



บททวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการพอกหนัง

การพอกหนังคือ การเปลี่ยนสภาพหนังสัตว์ดิบซึ่งเน่าเปื่อยได้ ไปเป็นหนังสำเร็จซึ่งคงตัวกว่า ไม่เน่าเปื่อย มีความทนทานต่อสภาพอากาศและน้ำร้อน (Porst, 1991) โดยปกติหนังสัตว์ดิบจะประกอบไปด้วย ชั้นขนและหนังกำพร้า (epidermis) ชั้นหนังแท้ (corium) และชั้นที่ติดเนื้อ (flesh) เฉพาะส่วนหนังแท้จะประกอบด้วยคอลลาเจนโปรตีนเป็นส่วนใหญ่ การรักษาสภาพหนังแท้ไม่ให้เน่าเปื่อยจะอาศัยสารเคมี ได้แก่ ฝาด, โครเมียม, สารส้ม หรือสารเคมีอื่นเข้าไปทำปฏิกิริยากับคอลลาเจนโปรตีนในหนัง ก่อนการพอกหนังกระป๋องหนึ่งตัวจะมีขนาดประมาณ 3 ตารางเมตร น้ำหนักประมาณ 40 กิโลกรัม ส่วนหนังโคและหนังสุกรหนึ่งตัวจะมีน้ำหนักประมาณ 20-25 และ 5 กิโลกรัมตามลำดับ (Porst, 1991)

ขั้นตอนที่สำคัญของการพอกหนังได้แก่ กรรมวิธีเตรียมหนังก่อนพอก การพอก การย้อมสี และให้น้ำมัน

2.1.1 กรรมวิธีก่อนพอก กรรมวิธีก่อนการพอกเป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกจากหนังดิบ และเตรียมหนังให้พร้อมที่จะพอก ประกอบด้วย การล้างแช่ด้วยน้ำ, การแช่น้ำปูน, บุคตัดพังผืด, ฝาด, ล้างทำลายฤทธิ์ปูนและบ่ม ขั้นตอนเหล่านี้แสดงไว้ในข้อ 1-7 รูปที่ 2.1.1 ซึ่งเป็นมาตรฐานของโรงงานพอกหนังขนาดกลางถึงใหญ่ในปัจจุบันของประเทศไทย

เริ่มต้นจากการนำหนังดิบคองเกลือเสร็จมาเข้าโรงงาน หนังนี้จะถูกเคาะเอาเกลือออกก่อน (ถ้ามีเกลือเม็ดติดอยู่มาก) เกลือมีคุณสมบัติช่วยรักษาหนังไม่ให้เน่า ดังนั้นถ้าเคาะเกลือแล้วจะต้องนำเข้าผลิตภายใน 1-2 วัน ขั้นตอนแรกคือ การล้างและแช่น้ำหนังทั้งหมดจะถูกนำไปหย่อนลงถังหมุน, ถังใบพัดหรือบ่อคอนกรีตซึ่งมีน้ำอยู่เต็ม อาจมีการเติมสบูลงไปเพื่อช่วยล้างเศษ

สิ่งสกปรก เลือดและอื่นๆ ออกจากหนัง หลังจากนั้นจะมีการเติมโซเดียมซัลไฟด์และตามด้วย บุนขาวลงไป ที่ พีเอชประมาณ 12.8 สารเคมีทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับขน หนังกำพร้า และ ฟังคิเดซึ่งอยู่ภายนอกทำให้เหลือแต่หนังแท้ซึ่งทนกว่า ปฏิกิริยานี้เรียกว่าการละลายขน (hair pulp) ในช่วงระยะที่ล้างและแช่บุนนี้หนังจะค่อยๆ ติดขึ้นมาใกล้กับเข้าไปแทนส่วนที่สูญเสียระหว่าง คองเคมีทำให้หนังนุ่มขึ้น พองขึ้น และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมาก

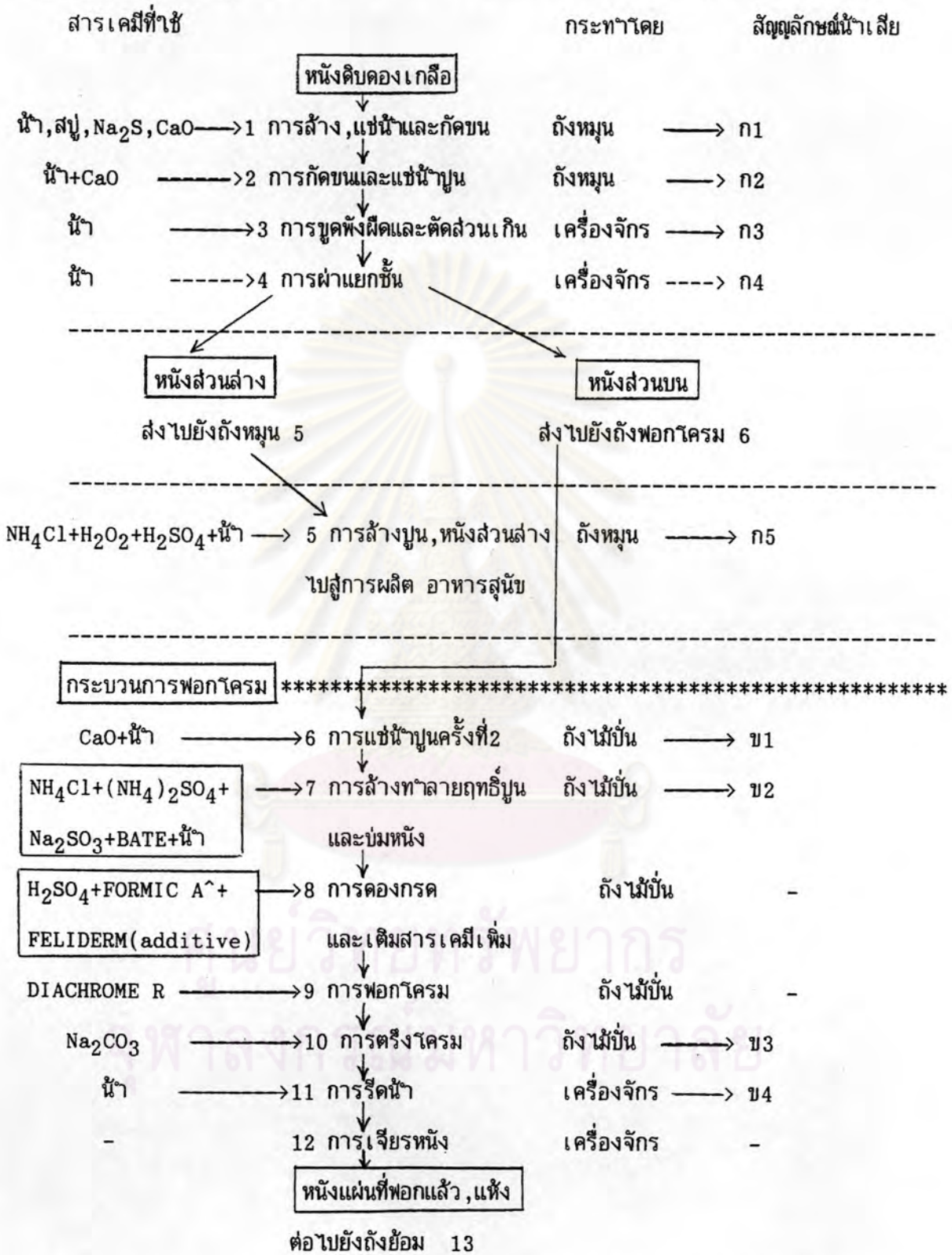
หนังที่ผ่านการแช่บุนแล้วจะถูกนำมาชุบฟังกิเดด้วยเครื่องชุบฟังกิเดซึ่งมีน้ำหล่อเลี้ยงอยู่ จากนั้นจะนำหนังไปเข้าเครื่องผ่าซึ่งอาศัยน้ำหล่อเลี้ยงเช่นกัน ปกติหนังกระปือจะสามารถผ่าได้ เป็น 3-4 ชั้น ในสองชั้นด้านบนจะนำไปฟอกโครม ส่วนชั้นสามอาจฟอกหรือไม่ก็ได้ ชั้นสุดท้ายจะ นำไปล้างทำลายฤทธิ์บุนก่อนนำไปผลิตอาหารเคี้ยวเล่นของสุนัขและแมวต่อไป

