค่า observed ETo ซึ่งได้มาจากอัตราส่วนระหว่าง crop evapotranspiration (ETc) กับค่า crop coefficient (Kc) การประมาณค่าโดยจะต่างกันในกรณีที่ค่า ETo observed ได้มาต่างกัน ซึ่งวิธีที่เหมาะสมนั้นก็จะตรวจดูจากความเกี่ยวข้องของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ซึ่งไม่มีความเกี่ยวข้องกัน จากการศึกษาพบว่าการประมาณค่า ETo โดยวิธีต่างๆจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่วิธีของ Penman จะดีที่สุดสำหรับพื้นที่ต่ำ แต่สำหรับที่สูงนั้นการใช้วิธี Pan evaporation จะดีที่สุดในการประมาณค่า ETo ซึ่งค่า ETo นี้จะขึ้นอยู่กับค่าต่างๆทางภูมิอากาศด้วย

Frederik Jones Syaranamual (1986) ได้ทำการศึกษาที่พยายามจะหาวิธีที่จะประมาณค่า reference crop evapotranspiration ETo (4 วิธีของ FAOและวิธีของ Jensen-Haise) ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบกับค่า ETo ซึ่งประมาณค่าโดยวิธีของ Penman ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้กันและเชื่อถือได้ว่าเป็นการประมาณค่า ETo ที่ดีที่สุด การศึกษานี้ได้แสดงว่าประเทศไทยถูกแบ่งออกเป็น 5 บริเวณตามลักษณะของการประมาณค่า ETo โดยวิธีของ Penman และ การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนซึ่งข้อมูลได้มาจากการติดตามของ 20 สถานี การประมาณค่า ETo โดยวิธี pan evaporation และวิธีของ Jensen-Haise นั้นจะได้ผลดีที่สุดในช่วงฤดูร้อน วิธี Radiation และวิธีของ Jensen-Haise จะได้ผลดีที่สุดในช่วงฤดูฝน วิธี radiation และวิธีของ Jensen-Haise จะมีสอดคล้องกับวิธีของ Penman วิธี Radiation จะให้ค่า ETo ที่ใกล้เคียงมากที่สุดสำหรับทุกพื้นที่ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝน

Sanga Sabhasri และคณะ (1968) ได้ทำการศึกษาประมาณค่า evaporation rate และค่า transpiration rate โดยทำการทดลองที่จังหวัดนครราชสีมา เพื่อประมาณค่า evaporation rate ในเวลาต่างๆ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ช่วงกลางคืนจะไม่มีการระเหยน้ำเกิดขึ้น แต่สำหรับการหาค่า transpiration rate ของพืชนั้น มีการเกิดขึ้นตลอดทั้งวัน การศึกษานี้ได้กล่าวถึงการหาค่า evaporation rate และ ค่า transpiration rate ไว้ด้วย และเป็นการข้อมูลเบื้องต้นที่จะช่วยในการศึกษาการระเหยน้ำได้เข้าใจยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย