บทที่ 2

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของการกำจัดเหล็กในน้ำโดยทั่วไป

ในปี ค.ศ. 1969 Oldham กับ Gloyna[26] ได้กล่าวว่า เริ่มแรกของความสนใจในการกำจัดเหล็กได้กระทำมาตั้งแต่ใกล้ปี ค.ศ. 1850 เมื่อมีการศึกษาเกี่ยวกับเหล็กที่ละลายในน้ำได้ ทำให้การกำจัดเหล็กได้รับว่ามีความสำคัญขึ้นมา

ในปี ค.ศ. 1909 Weston[36] ได้กล่าวถึงความยุ่งยากซึ่งอาจจะพบในการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล เขาได้แบ่งชนิดของเหล็กในน้ำเป็น 2 พวก พวกหนึ่งจะเริ่มตกตะกอนเหล็กได้ทันทีภายหลังจากการผ่านการเติมอากาศ และอีกพวกหนึ่งไม่ยอมตกตะกอนเหล็กเลย ภายหลังจากการผ่านการเติมอากาศ เขาเชื่อว่า การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลในส่วนที่กระทำได้ยากนั้น สืบเนื่องมาจาก สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำรวมตัวกับเหล็ก และในขณะเดียวกัน ก็ป้องกันไม่ให้เหล็กรวมตัวกันเองแล้วตกตะกอน

ในปี ค.ศ. 1932 Fricks[14] ได้พบว่า ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสในชั้นทราย ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส ออกไซด์ของเหล็กและแมงกานีสที่เคลือบรอบ ๆ เมล็ดทราย สามารถล้างออกได้โดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 % นานประมาณ 6 - 12 ชั่วโมง จากนั้น จึงทำการล้างทรายโดยการล้างแบบไหลกลับ

ในปี ค.ศ. 1942 Moore กับ Snow[25] ได้บันทึกในรายงานไว้ว่า การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลสามารถกระทำได้โดยใช้ถังตกตะกอนที่มีชั้นตะกอน (sludge blanket) ชั้นตะกอนในถังตกตะกอนเกิดมาจากการรวมตัวของบรรดาตะกอน ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง สารละลายด่างทับทิม และเฟอร์รัสซัลเฟต ที่ pH 7.0 - 9.0 เขาได้กล่าวว่า ระยะเวลาการทำงานของชั้นตะกอน ไม่ควรเกิน 15 - 30 นาที กับควรมีค่าความเข้มข้นของตะกอน ประมาณ 600 - 700 ก./ม.^{3}

ในปี ค.ศ. 1950 Babcock[6] ได้พบว่า ในถังตะกอนแบบไหลขึ้นชั้นตะกอนซึ่งอยู่บริเวณส่วนบนของถัง ทำหน้าที่คล้าย ๆ ตัวกรอง และสามารถกรองตะกอนเหล็กได้ดี

ในปี ค.ศ. 1950 Brown[9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลด้วยการใช้เครื่องเติมอากาศ ตามด้วยถังตกตะกอนและถังกรอง จากการทดลองพบว่าน้ำที่ผ่านการกรองแล้วมีเหล็กเหลืออยู่ประมาณ 1.1 ก./ม.^{3} และเขาได้ทดลองต่อไปโดยใช้เครื่องมือแบบเดิม แต่มีการจ่ายน้ำยาคลอรีนเข้าไปยังน้ำที่ผ่านการเติมอากาศแล้ว ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่า น้ำที่ผ่านการกรองแล้ว จะพบว่ามีเหล็กเหลืออยู่ประมาณ 0.67 ก./ม.^{3}

ในปี ค.ศ. 1960 Mc. Cracken[22] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสี และเหล็กในห้องทดลอง โดยการทำ Jar test และใช้แบบทดลอง แบบทดลองของเขาประกอบด้วยหน่วยต่าง ๆ ที่สำคัญ 5 หน่วย คือ

(1) เครื่องวัดอัตราการไหล

(2) เครื่องจ่ายน้ำยา

(3) ถังสมานตะกอน

(4) ถังตกตะกอน และ

(5) ถังกรอง

ผลจากการทำ Jar test ชี้ให้เห็นว่า ปริมาณสารส้มประมาณ 51 ก./ม.^{3} จะทำให้เกิดการสมานตะกอนได้ดี ค่าของสีวัดได้ต่ำกว่า 20 ยูนิต และความเข้มข้นของเหล็กวัดได้ต่ำกว่า 0.3 ก./ม.^{3} ส่วนปริมาณสารส้มที่มากกว่า 51 ก./ม.^{3} จะไม่ทำให้สีลดน้อยลง เพียงแต่ช่วยให้ค่า pH สูงขึ้น และในขณะเดียวกันกลับให้ปริมาณเหล็กตกค้างเพิ่มขึ้น แต่เมื่อนำผลที่ได้จากการทำ Jar test มาใช้ในแบบทดลอง ปรากฏว่าได้ผลไม่ดี ไม่สามารถกำจัดเหล็กได้ดีเท่ากับการทำ Jar test