หลังจากหนังถูกแยกออกจากกันแล้ว หนังที่จะฟอกต้องชั่งน้ำหนักก่อนนำไปลงในถังไม้บับ เพื่อจะได้คำนวณปริมาณสารเคมีที่จะใช้กับหนังได้อย่างถูกต้อง มีการใส่บุนขาวอีกครั้ง เพื่อกำจัด สิ่งสกปรกบนผิวหนัง หลังจากนั้นจะมีการเปิดน้ำสะอาดล้างบุนออกจากหนังอีกครั้งหนึ่ง

ก่อนที่จะฟอกหนังจำเป็นต้องได้รับการปรับสภาพก่อน โดยการล้างทำลายฤทธิ์บุนด้วย เกลือแอมโมเนียมและกรดกำมะถันเจือจาง มีการเติมเอนไซม์พวกเบทหรือราลงไป เพื่อลดการ ไปงพองของหนัง ย่อยเส้นใยให้หนังเรียบและช่วยให้หนังมีคุณภาพดีขึ้น หลังจากบ่มหนังได้ที่แล้วจะ มีการล้างด้วยน้ำสะอาดจนหมดสีขาวของบุนขาว

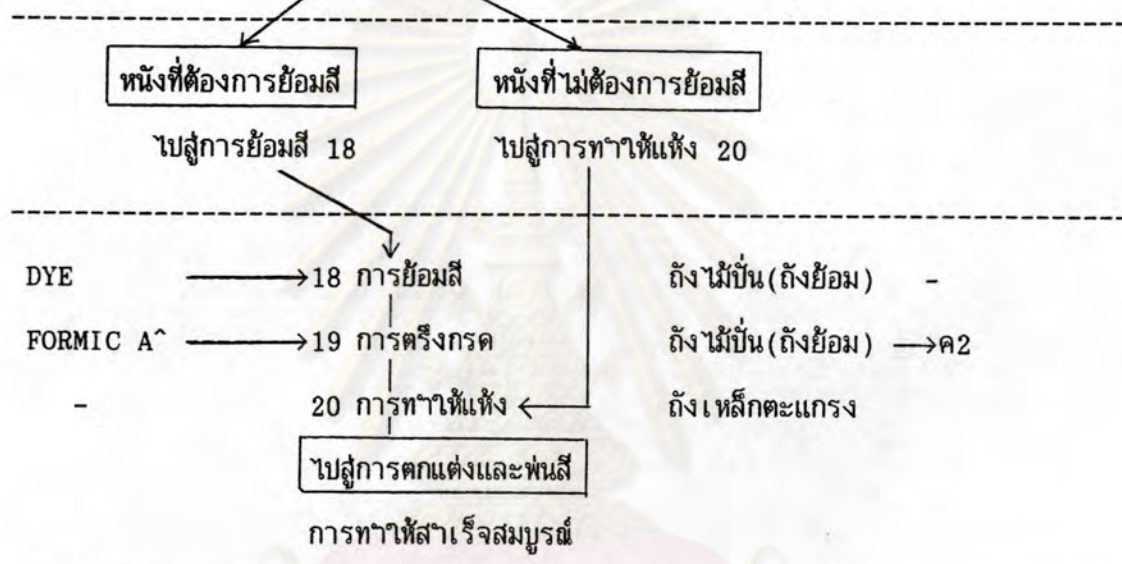
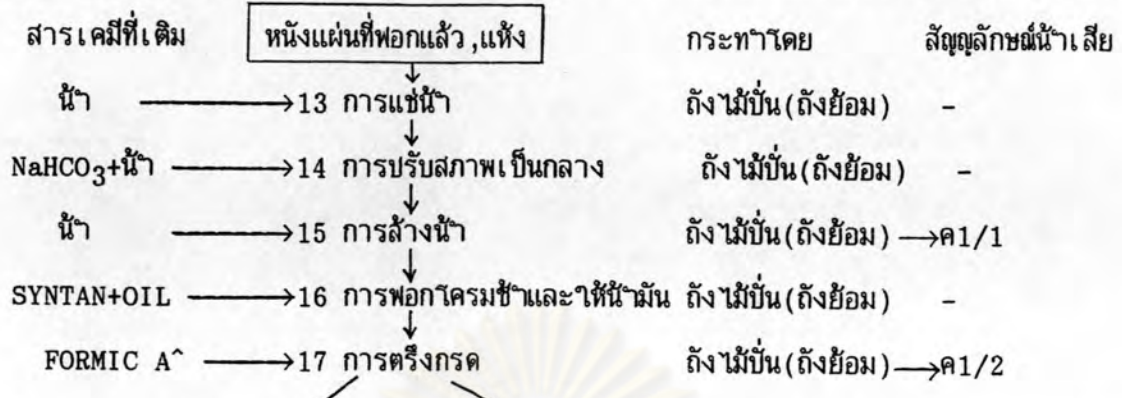
2.1.2 การฟอก การฟอกหนังที่นิยมใช้มีสองวิธีคือ การฟอกโครม ซึ่งอาศัยโครเมียม และการฟอกฟาดซึ่งอาศัยแทนนิน การฟอกโครมเป็นที่นิยมกว่าเนื่องจากใช้เวลาสั้น สารเคมี ราคาถูก หนังที่ฟอกแล้วทนต่อความร้อนและความชื้นดีกว่า ทั้งนี้การคองกรดเป็นขั้นตอนที่จำเป็นต้องกระทำก่อนการฟอกทั้งสองวิธี สารเคมีที่ใช้ คือ เกลือแกง กรดกำมะถัน และกรดฟอร์มิค วัตถุประสงค์ของการคองกรดก็เพื่อปรับพีเอชให้เหมาะสมกับปฏิกิริยาการฟอกหนังและช่วยลดการ ตกตะกอนของโครเมียม ระหว่างการฟอกอาจมีการเติม สารเคมีเพิ่มเติมลงไประหว่างการคอง กรดเพื่อลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสีย

กระบวนการก่อนฟอก*****



รูปที่ 2.1.1 กรรมวิธีก่อนฟอก, การฟอกโครมและการย้อมสี

กระบวนการฟอกขาว *****



รูปที่ 2.1.1 กรรมวิธีก่อนฟอก, การฟอกโครม และการย้อมสี (ต่อ)

ก) การฟอกโครม รูปที่ 2.1.1 เป็นการฟอกโครมที่กระทำในถังหมุนซึ่งจะใช้สารเคมีพวกเบสิกโครเมียม III ซัลเฟต มีปริมาณโครเมียมร้อยละ 26 ในรูปโครม III ออกไซด์ (Cr₂O₃) โดยน้ำหนัก ค่าพีเอชเริ่มต้นควรเป็น 3.5 และสิ้นสุดที่พีเอช 4.2 เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา อุณหภูมิในถังจะประมาณ 40 องศาเซลเซียส (Porst,1991)

โดยปกติประมาณร้อยละ 70 ของโครเมียมจะทำปฏิกิริยาหมดไปกับหนัง การตรึงโครมให้อยู่กับหนังสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มพีเอชและอุณหภูมิสิ้นสุด ดังนั้นหลังจากฟอกโครมเสร็จแล้วจะมีการเติมโซเดียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อปรับพีเอชให้ได้ประมาณ 4.5 ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้งประมาณ 2000-4000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ธงชัย พรรณสวัสดิ์,1992)

ในปัจจุบันการลดปริมาณโครเมียมในน้ำเสียจากการฟอกโครม สามารถกระทำได้ด้วยการเติมกรดอินทรีย์ (aliphatic and aromatic dicarboxylic acids) สารเคมีนี้เป็นสารตรึงโครมและมีชื่อการค้าในประเทศไทยว่า เฟอร์ลิดเอร์ม (ferliderm; Hertz FRG.) ทั้งนี้ปริมาณโครเมียมในน้ำทิ้งอาจลดลงเหลือเพียง 50-100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Porst, 1991)