โดยการใช้คลอรีน เป็นตัวออกซิไดส์ และใช้ปูนขาวเป็นตัวปรับ pH เขาพบว่า น้ำที่กรองแล้วมีปริมาณเหล็กเหลืออยู่ประมาณ 0.05 ก./ม.^{3} และมีค่า pH สูง เมื่อใช้ปริมาณคลอรีน 9 ก./ม.^{3} และปูนขาว 22 ก./ม.^{3}

คลอรีน และไฮโปคลอไรต์ เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ และใช้ในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสที่ละลายในน้ำให้เป็นเหล็กเฟอร์ริคที่ไม่ละลายน้ำ จากสโตอิคิโอเมตรี 1 ก./ม.^{3} ของคลอรีน จะออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสได้ 1.6 ก./ม.^{3} อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติมักจะใช้ปริมาณคลอรีนจำนวนมากกว่าทางทฤษฎี Mathews[21] (1947) ได้บันทึกในรายงานไว้ว่า การกำจัดเหล็กสามารถทำได้โดยการใช้คลอรีนเหลืออิสระที่ pH ปกติผลของการทดลองของเขา แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การกำจัดเหล็กโดยการใช้คลอรีนเหลืออิสระ

	น้ำดิบ ก./ม.^{3}	น้ำในถังปฏิกิริยา ก./ม.^{3}	น้ำในถังตกตะกอน ก./ม.^{3}	น้ำที่กรองแล้ว ก./ม.^{3}
Chlorine residual	0	0.56	0.50	0.46
Chloramine residual	0	0.09	0.09	0.07
เหล็ก	3.5	2.0	1.6	0

ในปี ค.ศ. 1961 Longley[20] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยการเติมออกซิเจนตามด้วยถังสมานตะกอน ถังตกตะกอน และถังกรอง ผลการทดลองจากแบบทดลอง พบว่า สามารถกำจัดเหล็กได้ 96 - 100 %

ในปี ค.ศ. 1962 Komolarit[18] ได้ศึกษาผลของจุลินทรีย์ และแบคทีเรียที่มีต่อการกำจัดเหล็กในชั้นทราย ณ โรงประปาหลายแห่งในเมืองอิลลินอยส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ผลจากการศึกษาของเขาพบว่า จุลินทรีย์และแบคทีเรียที่มีอยู่ในชั้นทรายสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีชีวะ โดยทำให้เหล็กเฟอร์ริคในน้ำก่อนกรองเปลี่ยนรูปเป็นเหล็กเฟอร์รัสในน้ำที่กรองแล้ว และเมื่อเขาได้ทำการวัด D.O. ของน้ำที่กรองแล้ว พบว่าจะมีค่าต่ำกว่า D.O. ของน้ำก่อนกรองหลายเท่า

ในปี ค.ศ. 1963 Willey กับ Jenning[38] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำโดยใช้สารละลายด่างทับทิมในห้องทดลองและในโรงประปา สารละลายด่างทับทิมถูกจ่ายอย่างต่อเนื่องเข้าท่อน้ำดิบก่อนที่น้ำดิบถูกสูบผ่านเข้าถังกรอง สำหรับตัวกรองที่ใช้ คือ แมงกานีสกรีนแซนด์ จากการทดลองพบว่า น้ำที่ผ่านการกรองแล้วจะมีเหล็กเหลืออยู่เพียงจำนวนเล็กน้อย

ในปี ค.ศ. 1965 Bolas [8] ได้ศึกษาถึง การใช้ชั้นตะกอนในถังตกตะกอนแบบไหลขึ้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีในการกำจัดเหล็กและแมงกานีส โรงกำจัดของเขาประกอบด้วย

(1) เครื่องเติมอากาศ

(2) ถังปฏิกิริยาที่มีการเติมปูนขาว

(3) ถังตกตะกอนแบบไหลขึ้น 3 ถัง และ

(4) ถังกรอง

ปูนขาวถูกกำหนดใช้เป็นสารรวมตะกอน จ่ายลงไปในถังทำปฏิกิริยาซึ่งอยู่ระหว่างเครื่องเติมอากาศกับถังตกตะกอนแบบไหลขึ้น เขาพบว่า ไม่จำเป็นต้องใช้สารช่วยรวมตะกอนในการสมานตะกอนในถังตกตะกอนแบบไหลขึ้น โรงกำจัดของเขาสามารถกำจัดเหล็กได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าบางครั้งเหล็กในน้ำดิบจะมีมากถึง 15 ก./ม.^{3}

ในปี ค.ศ. 1966 Ghosh, Oconor และ Engelbrecht [13] ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นและอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีของการตกตะกอนเหล็ก เพื่อนำเป็นข้อมูลในการสร้างถังปฏิกรณ์ให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลในโรงกำจัดเหล็ก เขาได้ทดลองเติมออกซิเจนให้กับน้ำดิบตัวอย่าง จำนวน 8 ลิตร ซึ่งเก็บจากแหล่งน้ำบาดาลต่าง ๆ โดยการพ่นอากาศลงไปเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำให้ได้ระดับ 6 ก./ม.^{3} หรือมากกว่า จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าปริมาณออกซิเจนที่ต่ำกว่า 5 ก./ม.^{3} มีผลต่ออัตราการตกตะกอนเหล็ก และพบว่าถ้านำค่าเหล็กเฟอร์รัสกับช่วงเวลาของปฏิกิริยานั้น เขียนในกระดาษ Semilog จะได้เส้นกราฟเป็นเส้นตรง นอกจากนี้ ยังชี้ให้เห็นว่า อัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีของการตกตะกอนเหล็กกับเหล็กเฟอร์รัสที่เหลืออยู่ ณ เวลานั้น ๆ เป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (first order reaction) และยังเสนอแนะว่า ช่วงเวลาของปฏิกิริยานั้นควรจะวัดหาโดยตรงจากอัตราการตกตะกอนเหล็กสำหรับแหล่งน้ำบาดาลนั้น ๆ เฉพาะกรณีไป

ในปี ค.ศ. 1967 Robinson [28] ได้ทำการทดลองและศึกษาผลของสารอินทรีย์ที่มีต่อการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาล พบว่า สารอินทรีย์ในน้ำบาดาลไม่มีผลต่อขบวนการออกซิเดชันในการเปลี่ยนรูปของเหล็กในน้ำจากเฟอร์รัสเป็นเฟอร์ริค และสารอินทรีย์

ในน้ำบาดาลถ้าได้ผ่านการกำจัดขั้นต้นโดยให้น้ำบาดาลไหลผ่านตัวกรองถ่าน ตัวกรองถ่านก็จะทำหน้าที่กรองสกัดดูดสารอินทรีย์ให้ออกจากน้ำบาดาล จากนั้น การกำจัดเหล็กสามารถกระทำได้ต่อไปโดยวิธีการกรอง

ในปี ค.ศ. 1968 Limrat (19) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของถาดเติมอากาศภายใต้สภาวะต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ร่วมกับถังตกตะกอนแบบไหลขึ้นในการกำจัดเหล็ก แบบทดลองของเขาประกอบด้วย เครื่องเติมอากาศแบบถาดหลายชั้นภายในถาดบรรจุถ่านโค้ก ตามด้วยถังผสมสารเคมี และถังตกตะกอนแบบไหลขึ้น จากการทดลองพบว่า ขนาดที่เหมาะสมของถ่านโค้กที่ควรใส่ในถาดเติมอากาศ คือ Ø 63 ม.ม. - Ø 114 ม.ม. ซึ่งทำให้สามารถกำจัดเหล็กได้สูงถึง 16 % และ 11.5 % ตามลำดับ เขาได้ทดลองอีกต่อไป เพื่อหาประสิทธิภาพของแบบทดลองในการกำจัดเหล็ก โดยการจ่ายสารส้มที่ปริมาณต่าง ๆ กันลงในถังผสมสารเคมี ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่า ถังตกตะกอนแบบไหลขึ้น ขณะที่ยังไม่มีการสมานตะกอนกันเป็นชั้นตะกอน ไม่สามารถกำจัดเหล็กได้ดีจนกระทั่งเกิดชั้นตะกอนขึ้นมาแล้ว จึงสามารถกำจัดเหล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปี ค.ศ. 1973 Yukphan Wattana (39) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำโดยใช้สารละลายด่างทับทิม ด่างทับทิม เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ และใช้ในการออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสที่ละลายในน้ำ ให้เป็นเหล็กเฟอร์ริคที่ไม่ละลายในน้ำ จากสโตอิคิโอเมตรี 1 ก./ม.^{3} ของด่างทับทิม จะออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสได้ 1.06 ก./ม.^{3} จากการทำ Jar test เขาได้พบว่า 1 ก./ม.^{3} ของด่างทับทิม จะออกซิไดส์เหล็กเฟอร์รัสได้ 1.66 ก./ม.^{3} ซึ่งสูงกว่าทางทฤษฎี จากการทดลองพบว่า น้ำที่ผ่านการกรองแล้ว จะมีเหล็กเหลืออยู่เพียงจำนวนเล็กน้อย

ในปี ค.ศ. 1974 Uthaiphattrakul Montri (33) ได้กล่าวในรายงานการทดลองของเขาเกี่ยวกับการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยวิธีไฟฟ้าว่า อัตราการตกตะกอนของเหล็กขึ้นอยู่กับขนาดของตะกอนเหล็ก กับความเป็นด่างของน้ำ และได้กล่าวอีกว่า ถ้าความเป็นด่างของน้ำมีค่ามากขึ้น และสามารถเพิ่มพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น กับลดอัตราการไหลของน้ำน้อยลง สามารถกำจัดเหล็กได้ถึง 98 - 99 %

ในปี ค.ศ. 1978 George A.D. กับ Chaudhuri (15) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ

การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยใช้ถ่านหิน เป็นตัวกรอง แบบทดลองของเขาประกอบด้วยถังกรองมีลักษณะเป็นท่อกลมทำด้วยแก้ว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 ซ.ม. จำนวน 2 ถัง ถังหนึ่ง มีตัวกรองเป็นทรายกรองมีชั้นทรายกรอง หนา 60 ซ.ม. อีกถังหนึ่งมีตัวกรองเป็นถ่านหิน มีชั้นถ่านหิน หนา 60 ซ.ม. จากการทดลองพบว่า ตัวกรองที่เป็นถ่านหินสามารถกำจัดเหล็กในน้ำได้สูงกว่าตัวกรองที่เป็นทรายกรองเล็กน้อย และตัวกรองที่เป็นถ่านหิน สามารถกำจัดเหล็กเฟอร์รัสที่ละลายในน้ำได้มากกว่าตัวกรองที่เป็นทรายกรอง แต่ตัวกรองทั้งสองดังกล่าว ต่างก็มีประสิทธิภาพดีพอในการกำจัดเหล็กเฟอร์ริค

2.2 <u>การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยวิธีออกซิเดชันด้วยการเติมอากาศและการกรอง</u>

ในปี ค.ศ. 1868 Salbach (37) ได้บันทึกในรายงานการทดลองของเขาว่า การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลสามารถทำได้โดยวิธีออกซิเดชันด้วยการเติมอากาศและการกรอง

ในปี ค.ศ. 1916 Applebaum (5) ได้กล่าวว่า การกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยวิธีออกซิเดชันด้วยการเติมอากาศและการกรองเป็นวิธีการกำจัดที่ใช้ได้ทั่ว ๆ ไป

ในปี ค.ศ. 1922 Donaldson (12) ได้พบวิธีการกำจัดเหล็กและก๊าซที่ละลายในน้ำบาดาลโดยวิธีออกซิเดชันด้วยการเติมอากาศและการกรอง

ในปี ค.ศ. 1935 M.J. Shoemaker (24) ได้กล่าวว่าการกำจัดเหล็กในน้ำบาดาลโดยวิธีออกซิเดชันด้วยการเติมอากาศและการกรอง เป็นวิธีหนึ่งในหลาย ๆ วิธีที่ใช้กำจัดเหล็กในน้ำได้

ในปี ค.ศ. 1952 Brown (9) ได้บันทึกรายงานในการทดลองของเขาว่า การกำจัดเหล็กและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำบาดาลโดยวิธีออกซิเดชันด้วยการเติมอากาศและการกรอง ได้ผลการกำจัดเหล็กดี น้ำที่ผ่านการกรองแล้ว จะมีเหล็กเหลืออยู่เพียงจำนวนเล็กน้อย

ในปี ค.ศ. 1979 Prakit (27) ได้บันทึกรายงานในงานวิจัยของเขาว่า การกำจัดเหล็กโดยการรวมเอาวิธีออกซิเดชันด้วยการเติมอากาศและการกรองเข้าด้วยกัน

ให้ผลการกำจัดเหล็กดีน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว จะมีเหล็กเหลืออยู่เพียงจำนวนเล็กน้อย

2.3 ประวัติความเป็นมาของระบบการกรองแบบไหลขึ้น (10)

Baker ได้กล่าวว่า ระบบการกรองแบบไหลขึ้นผ่านทรายกรอง มีการบันทึกเป็นเอกสารครั้งแรกในปี 1685 เมื่อ Porzio นักฟิสิกส์ชาวอิตาเลียนตีพิมพ์เผยแพร่ระบบการกรองแบบใช้ชั้นกรองหลายชั้น Porzio สนับสนุนให้ใช้ทรายกรองน้ำโดยตอนแรก เป็นการกรองแบบไหลลง และต่อมาเป็นการกรองแบบไหลขึ้น โดยจัดแยกอุปกรณ์ที่ใช้ทำสองวิธีต่างหากกัน

ในปี ค.ศ. 1754 Amy ชาวฝรั่งเศส ได้ปรับปรุงระบบการกรองแบบไหลลง-ไหลขึ้นแบบชั้นกรองหลายชั้นให้ดีขึ้นกว่าเก่า และในปี ค.ศ. 1790 Van Wuthwehr นายแพทย์ใหญ่ทหารบกออสเตรเลีย ได้แก้ไขปรับปรุงอีก

ในปี ค.ศ. 1791 Peacock สถาปนิก ชาวอังกฤษ ได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์ระบบการกรองแบบไหลขึ้นที่เขาได้ประดิษฐ์ขึ้นมา ตัวกรองที่ใช้มี ทราย, เศษแก้ว หรือวัสดุอื่นที่ใช้แทนกันได้ ตัวกรองแต่ละชั้นกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นสองเท่าของชั้นที่อยู่ถัดไปทางด้านบน Peacock เป็นคนหนึ่งในพวกแรกที่ได้เรียนรู้ถึงผลดีของการกรองที่จัดขนาดตัวกรองแบบจากหยาบถึงละเอียด และมีการใช้แผ่นไม้บางทำเป็นส่วนฐานเพื่อรองรับน้ำหนักของตัวกรอง กับวิธีการใช้น้ำล้างกระทำในทิศที่สวนกับการกรอง ระบบการกรองของ Peacock เท่าที่ทราบ มีเพียงเรือรบอังกฤษสามลำนำไปใช้ในประมาณปี ค.ศ. 1800