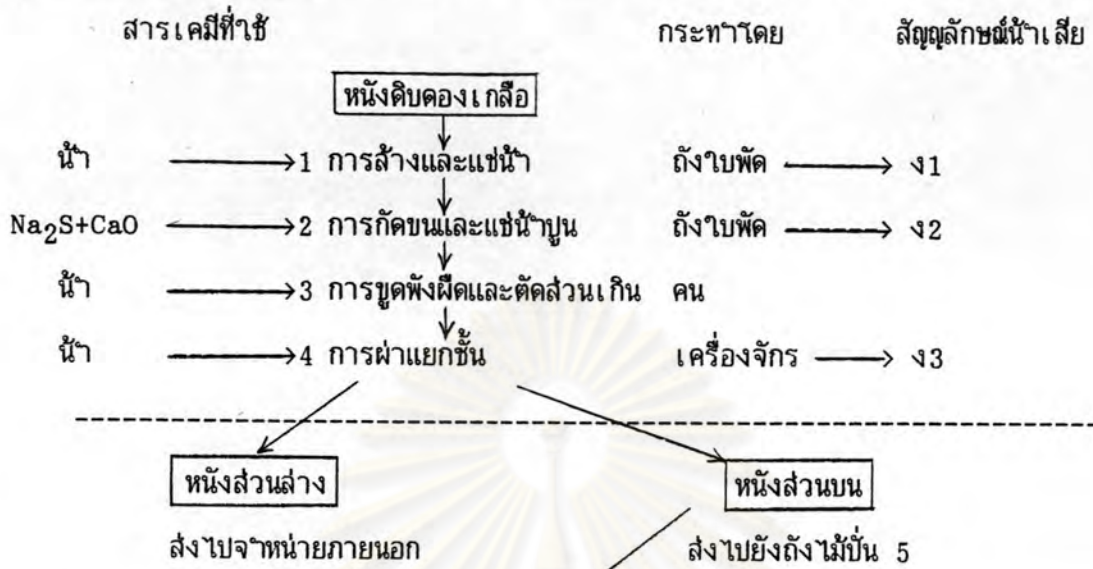
ข) การฟอกผาด การฟอกผาดสามารถกระทำได้ในถัง ไม้บั่นหรือบ่อคอนกรีตอนุกรม โดยจะใช้แทนนิน ซึ่งสกัดจากเปลือกไม้พวยยูคาลิปตัส ต้นควิบบราโค และอื่นๆ มาเป็นสารฟอก เนื่องจากสารเคมีราคาสูง น้ำฟอกที่ใช้แล้วจากถังบั่นไม้ที่ใช้แล้วจะนำมาใช้ซ้ำในบ่อคอนกรีตบ่อแรกๆ จากทั้งหมด 4 บ่ออนุกรม รูปที่ 2.1.2 แสดงขั้นตอนการฟอกหนังของโรงงานซึ่งทำการฟอกหนังแบบฟอกผาด

ขั้นตอนที่สำคัญคือ การล้างผาดส่วนเกินครั้งที่ 1 และ 2 โดยเฉพาะครั้งที่หนึ่งจะมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของหนังที่ใช้ฟอกผาด กรดออกซาลิกจะช่วยล้างผาดออกจากหนังซึ่งจะต้องอาศัยความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม การล้างผาดส่วนเกินครั้งที่สองจะมีผลต่อคุณภาพหนังได้และต้องเข้มงวดเช่นกัน

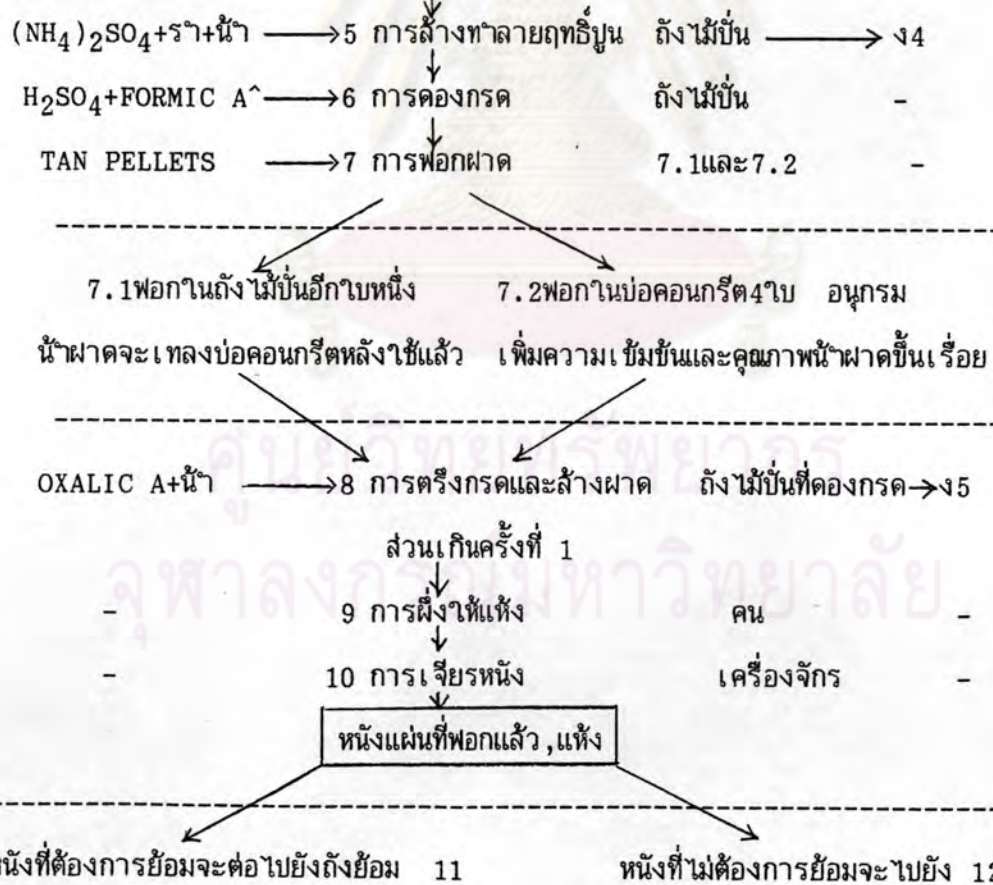
หนังสำเร็จรูปที่เกิดจากการฟอกผาดจะมีน้ำหนักมากกว่าการฟอกโครม มักใช้เป็นพื้นรองเท้า เข็มขัด และมีต้นทุนการผลิตสูงกว่าการฟอกโครมประมาณสองเท่า (กิตติชัย, 2535)

หลังจากการฟอกแล้วหนังจะถูกรีดน้ำทำให้แห้ง เจียรผิวด้วยเครื่องตัดแต่งและคัดเลือก เพื่อเก็บไว้รอจำหน่ายหรือแปรรูปต่อไป