ในปี ค.ศ. 1827 ที่เทศบาลเมือง Greennock ประเทศสกอตแลนด์ ได้มีการตั้งระบบการกรองแบบไหลขึ้นเป็นครั้งแรก ระบบการกรองเป็นแบบไหลช้า และสามารถทำงานเป็นแบบไหลลงหรือแบบไหลขึ้นก็ได้ ส่วนการใช้น้ำล้างกระทำในทิศที่สวนกับการกรอง

ในปี ค.ศ. 1832 ที่เมือง Richmond รัฐ Virginia ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดสร้างระบบการกรองแบบไหลขึ้นเป็นครั้งแรก และได้เลิกใช้งานลงเมื่อปี ค.ศ. 1835

007843

117690912

ในปี ค.ศ. 1883 ที่เมือง Pawtucket รัฐ Rode Island ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการก่อสร้างระบบการกรองแบบไหลขึ้นเพื่อกำจัดสารแขวนลอยในน้ำ ตัวกรองที่ใช้ประกอบด้วย กรวดหยาบ และกรวดละเอียด โดยกรวดหยาบอยู่ชั้นล่าง และกรวดละเอียดอยู่ชั้นบน

ในปี ค.ศ. 1889 Hyatt นักประดิษฐ์ ชาวอเมริกัน ได้จดทะเบียนสิขสิทธิ์ระบบการกรองแบบไหลขึ้นซึ่งมีความคล้ายคลึงระบบการกรองที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ในระบบการกรองของ Hyatt น้ำดิบถูกสูบไหลผ่าน strainer ทางด้านล่างสุดของถังกรอง และน้ำที่ผ่านการกรองแล้ว จะไหลออกที่ระดับต่ำกว่าผิวตัวกรองตอนบน

ในปี ค.ศ. 1889 ที่เมือง Pawtucket รัฐ Rode Island ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการสร้างระบบการกรองแบบไหลขึ้น ตัวกรองที่ใช้ประกอบด้วย หิน อิฐกับถ่านไม้เมเบิล และกรวดละเอียด โดยหินอยู่ชั้นล่าง อิฐกับถ่านไม้เมเบิลอยู่ชั้นกลาง และกรวดละเอียดอยู่ชั้นบน หินที่ใช้มีความหนา 45 ซ.ม. อิฐกับถ่านไม้เมเบิลที่ใช้มีความหนา 30 ซ.ม. และกรวดละเอียดที่ใช้มีความหนา 45 ซ.ม. มีการบันทึกไว้ว่าระบบการกรองแบบไหลขึ้นดังกล่าวนี้ ทำงานได้ผลดีในการกำจัดสารแขวนลอย และเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ อัตราการกรองเฉลี่ยในปีแรกของการใช้งานประมาณ 8 $ม.^3/ม.^2$- ชม. การใช้น้ำล้างของระบบการกรองแบบไหลขึ้นแห่งนี้กระทำในทิศสวนกับการกรอง กับมีการใช้ท่อยางฉีดน้ำลงกรวดละเอียดตอนบนสุด จนกระทั่งกรวดละเอียดตอนบนสุดสะอาด ต่อมาจนถึงปี ค.ศ. 1930 ก็ได้เลิกใช้งาน

ในปี ค.ศ. 1891 ที่ทะเลสาบ Storm Lake รัฐ Iowa ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดสร้างระบบการกรองแบบไหลขึ้น เพื่อกรองน้ำจากทะเลสาบนั้น ตัวกรองที่ใช้มี 5 ชั้น แต่ละชั้นมีความหนา 30 ซ.ม. โดยมีชั้นกรวดหยาบอยู่ชั้นบนสุด ตามถัดลงมาเป็นชั้นกรวดละเอียด ชั้นทรายหยาบ ชั้นถ่านไม้ และชั้นหิน อยู่ชั้นล่างสุด ตามลำดับ การใช้น้ำล้างของระบบการกรองแบบไหลขึ้นแห่งนี้กระทำในทิศสวนกับการกรอง

ในปี ค.ศ. 1904 ที่เมือง Bartlesville รัฐ Oklomoma ประเทศ

สหรัฐอเมริกา ได้มีการก่อสร้างโรงกรองน้ำขนาดเล็ก มีระบบการทำงานประกอบด้วย การรวมตะกอนด้วยสารส้ม การตกตะกอน และถังกรองแบบไหลขึ้น เพื่อกรองน้ำจากลำห้วยที่มีความขุ่นมาก การใช้น้ำล้างของระบบการกรองแบบไหลขึ้นแห่งนี้กระทำในทิศสวนกับการกรอง โรงกรองน้ำแห่งนี้ได้เลิกใช้งานในเวลาต่อมาไม่นานหลังจากได้ก่อสร้างขึ้นมา เนื่องจากพบอุปสรรคในการล้างทำความสะอาดตัวกรอง