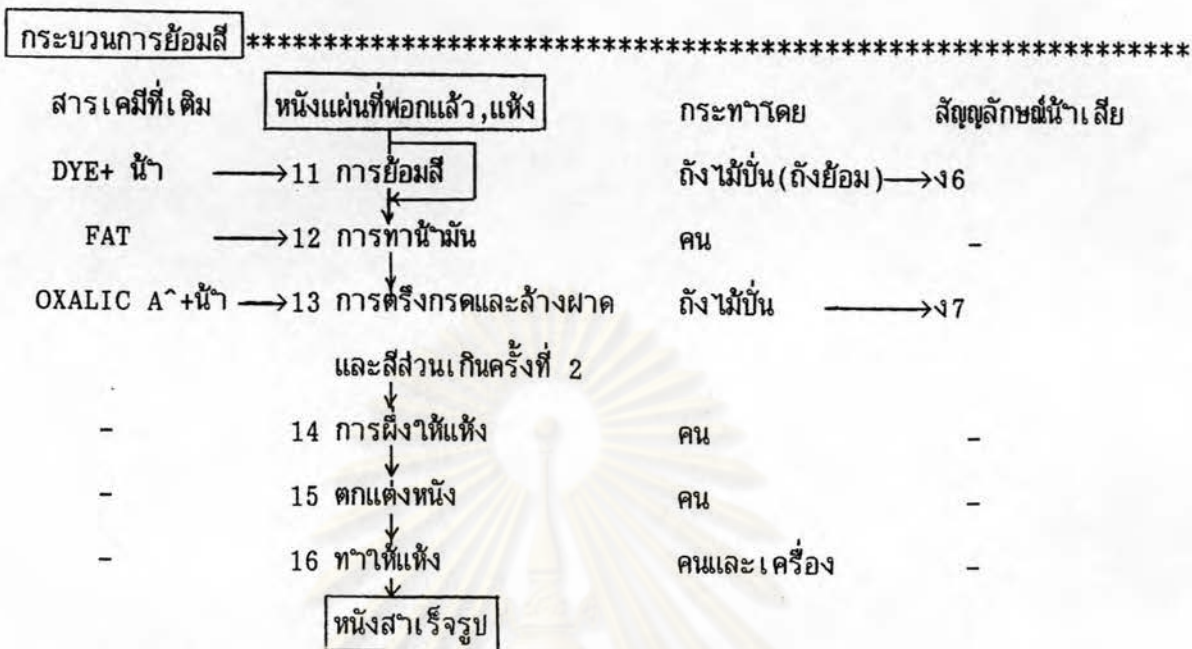
กระบวนการก่อนการฟอก*****



กระบวนการฟอกผาด*****



รูปที่ 2.1.2 กรรมวิธีก่อนฟอก, การฟอกผาด และการย้อมสี



รูปที่ 2.1.2 กรรมวิธีการพอก, การพอกผาด และการย้อมสี (ต่อ)

2.1.3 การพอกซ้ำ การย้อมสีและให้ไขมัน การพอกซ้ำมักกระทำกับการพอกโครม เพื่อปรับปรุงคุณภาพหนังให้เหมาะสมกับความต้องการ ในการนี้สารเคมีที่ใช้อาจเป็นโครมแทนนินหรือซินแทน (ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ขึ้น) ก็ได้ ในหลายโรงงานมีการใช้สารเคมีแตกต่างกัน บกติจะมีการพอกจางสีหนังในขั้นตอนนี้โดยใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตและกรดซัลฟูริก

การย้อมสีกระทำได้ตามที่ตลาดต้องการและอาจไม่ย้อมสีก็ได้ ขั้นตอนของการย้อมสีแตกต่างกันตามแต่ชนิดของสีที่ใช้ย้อม บกติจะใช้กรดฟอร์มิกปรับสภาพก่อนการย้อมด้วยสี และการตรึงให้สีติดหนังซึ่งอาศัยอุณหภูมิสูงที่ได้จากไอน้ำ

หนังที่จะนำไปใช้งานจำเป็นต้องมีความอ่อนนุ่ม อยู่ตัว ดังนั้นจำเป็นต้องมีการทาน้ำมันให้แก่หนังที่พอกแล้ว การทาน้ำมันอาจทำพร้อมการพอกซ้ำหรือการย้อมสี หรืออาศัยการทำต่างหากก็ได้ หนังที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะนำไปผ่านการฟีนี ฟิมพ์ลายและอื่นๆ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป

2.2 มลพิษจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง

การฟอกหนังเป็นกระบวนการแปรรูปหนังสัตว์ โดยอาศัย น้ำ สารเคมี และกระบวนการทางกล ดังนั้นน้ำเสียจากการฟอกหนังจึงมีสารมลพิษปะปนอยู่มาก (NTIS, 1971) นอกจากนี้ยังมีเศษหนังเจียรเป็นกากของแข็งที่ออกมาด้วย (Ya Hui, 1992) ทั้งนี้ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ปริมาณสารมลพิษต่าง ๆ และกากของเสีย จะแปรตามกระบวนการผลิตและแหล่งที่ทำการฟอกหนังซึ่งกล่าวสรุปได้ดังนี้

2.2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

การสำรวจในประเทศไทย

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และ มั่นสิน ตันทุลเวศม์ (2520) ได้เสนอรายงานการสำรวจเพื่อออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับกลุ่มโรงงานฟอกหนังทั้งสองกลุ่ม คือ กลุ่ม กม.30 และ กม.34 จังหวัดสมุทรปราการ รวมทั้งสิ้น 97 โรง โดยระบุว่ากระบวนการฟอกมีสองแบบคือ การฟอกโครมและฟอกฟาด แต่ส่วนใหญ่เป็นการฟอกโครม และหนังที่ฟอกส่วนใหญ่เป็นหนังกระบือ กระบวนการผลิตมีลักษณะเช่นเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1 แต่จะไม่มีการใช้สารเคมีเพิ่มเติมในขั้นตอนการดองกรดก่อนการฟอก นอกจากนี้การย้อมสีและตกแต่งหนังมีวิธีการที่แตกต่างกัน การเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้กระทำที่จุดวัดอัตราไหลซึ่งเป็นเวียรรูปสี่เหลี่ยม และทำจากไม้อัดและติดตั้งติดกับรางระบายก่อนไหลลงทะเล พบว่ามีปัญหาการขึ้นลงของน้ำทะเลทำให้การวัดกระทำได้เฉพาะครึ่งวันบ่าย ลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวมแสดงดังตารางที่ 2.1 ค่าบีโอดี 3300 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 5462 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เอสเอสและทีเอส 182 และ 2988 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวมขององค์การฟอกหนัง เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร โดย Islam (1982) ระบุว่ามีการฟอกฟาดและฟอกโครมปะปนอยู่ด้วยกัน น้ำเสียรวมทั้งหมด น้ำเสียจากกรรมวิธีก่อนการฟอกและจากการฟอกฟาดมีลักษณะสมบัติดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียพอกหนังที่มีการสำรวจในประเทศไทย

พารามิเตอร์	สำรวจโดย				
	ธงชัย (2520)	Islam (1982)			Win (1989)
		น้ำเสีกรวม	การแช่ปูน	บ่อพอกผาด	
พีเอช	7.34	9.62	11.8	4.9	8.98-9.90
บีโอดี	3300	779	4000	11000	800-1100
ซีโอดี	5462	2600	9000	50000	1500-2200
ทีเคเอ็น	117	138	-	-	130-183
พอสเฟต	0	3.3	-	-	-
เอสเอส	182	1390	1650	3800	700-1100
ทีวีเอส	82	-	-	-	-
ทีเอส	2988	-	-	-	-
สภาพต่าง	390	-	-	-	-
สภาพกรด	0	-	-	-	-
โครเมียม	1.5	25.0	-	-	19-30
แคลเซียม	-	-	-	-	-
คลอไรด์	-	-	-	-	-
ซิลิเฟต	-	-	-	-	-
แหล่งสำรวจ	กม. 30	องค์การพอกหนัง กระทรวงกลาโหม			กม. 30

ที่ 2.1 โดยน้ำเสียรวมมีค่าบีโอดี 779 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 2600 มิลลิกรัมต่อลิตร ไครเมียมและเอสเอสเท่ากับ 25 และ 1390 มิลลิกรัมต่อลิตร

เปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำเสียทั้ง 3 ชนิดจากองค์การพอกหนัง จะเห็นได้ว่าน้ำเสียจากบ่อพอกผาดจะมีค่าบีโอดีสูงสุด ตามด้วยน้ำเสียจากกรรมวิธีก่อนการพอก ส่วนน้ำเสียรวมมีค่าบีโอดีต่ำสุดเนื่องจากมีน้ำเสียส่วนอื่นมาเจือจาง ค่าพีเอชของน้ำเสียจากกรรมวิธีก่อนการพอกจะสูงสุดถึง 11.8 ทั้งนี้เพราะบุนขาวที่ใช้ในการทำความสะอาดและกำจัดขน