ในปี ค.ศ. 1907 ที่อ่างเก็บน้ำ Croton Reservoir นคร New York ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการลองตั้งระบบการกรองแบบไหลขึ้น เพื่อกรองน้ำจากอ่างเก็บน้ำนั้น ลักษณะของถังกรองประกอบด้วย ไม้แผ่นเรียบวางไว้ส่วนล่างแล้วปกคลุมด้วยลวดตาข่ายสำหรับรองรับน้ำหนักตัวกรอง ตัวกรองที่ใช้ประกอบด้วย ถ่านไม้ หนา 17.5 ซ.ม. วางไว้ส่วนล่างสุด เสร็จแล้วคลุมด้วยลวดตาข่ายทองแดง ส่วนบนเป็นทรายกรอง หนา 50 ซ.ม. กรองด้วยอัตรา 0.6 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. การล้างจะกระทำทุก ๆ เวลาสองสัปดาห์ถึงหลายเดือน ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำดิบ ส่วนวิธีการล้างกระทำในทิศที่สวนกับการกรอง

ระบบการกรองแบบไหลขึ้นในรุ่นแรกเกือบทั้งหมด มีข้อบกพร่องเหมือนกันอย่างหนึ่ง คือ ระบบดังกล่าวออกแบบสร้างขึ้นมาให้ทำการล้างในทิศที่สวนกับการกรอง โดยการสูบน้ำให้ไหลผ่านตัวกรองลงสู่ด้านล่าง การล้างด้วยวิธีนี้ให้ประสิทธิภาพไม่ดีนัก เพราะว่าไม่มีการขัดสี การแยกกระจายตัวของตัวกรอง และการขยายตัวของตัวกรองในขณะทำการล้าง จึงทำให้สิ่งสกปรกลงลึกเข้าไปในตัวกรอง และไม่สามารถชะล้างออกไปได้หมด

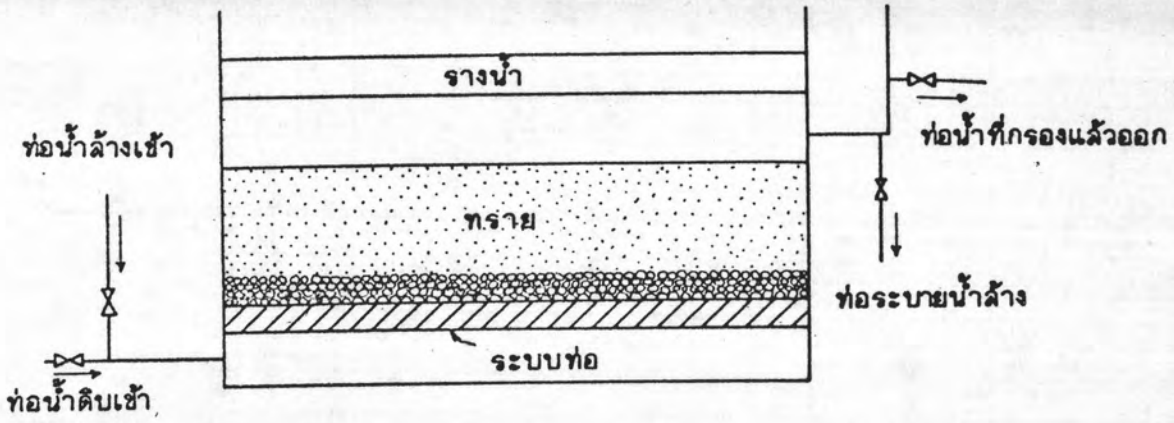
ในปี ค.ศ. 1953 Minz ชาวรัสเซีย ได้ทดลองและพัฒนาระบบการกรองแบบไหลขึ้น และต่อมาได้นำมาติดตั้งในประเทศรัสเซีย ที่เมือง Moscow, Leningrad Cheliabinsk, Gorkii, Kuibyshev, Kiev, Rostov - On - Don, Taganrog และ Ufa ระบบการกรองแบบไหลขึ้นของรัสเซีย เรียกกันว่าเป็น "ถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้น" ("Contact Clarifier" Upflow Filter) สามารถใช้กรองน้ำที่มีความขุ่นสูงถึง 150 ก./ม.^{3} ได้

การทำงานของระบบการกรองแบบไหลขึ้นของรัสเซีย ประกอบด้วย ถังกรอง

สัมผัสแบบไหลขึ้นที่มีการเติมสารเคมีเพื่อทำให้ตะกอนรวมตัวแล้วถูกแยกออกในถังกรอง โดยไม่ต้องมีถังตกตะกอน สารเคมีที่เป็นตัวรวมตะกอนถูกจ่ายลงในน้ำดิบก่อนที่น้ำดิบจะถูกสูบผ่านถังกรอง ระบบท่อประกอบด้วย ท่อก้างปลาใหญ่ และท่อก้างปลาเล็ก ซึ่งได้เจาะรูให้น้ำกระจายผ่านตอนล่างสุดของตัวกรอง รางรับน้ำที่กรองแล้วจะอยู่สูงกว่าผิวทรายกรองตอนบน การล้างทำโดยสูบน้ำผ่านเข้าไปในตัวกรองในทิศเดียวกันกับการกรองแต่ในอัตราที่สูงกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.1

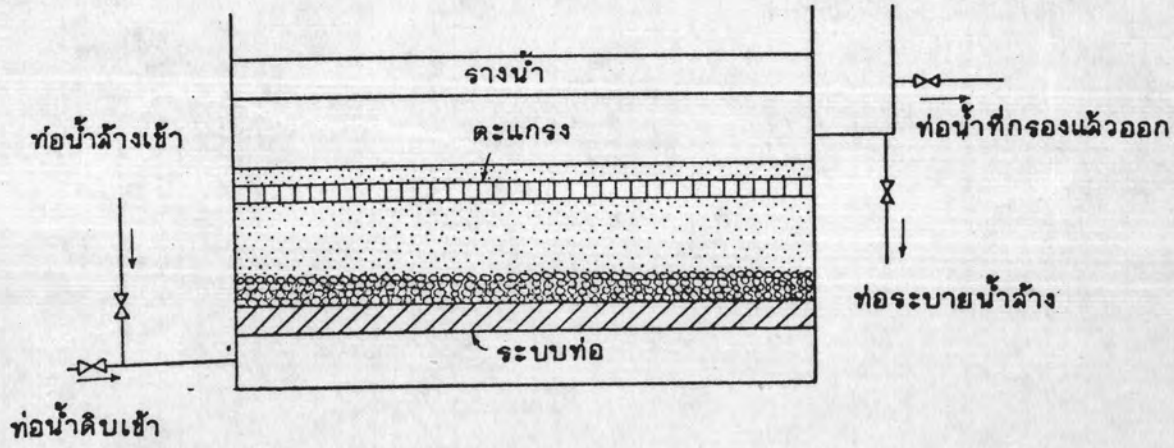
Minz ได้กล่าวถึงการทำงานของถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้นว่า การจ่ายสารเคมีรวมตะกอนลงในน้ำดิบก่อนที่น้ำดิบจะถูกสูบผ่านถังกรอง ก็เพื่อให้การสมานตัวของตะกอนเกิดขึ้นภายในตัวกรอง เนื่องจากการสมานตัวของตะกอนภายในตัวกรองกระทำได้รวดเร็วและสมบูรณ์กว่า เมื่อเทียบกับวิธีการสมานตะกอนแบบธรรมดา แล้วตะกอนก็จะถูกแยกออกในถังกรองโดยไม่ต้องมีถังตกตะกอน เขาระบุว่า ทรายกรองไม่ควรมีขนาดใหญ่กว่า 2 ม.ม. หรือ เล็กกว่า 0.5 ม.ม. โดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 0.9 ม.ม. - 1.1 ม.ม. ชั้นทรายกรองควรหนาประมาณ 195 ซ.ม. และวางบนชั้นกรวดที่หนาประมาณ 35 ซ.ม. - 40 ซ.ม. เพื่อป้องกันการขยายตัวของทรายกรองระหว่างกรอง และเพื่อให้อายุการกรองนาน อัตราการกรองที่ใช้ไม่ควรเกิน 6 $ม.^3/ม.^2$ - ชม. Minz ได้ให้ข้อสังเกตุเพิ่มเติมว่า การที่ลดถังสมานตะกอนกับถังตกตะกอนนั้น สามารถลดเนื้อที่ก่อสร้างโรงกรองน้ำได้ลงกว่าครึ่ง อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนการก่อสร้างได้ถึง 20 %-25 %

ต่อมา Lenchevsky ได้กล่าวว่า การทำงานของถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้น ให้ประสิทธิภาพการกรองดี และถ้าอุณหภูมิ และอัตราการไหลของน้ำไม่คงที่ หรือเปลี่ยนแปลงไป ก็ให้ผลกระทบกระเทือนต่อการทำงานการกรองของถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้นน้อยกว่าการทำงานการกรองที่ประกอบด้วย ถังสมานตะกอน, ถังตกตะกอน และถังกรอง แต่อย่างไรก็ดี เขาได้พบว่า การทำงานของถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้น ถ้ามีการใช้ถังสมานตะกอนร่วมด้วยแล้ว ก็จะให้ประสิทธิภาพการกรองเพิ่มขึ้น เขาได้เสนอแนะว่า อัตราการกรองที่ใช้ของถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้น ไม่ควรเกิน 6.25 $ม.^3/ม.^2$ - ชม. เพื่อป้องกันการขยายตัวของทรายกรองตอนบนระหว่างกรอง เขาระบุ



รูปที่ 2.1 ถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้น

("CONTACT CLARIFLER " UPFLOW FILTER)



รูป 2.2 ถังกรองเสริมตะแกรงแบบไหลขึ้น

(UPFLOW GRID FILTER)

ว่า ทรายกรอง ควรมีค่าขนาดประสิทธิผล 0.55 ม.ม. ถึง 0.65 ม.ม., ค่าสัมประสิทธิ์แห่งความสม่ำเสมอเท่ากับ 0.5, และที่อัตราน้ำล้างประมาณ 47.5 ม.^{3}/ม.^{2}-ชม. ถึง 55 ม.^{3}/ม.^{2}- ชม. ใช้เวลาในการล้าง 7 - 8 นาที ก็เพียงพอทำให้ทรายกรองสะอาด