Kin Maung Win (1989) ได้วิจัยเพื่อกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพอกหนัง ด้วยระบบ SBR-Membrane Separation โดยใช้แหล่งน้ำเสียจากกลุ่มโรงงานพอกหนัง จังหวัดสมุทรปราการ รายงานว่า ในกลุ่มโรงงานพอกหนัง (กม.30) มีโรงงานประมาณ 70 โรง ทั้งนี้ 90% เป็นการพอกโครม มีการพอกผาดเป็นจำนวนน้อยและจะไม่ทิ้งน้ำผาด ทั้งกลุ่มจะใช้วัตถุดิบประมาณ 50,000 ตันแห้งเคมีดิบต่อปี ลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวมดังตารางที่ 2.1 ค่าบีโอดี 800-1100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 1500-2200 มิลลิกรัมต่อลิตร ไครเมียม 19-30 มิลลิกรัมต่อลิตร เอสเอส 700-1100 มิลลิกรัมต่อลิตร

การสำรวจในต่างประเทศ

Nemerow (1970) อธิบายว่า น้ำเสียส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรมพอกหนัง ได้แก่ น้ำเสียจากขั้นตอนกรรมวิธีก่อนการพอก มีฤทธิ์เป็นด่างอย่างมาก มีค่าซีโอดีและเอสเอสสูง ประกอบกับมีบุนขาวปะปนอยู่มาก ส่วนน้ำเสียจากการพอกทั้งแบบโครมและแบบผาดจะมีฤทธิ์เป็นกรด การพอกโครมจะทำให้มีไครเมียมหลุดปะปนออกมากับน้ำเสีย ส่วนการพอกผาดจะทำให้น้ำทิ้งมีสีสูง และมีซีโอดีและเอสเอสสูงมาก รวมทั้งได้รายงานลักษณะสมบัติน้ำเสียเฉลี่ย จากการสำรวจโรงงานพอกหนัง 443 ทั่วสหรัฐอเมริกา ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียพอกหนังที่มีการสำรวจในต่างประเทศ

พารามิเตอร์	สำรวจโดย					
	Nemerow (1970)	NTIS (1971)	Wood (1992)	Rajamani (1992)	Mayhofer (1992)	Szpyrkowic (1991)
พีเอช	11-12	5-12	-	8.6	-	7.3
บีโอดี	1000	1191	2000	1692	1078	1105
ซีโอดี	2500-3300	-	4700-5000	4154	3569	2530
ทีเคเอ็น	-	-	-	-	204	371
ฟอสเฟต	-	-	-	-	-	-
เอสเอส	-	2376	3000	3077	1913	564
ทีวีเอส	1500	2837	-	-	-	-
ทีเอส	8000	9725	-	21539	-	-
สภาพต่าง	1600	394	-	-	-	-
สภาพกรด	-	-	-	-	-	-
โครเมียม	30-70	255	100-120	139	79	34.2
แคลเซียม	-	-	-	-	-	-
คลอไรด์	3000-4000	-	-	4616	-	-
ซิลไฟด์	120	-	200	62	64	44
แหล่งสำรวจ	สหรัฐฯ	สหรัฐฯ	อังกฤษ	อินเดีย	เยอรมัน	อิตาลี

Sastry et. al. (1972) รายงานลักษณะสมบัติน้ำเสียพอกหนังไว้ว่า มีค่าพีเอช 8.5-11 มีค่าคลอไรด์และซีโอดีสูง อัตราส่วนระหว่าง บีโอดีต่อซีโอดี เท่ากับ 0.3-0.4

NTIS (1971) รายงานการสำรวจโรงงานพอกหนังในสหรัฐอเมริกา ว่าน้ำเสียจาก โรงงานพอกหนังมีค่าบีโอดีเฉลี่ย 1191 มิลลิกรัมต่อลิตร ไครเมียม 255 มิลลิกรัมต่อลิตร เอส เอสและพีเอส เท่ากับ 2376 และ 9725 มิลลิกรัม ดังตารางที่ 2.2

Wood (1992) ได้กล่าวถึงผลกระทบของมลพิษอุตสาหกรรมพอกหนังต่อสิ่งแวดล้อมและ ขยายความได้ว่า น้ำเสียพอกหนังของกลุ่มประชาคมยุโรป มีค่าซีโอดีเฉลี่ย 4700-5000 มิลลิกรัม ต่อลิตร ซีโอดี 2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ไครเมียม 100-120 มิลลิกรัมต่อลิตร เอสเอส 3000 มิลลิกรัมต่อลิตร และซัลไฟด์ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 2.2

Szpyrkowicz (1991) ทำการวิจัยเพื่อการลดปริมาณตะกอนของระบบกำจัดน้ำเสีย พอกหนังในประเทศอิตาลี เขาได้รายงานลักษณะสมบัติของน้ำเสียดังแสดงในตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ที่เป็นพิษและสำคัญมากต่อระบบบำบัด คือ ไครเมียมและซัลไฟด์ ที่มีค่าเท่ากับ 34.2 และ 44 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะสมบัติน้ำเสียในต่างประเทศ พบว่า บีโอดีมีค่าอยู่ระหว่าง 1000-2000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 2500-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดีต่อบีโอดีในอัตราส่วน 0.3-0.4 ส่วนค่าเอสเอส มีค่าระหว่าง 564-3077 มิลลิกรัมต่อลิตรทั้งนี้ขึ้นกับกระบวนการผลิต ถ้าการกำจัดขนกระทำด้วยสารเคมี ค่าเอสเอสจะสูง เพราะขนจะปะปนออกมากับน้ำมาก นอกจากนี้พบว่าค่าที่เอสหรือของแข็งละลายจะสูงสำหรับน้ำเสียจากอินเดีย (21539 มิลลิกรัมต่อลิตร) แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียเสียมีความเข้มข้นสูงมากไม่เหมาะอย่างยิ่งที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำจืด ตามธรรมชาติ

ปริมาณโครเมียมในน้ำเสียอยู่ระหว่าง 34-255 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ น้ำเสียที่ไหล

ผ่านระบบท่อระบายเช่นของ Szpyrkowicz (1991) จะมีโครเมียมเข้มข้น 34.2 มิลลิกรัมต่อลิตร) ต่ำกว่าน้ำเสียที่วัดจากโรงงานโดยตรงเช่นของ Rajamani(1992)ที่มีค่า 139 มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่วนค่าที่เคเอ็นพบได้ระหว่าง 204-371 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 10-18 ของปีโอซี นับว่าสูงพอจะบับัดทางชีวะ ค่าของแ็งอินทรีย์หรือทีวีเอส 1500-2837 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 19 และ 29 ของของแ็งทั้งหมดสำหรับน้ำเสียพอกหนังของสหรัฐ ค่าความเป็นด่าง 394-1600 มิลลิกรัมต่อลิตร และแคลเซียม 1150 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียพอกหนังแสดงให้เห็นว่ามีความเค็มใกล้เคียงกับน้ำทะเล ส่วนซิลิไฟด์ 44-120 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียจะมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียไหลผ่านท่อหรือรางระบายมาก่อนเช่นของ Szpyrkowicz (1991) แต่ทั้งนี้ก็ยังนับว่ามีซิลิไฟด์และยังทำให้เกิดปัญหาภิระบบบับัดฯได้

เมื่อเปรียบลักษณะสมบัติน้ำเสียระหว่างประเทศไทยกับต่างประเทศ พบว่าน้ำเสียพอกหนังของไทยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆต่ำกว่าต่างประเทศ เว้นค่าปีโอซี-ซีโอซีที่ค่อนข้างสูง สังเกตได้ว่าน้ำเสียขององค์การพอกหนัง (Islam, 1982) มีความเข้มข้นต่ำกว่ากลุ่มพอกหนัง กม.30 อย่างเห็นได้ชัด และต่ำกว่าของต่างประเทศด้วย

2.2.2 มลสารต่อตันหนังดิบ

จากการศึกษาของ ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2520) ทำให้ทราบวากลุ่มโรงงานพอกหนัง (กม.30) จะระบายน้ำเสีย 32 ลูกบาศก์เมตรต่อทุกตันหนังดิบที่เข้าทำการพอก ในน้ำเสียประกอบไปด้วยปีโอซี 106 กิโลกรัม ซีโอซี 175 กิโลกรัม เอสเอส 6 กิโลกรัม ทีวีเอส 2.62 กิโลกรัม ทีเอส 96 กิโลกรัม และโครเมียม 0.05 กิโลกรัม ดังตารางที่ 2.3

Rajamani (1992) ได้รายงานผลการศึกษาในอินเดียว่า โรงงานพอกหนังจะทำให้เกิดน้ำเสีย 30-35 ลูกบาศก์เมตรต่อตันหนังดิบ ปริมาณมลสารถ่ายทิ้งต่อตันหนังดิบแสดงดังตารางที่ 2.3 ปีโอซีมีค่า 55 กิโลกรัม ซีโอซี 135 กิโลกรัม เอสเอส 100 กิโลกรัม ทีเอส 700 กิโลกรัม คลอไรด์ 150 ซิลิไฟด์ 2 และโครเมียม 4.5 กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนมลสารเฉพาะน้ำเสียจากการพอกโครมมีค่าปีโอซีเพียงร้อยละ 0.9 ของน้ำเสียรวมในขณะที่มี

ตารางที่ 2.3 มลสารต่อตันหนึ่งติบจากน้ำเสียพอกหนัง

พารามิเตอร์ (กก.ต่อ ตันหนึ่งติบ)	สำรวจโดย						
	ธงชัย (2520)	Rajamani(1992)		Nemerow (1970)	NTIS (1971)	Wood (1992)	Mayhofer (1992)
		รวม	น้ำโครม				
น้ำเสีย ลบม.	32	30-35	1.2	62-92	14.05	50	57
ปีไอดี	106	55	0.5	77	81	100	64
ซีไอดี	175	135	2.5	225	-	235-250	188
ออร์แกนิกเอ็น	1.12	-	-	-	-	-	8.2
ทีเคเอ็น	3.75	-	-	-	-	-	12.1
เอสเอส	5.82	100	1	-	162	150	104
ทีวีเอส	2.62	-	-	116	193	-	-
ทีเอส	95.62	700	81	616	661	-	-
โครเมียม	0.05	4.5	4.0	3.85	17.36	5-6	4.8
แคลเซียม	-	-	-	-	78.25	-	-
คลอไรด์	-	150	20	231-308	-	-	-
ซิลไฟด์	120	2	0	9.2	3.91	10.0	3.4
แหล่งสำรวจ	รวมๆกม. 30	อินเดีย		สหรัฐฯ	สหรัฐฯ	อังกฤษ	เยอรมัน

โครเมียมเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 89 ของน้ำเสียรวม

Nemerow (1970) ได้รายงานผลการสำรวจโรงงานฟอกหนัง 443 แห่งของสหรัฐอเมริกาว่าจะทำให้เกิดน้ำเสีย 62-92 ลูกบาศก์เมตรต่อตันหนังดิบ ปริมาณมลสารถ่ายทิ้งต่อตันหนังดิบมีค่าเฉลี่ยปียอดี 77 กิโลกรัม ซีโอดี 225 กิโลกรัม ทีเอส 616 กิโลกรัม ซัลไฟด์ 9.24 กิโลกรัม โครเมียม 3.85 กิโลกรัม ดังตารางที่ 2.3

การศึกษาโรงงานฟอกหนังในสหรัฐโดย NTIS (1971) ได้ระบุว่า การฟอกหนัง 1 เมตริกตันจะทำให้เกิดน้ำเสีย 14.05 ลูกบาศก์เมตร ประกอบไปด้วย ปียอดี 81.0 กิโลกรัม เอสเอส 162 กิโลกรัม ทีเอส 661 กิโลกรัม แคลเซียม 78.25 กิโลกรัม ซัลไฟด์ 3.91 กิโลกรัม และโครเมียม 17.36 กิโลกรัม ทั้งนี้พบว่ามีการใช้น้ำประหยัดที่สูบน้ำแต่มีการศึกษากันมา

Wood (1992) ได้กล่าวถึงมลสารที่เป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากอุตสาหกรรมฟอกหนังของอังกฤษว่า จากหนังดิบ 1 ตัน เมื่อฟอกแล้วจะเกิดเป็นน้ำเสีย 50 ลูกบาศก์เมตร ปียอดี 100 กิโลกรัม ซีโอดี 235-250 กิโลกรัม เอสเอส 150 กิโลกรัม โครเมียม 5-6 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 2.3

Rajamani (1992) ทำการวิจัยเพื่อนำกลับโครเมียมในประเทศอินเดีย ได้แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเสียรวมจากกระบวนการฟอกโครม ดังปรากฏในตารางที่ 2.3 ตลอดจนอธิบายถึงสภาพการฟอกหนังของอินเดียว่า โรงงานฟอกหนังทั้งหมดประมาณ 2000 โรง ทำการฟอกหนังถึงปีละ 500,000 เมตริกตัน กว่าร้อยละ 80 เป็นการฟอกโครม ทั้งนี้อุตสาหกรรมฟอกหนังของอินเดีย มีรูปแบบการดำเนินการใกล้เคียงกับประเทศไทยที่สุด

Mayhofer (1992) ได้รายงานผลการศึกษาโรงงานฟอกหนัง 18 แห่งในประเทศเยอรมันนี้ ว่ามีค่าเฉลี่ยของมลสารในน้ำเสียที่ใส่ไป 57 ลูกบาศก์ต่อตันหนัง มีดังนี้ คือ ปียอดี 64 กิโลกรัม ซีโอดี 188 กิโลกรัม เอสเอส 104 กิโลกรัม โครเมียม 4.8 กิโลกรัม ซัลไฟด์

3.4 กิโลกรัม ดังตารางที่ 2.3 ทั้งนี้ตารางที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของการฟอกหนังกับการใช้น้ำในแต่ละขั้นตอนที่เรียกว่า "รอยท์ลิงเกอร์โมเดล" (Reutlinger Model) ซึ่งเป็นมาตรฐานการใช้น้ำในการฟอกหนังแบบ ละลายขน-ฟอกโครม-ย้อมเปียก (Hair Pulp Chrom tan-Retan-Wet Finish) ของเยอรมันนี้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการใช้น้ำแต่ละขั้นตอนของการฟอกหนัง (Reutlinger model)

ขั้นตอนการฟอกหนัง	ปริมาณการใช้น้ำ(ลบม./ตัน)
แช่/ล้าง (Soaking/Washing)	6
แช่น้ำปูนขาว/กำจัดขน (Liming/Unhairing)	9
ล้างปูนขาว/แช่สารเคมี (Deliming/Bating)	5
ดองกรด (Pickling)	0
ฟอก (Tanning)	1
ล้าง (Rinsing)	3
ทำให้เป็นกลาง (Neutralization)	1.5
ล้าง (Rinsing)	6
ฟอกทับ, ย้อม, ใส่ไขมัน (Retanning/dyeing/Fattaning)	1.5
ล้าง (Rinsing)	6
ตาก/อบแห้ง (Drying)	0
ตกแต่ง (Finishing)	21
รวม	60

จากการศึกษาที่ผ่านมาเห็นได้ชัดว่า ประเทศไทยมีลักษณะและปริมาณมลสารถ่ายทิ้ง ใกล้เคียงกับประเทศอินเดียมากที่สุด และมีค่ามลสารต่ำกว่าของยุโรปและสหรัฐ เว้นการศึกษา ของ NTIS (1970) ในสหรัฐที่พบว่ามีการใช้น้ำต่ำมาก แต่คงมีมลสารอื่นที่สูง กรณีการศึกษา ในไทยพบว่ามีความเค็มต่ำมาก เนื่องจากการเก็บน้ำตัวอย่างกระทำที่ปลายรางเปิดก่อนไหล ออกสู่ทะเล ดังนั้นการตกตะกอนเค็มระหว่างที่ไหลมาในรางจึงได้เกิดขึ้นมากแล้ว