มีการกล่าวว่า ระบบการกรองแบบไหลขึ้นของรัสเซีย มีผลดีหลายประการที่เหนือกว่าระบบการกรองที่ประกอบด้วย ถังสมานตะกอน, ถังตกตะกอน และถังกรองแบบไหลลง กล่าวคือ

(ก) สามารถลดขนาดพื้นที่ของโรงกรองน้ำ และเครื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการกรอง

(ข) สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีรวมตะกอน

(ค) สามารถใช้ความหนาของทรายกรองทั้งหมด กรองเก็บสารแขวนลอยในน้ำ ซึ่งต่างจากระบบการกรองแบบไหลลงที่สามารถกรองเก็บสารแขวนลอยในน้ำลึกลงไปจากทรายกรองตอนบนไม่กี่นิ้ว

(ง) ในระหว่างกรองอัตราความฝืดเพิ่มขึ้นในระดับช้ากว่า เนื่องจากสารแขวนลอยในน้ำจะถูกตัวกรองทรายขนาดใหญ่ชั้นล่างดักไว้ จึงทำให้ความฝืดของตัวกรองเกิดขึ้นในระดับช้ากว่า

(จ) ต้นทุนการก่อสร้างโรงกรองน้ำจะประหยัดกว่า เนื่องจาก การใช้ระบบถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้นทำให้สามารถลดขนาดพื้นที่ของโรงกรองน้ำ และเครื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการกรอง เพราะไม่ต้องใช้ถังสมานตะกอน และถังตกตะกอน

(ช) ต้นทุนในการดำเนินงานต่ำกว่า เนื่องจากใช้สารเคมีรวมตะกอนน้อยกว่า จึงทำให้มีความสิ้นเปลืองน้อยกว่า

ในปี ค.ศ. 1957 ที่เมือง Kuibyshev ประเทศรัสเซีย ได้มีการก่อสร้างโรงกรองน้ำเป็นระบบถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้น มีอัตราการผลิต 49,210 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่อใช้กรองน้ำจากแม่น้ำ Volga สารเคมีที่เป็นตัวรวมตะกอนจะถูกจ่ายลงในน้ำดิบก่อนที่น้ำดิบจะถูกสูบผ่านถังกรอง ความขุ่นของน้ำดิบ มีค่าระหว่าง 120 ก./ม.^{3} ถึง 150 ก./ม.^{3} ในช่วงสภาพน้ำหลาก ส่วนในช่วงสภาพปกติค่าความ

ขุ่นของน้ำดิบมีค่าต่ำ สีของน้ำดิบจะแปรจาก 30 หน่วยถึง 60 หน่วย (มาตรฐานของ Platinum-Cobalt) โรงกรองน้ำแห่งนี้ สามารถลดปริมาณสารเคมีรวมตะกอนได้ถึง 10 % เมื่อเทียบกับโรงกรองน้ำอีกแห่งหนึ่งในเมือง Kuibyshev ที่ใช้ระบบการกรองแบบธรรมดา คุณภาพของน้ำที่กรองโดยถังกรองสัมผัสแบบไหลขึ้นอยู่ในเกณฑ์ดี และได้มาตรฐานน้ำดื่มของประเทศรัสเซีย

ในปี ค.ศ. 1961 Smit ได้พัฒนาระบบการกรองแบบไหลขึ้นที่เรียกกันว่าเป็น "ถังกรองเสริมตะแกรงแบบไหลขึ้น" (Upflow Grid Filter) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ระบบการกรองแบบไหลขึ้นของ Smit ประกอบด้วย ตะแกรงซึ่งเป็นตะแกรงเหล็ก วางอยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าผิวทรายกรองตอนบน ตะแกรงเหล็กนี้ประกอบด้วย แผ่นเหล็กตั้งขนานกันไป ในระหว่างกรอง ทรายกรองจะหมุนตัวเข้าหาตะแกรงเหล็ก เป็นการป้องกันมิให้ทรายกรองตอนบนขยายตัวออกไป เขากล่าวว่า การเว้นระยะห่างของแผ่นเหล็กในแนวตั้งควรถี่พอที่จะป้องกันการขยายตัวของทรายกรองตอนบนในระหว่างกรอง แต่ไม่ควรถี่จนเกินไปจนก่อให้เกิดความลำบากในการล้างตัวกรองในทิศเดียวกันกับการกรอง เขาได้กล่าวว่า โดยทั่วไป ระยะห่างของแผ่นเหล็กในแนวตั้งประมาณ 100 - 150 เท่า ของขนาดทรายกรองตอนบน

ถังกรองเสริมตะแกรงแบบไหลขึ้น สามารถใช้กรองน้ำในอัตราการกรองตั้งแต่ 12.5 $ม.^3/ม.^2$-ชม. ถึง 25 $ม.^3/ม.^2$-ชม. ส่วนความหนาของทรายกรองมีการเสนอแนะว่า ควรมีค่าประมาณ 60 ซ.ม. ถึง 150 ซ.ม.