2.2.3 กากของเสียที่เป็นของแข็ง



กากของเสียในอุตสาหกรรมฟอกหนังเกิดขึ้นได้จากหลายขั้นตอน เช่น กากฟุ้งผิดที่เกิด จากการบูดทิ้งโดยคนหรือเครื่องจักร เศษส่วนหัว หาง ขูของหนังดิบที่ไม่ต้องการ เศษหนัง ที่ตัดทิ้งและเจียรออกเพื่อให้หนังหลังฟอกมีรูปตามต้องการและมีความหนาสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังมีเศษหนังที่เกิดจากการตัดแต่งหลังจากแต่งหนังแล้วอีกพวกหนึ่ง ในบรรดากากทั้งหมดนี้ เศษหนัง เจียรนับเป็นกากของเสียอันตรายและก่อให้เกิดปัญหามากที่สุดสำหรับสิ่งแวดล้อม

Wood (1991) แสดงผลผลิต ผลพลอยได้และกากของเสียจากการฟอกหนังเอาไว้ดัง ตารางที่ 2.5 จากหนังดิบ 1000 กิโลกรัม จะได้หนังฟอกสำเร็จ 200 กิโลกรัม เศษ หัว หาง ขู 120 กิโลกรัม ซึ่งจะนำไปอบหรือตากแห้งเพื่อผลิตเจลาติน กากผุ้งผิด 70-230 กิโลกรัม มากน้อยขึ้นกับลักษณะหนังสัตว์ กากฟุ้งผิดนี้มักนำไปเป็นอาหารสัตว์ทั้งในรูปสดหรือส่วนผสม ของอาหารเม็ด หนังที่ฟอกโครมแล้วจะเกิดกากหนังเจียรและเศษที่ตัดทิ้งอย่างละ 115 และ 100 กิโลกรัม การจัดการกับเศษหนังโครมนี้จะได้กล่าวถึงในหัวข้อ 2.3.3 ต่อไป ส่วนเศษ หนังที่เกิดจากการตกแต่งขั้นสุดท้ายจำนวนประมาณ 32 กิโลกรัม จะนำไปผลิตเบาะ-พรมเช็ดเท้า นอกจากนี้ยังพบว่ามีส่วนที่เกิดจากการตีหนังให้นุ่มและขัดมันหนังอีกประมาณ 2 กิโลกรัม

Ya Hui (1992) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำกากของเสียจากการฟอกหนังกลับมาใช้ ประโยชน์ พบว่าทุกๆ 1000 กิโลกรัมหนังดิบ จะเกิดเศษหนังเจียรออกมา 37-47 กิโลกรัม ทั้งนี้ เป็นข้อมูลของโรงงานฟอกหนังในประเทศไทย จะเห็นได้ว่ามีปริมาณเศษหนังเจียรเป็นของ เสียออกมาน้อยกว่าการฟอกหนังในอังกฤษ (100 กิโลกรัม) ร้อยละ 58

ตารางที่ 2.5 ผลผลิตและผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมฟอกหนัง (Wood, 1992)

วัตถุดิบ	หนังสัตว์ดิบคองเค็ม	1000 กิโลกรัม
ผลผลิต	หนังสำเร็จ	200 กิโลกรัม
ผลพลอยได้	เศษ หัว หาง บู	120 กิโลกรัม
	พังผืด	70-230 กิโลกรัม
	เศษหนังโครมตัด	115 กิโลกรัม
	เศษหนังเจียร	100 กิโลกรัม
	ฝุ่นหนัง	2 กิโลกรัม
	เศษหนังย่อย	32 กิโลกรัม

ปัจจุบันในประเทศไทย การนำเศษหนังเจียรไปทิ้งยังกองขยะหรือแหล่งทิ้งยังคงมีอยู่ทั่วไป สำหรับบริเวณ กม.30 จังหวัดสมุทรปราการ มักนำไปทิ้งที่กองขยะสุขาภิบาล ต.แพรกษา เศษหนังโครมดังกล่าวนี้เมื่อมีใครเมี่ยมปะปนอยู่ และจะปนเปื้อนลงในดินเกิดปัญหามลพิษสะสมได้ จึงเป็นการควรอย่างยิ่งที่จะต้องจัดการกับกากของเสียดังกล่าวให้เหมาะสมถูกต้องและไม่มีปัญหาติดตามมาภายหลัง

2.3 การจัดการมลพิษของอุตสาหกรรมฟอกหนัง

2.3.1 การบำบัดทางชีวะ

ธงชัย พรธสวัสดิ์ (2520) ได้อธิบายว่า น้ำเสียจากกลุ่มโรงงานฟอกหนัง กม.30 นั้นสามารถบำบัดได้โดยกระบวนการทางชีวะแบบใดแบบหนึ่ง ทั้งนี้จำเป็นต้องพักน้ำเสียให้ตก

ตะกอนก่อนอย่างน้อย 1-2 วัน และควรบำบัดด้วยวิธีแอนเอโรบิกก่อนวิธีแเอโรบิก เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ และจะทำให้น้ำเสียมีธาตุไนโตรเจนเพียงพอต่อการบำบัดแบบแเอโรบิกต่อไป

Islam (1992) ได้ศึกษาผลของโครเมียมที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพอกหนัง อาศัยน้ำเสียจากองค์การพอกหนัง เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร สรุปได้ว่าระบบบำบัดแบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ ที่ระยะเวลาเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง จะสามารถกำจัดของเสียในรูปซีไอดีได้ถึงร้อยละ 81 ความเป็นพิษของโครเมียม III ต่อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดจะขึ้นกับปริมาณโครเมียม III ที่ละลายอยู่ในน้ำ แต่การละลายของโครเมียม III นั้นขึ้นกับลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ได้แก่ พีเอช ความเป็นต่าง ฯลฯ ดังนั้นจึงต้องทราบปริมาณโครเมียม III ที่ละลายในน้ำก่อนจึงจะรู้ถึงสภาพเป็นพิษได้ ตามปกติแล้วน้ำเสียรวมจากการพอกหนังจะมีพีเอชค่อนข้างต่ำ จึงทำให้การตกตะกอนโลหะโครเมียม III เป็นไปได้ง่าย ถ้าพักน้ำเสียให้ตกตะกอนก่อนโดยมีปริมาณโครเมียมสูงสุดที่ควรเป็นคือ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

ส่วนความเป็นพิษของโครเมียม VI ต่อจุลินทรีย์จะขึ้นกับความเข้มข้นของน้ำเสียและปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำ (MLSS) ถ้าอัตราส่วน F/M ต่ำกว่า 0.25 แต่จะขึ้นกับปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำ (MLSS) เท่านั้น ถ้าอัตราส่วน F/M สูงกว่า 0.25 โดยความเป็นพิษของโครเมียมจะเพิ่มขึ้นหากปริมาณทั้งสอง (พีไอดี, MLSS) ลดลง ปริมาณโครเมียมสะสมสูงสุดที่ตะกอนจะรับได้ก็คือ 45 มิลลิกรัมโครเมียม VI ต่อ 2 กรัม MLVSS

Paul (1978) ได้รายงานผลการบำบัดน้ำเสียพอกหนังในรัฐนิวแฮมป์เชียร์ของสหรัฐ ซึ่งมีเฉพาะน้ำเสียจากการพอกที่เป็นกรดจัดเท่านั้น เนื่องจากได้แยกแผนกรรมวิธีก่อนการพอกที่มีปริมาณพีไอดีสูงออกไปยังรัฐอื่น ว่าจำเป็นต้องได้รับการปรับพีเอช และบำบัดขั้นต้นก่อนจากน้ำเสียเข้าที่มีพีเอชเป็นกรด และมีค่า เอสเอส 1450 มิลลิกรัมต่อลิตร โครเมียม 27-52 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปผ่านตะแกรง บ่อพัก บ่อเติมปูนขาว บ่อตกตะกอนและบ่อพักสุดท้าย จะสามารถกำจัดเอสเอสโครเมียม และซีไอดีได้ร้อยละ 92, 98 และ 75 ตามลำดับ หลังจากนั้นน้ำเสียสามารถถูกบำบัดได้โดยสระบำบัด (lagoons) ต่อไป

Robert (1978) ได้ทำการวิจัยที่เมืองนาพา รัฐแคลิฟอร์เนีย โดยใช้ระบบบ่อเติมอากาศที่มีสาหร่าย (Algae Oxidation Pond) ในการบำบัดน้ำเสียพอกหนึ่งจากโรงงานสองแห่ง พบว่าบ่อเติมอากาศสามารถกำจัดโครเมียมได้ร้อยละ 83-97 โดยทำการบำบัดทางเคมีและทางกลเป็นขั้นตอนก่อนที่น้ำเสียที่เข้าบ่อเติมอากาศจะมีโครเมียมไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระดับความเข้มข้นดังกล่าวโครเมียมจะไม่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย ตรงกันข้ามการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายจะเป็นปัจจัยที่ควบคุมค่าพีเอชของน้ำในบ่อและน้ำขาออก

2.3.2 การนำกลับโครเมียม

ปัจจุบันการกำจัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพอกหนึ่งทั่วโลกได้เปลี่ยนแปลงไป โดยพยายามลดปริมาณผลสารถ่ายทิ้งต่อตันหนึ่งให้น้อยลง และพยายามนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ซึ่งการนำกลับโครเมียม เป็นมาตรการที่สำคัญที่สุดในการช่วยลดโครเมียมในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมพอกหนึ่ง

การนำกลับโครเมียมในอุตสาหกรรมพอกหนึ่งของเยอรมันนี้ มีมาแล้วกว่า 60 ปี (Mayhofer, 1992) โดยวิธีการสามแบบคือ

1. การนำสารละลายพอกโครมกลับมาใช้โดยตรง โดยใช้ในขั้นตอนดองกรดเตรียมพอกหรือพอกทับ
2. นำน้ำเสียจากการพอกมาตกตะกอนด้วยสารเคมี แล้วนำโครเมียมที่ได้กลับมาเติมกรดและนำไปพอกหนึ่งใหม่
3. เฝ้าตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่มีโครเมียม และนำโครเมียมนี้เข้าจากเตาเผากลับมาใช้ใหม่

ในข้อ 1 เป็นการนำสารละลายโครเมียมมาใช้ใหม่โดยตรง ดังนั้นจึงไม่มีเทคนิคที่สลับซับซ้อน แต่ผลการใช้งานจะทำให้หนึ่งมีคุณภาพด้อยลงได้ (Rajamaini, 1992) สำหรับในข้อ 3 จำเป็นต้องใช้พลังงานมากที่จะเผาตะกอน ส่วนในข้อ 2 พบว่าโครมที่ได้สามารถพอกหนึ่งได้ดีเช่นโครมสด แต่การตกตะกอนจำเป็นที่จะต้องมีความชำนาญทางเทคนิคดังที่พบรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

Svancer, 1973 ทำการวิจัยในประเทศเชโกสโลวาเกีย โดยใช้ก๊าซแอมโมเนีย ($\text{NH}_3(\text{g})$) ทำให้เกิดตะกอนโครเมียม $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการล้างกำจัดปูนออกจากผนัง อัตราแลกเปลี่ยนแอมโมเนียต่อโครเมียมที่ได้คือ 0.655 (kg NH_3 /kg Cr) ปฏิกริยาการเติมก๊าซแอมโมเนียลงในสารละลายโครมจะเกิดการตกตะกอนได้ดีที่ พีเอช 5.5-6 น้ำใสที่แยกออกจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะเหลือแอมโมเนียซัลเฟต 10 กรัมต่อลิตร

Mamakov, 1973 ได้ทำการตกตะกอนโครเมียมด้วยสารละลายปูนขาว $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ pH 7-8.8 โดยความเข้มข้นของ Cr^{+3} กับ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่ใช้เท่ากับ 130 ต่อ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร การแยกตะกอนออกจากน้ำจะใช้วิธีอิเล็กโทรฟลิตชัน จากนั้นจะละลายตะกอนด้วยกรดซัลฟูริกในอัตราส่วนน้ำหนัก H_2SO_4 : Cr เท่ากับ 1:1 ที่อุณหภูมิ 300 องศา แล้วกรองเอาน้ำใสกลับไปเติมโครมและใช้อีก

Nilolov, 1970 ได้ทำการตกตะกอนโครเมียมด้วยสารละลายปูนขาว $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เช่นกันแต่ใช้อัตราส่วนที่ใช้เป็น Cr^{+3} ต่อ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ เท่ากับ 1:1 โดยความเข้มข้นของสารทั้งสองมีค่า 3000-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรร้อยละ 99.6-100 ของโครเมียมจะตกตะกอนได้ ตะกอนที่ได้จะมีน้ำอยู่ร้อยละ 94.1-87.1 ตามลำดับ จากนั้นจะเติมกรดซัลฟูริกในอัตราส่วนน้ำหนัก 1.9 g H_2SO_4 ต่อ 1 g Cr สารละลายที่ได้จะนำกลับไปใช้ฟอกได้ทันที

ในประเทศเนเธอร์แลนด์ Langerwerf J.S.A. ได้ทดลองในปี 1977, 1978 พบว่าการตกตะกอนโครเมียมในน้ำทิ้งจากการฟอกโครม จะให้ผลดีที่สุดถ้าใช้แมกนีเซียมออกไซด์เป็นสารโคแอกกูแลนต์ โดยตะกอนที่ได้จะตกในอัตรา 250 มม. ต่อชั่วโมง ส่วนน้ำใสที่ได้จะมีโครเมียมเหลืออยู่ต่ำกว่า 2-5 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีพีเอชไม่สูงนัก (8-9) การนำโครเมียมที่ได้กลับไปฟอกใหม่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของหนังที่ฟอก

Simoncini, 1977 ชาวอิตาลี ได้นำกลับโครเมียมโดยการใส่ โซเดียมไฮดรอกไซด์, โซเดียมคาร์บอเนต และแมกนีเซียมออกไซด์ เติมสารเคมีทั้งสามในอัตราส่วน 6.5-12.5, 8.5-16.8 และ 3.1-6.1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ลงในสารละลายที่มีโครม 8

กรัมต่อลิตร ในรูป Cr_2O_3 จะเกิดการตกตะกอนที่พีเอช 9.0 การละลายตะกอนทำได้ด้วยการเติมกรดซัลฟูริก เข้มข้น 10.7 กรัมต่อลิตรของสารละลายตะกอน

Popa, 1975 ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโบแตสโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปสารละลาย เข้มข้นร้อยละ 10-25 ตกตะกอนโครเมียม ที่ความดัน 1-3 บรรยากาศและอุณหภูมิสูงจาก นั้นกรองแยกตะกอนออกและสามารถนำกลับโครเมียมได้ร้อยละ 97 นอกจากนี้ Dobrescu, 1978 ซึ่งเป็นชาวโรมาเนีย ได้ทดลองในปี 1978 โดยใช้แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็นโคแอกกูแลนต์ ความเข้มข้นที่ใช้อยู่ระหว่างร้อยละ 22-25 % ปฏิกริยาเกิดที่พีเอช 7.2 และกรองแยกสาร ประกอบโครเมียมออกมา อัตราที่สามารถนำกลับโครเมียมได้อยู่ระหว่างร้อยละ 92-98 หรือคิด เป็น 9-10 กิโลกรัม Cr_2O_3 ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

Comino, 1980 รายงานว่าการนำกลับโครเมียมทำได้ด้วย การปรับพีเอชเป็น 7-8 ด้วยด่างแก่ (โซเดียมไฮดรอกไซด์, โบแตสโซเดียมไฮดรอกไซด์) ทั้งนี้ต้องอุ่นสารละลายให้มีอุณหภูมิ สูงขึ้นประมาณ 35 องศา จากนั้นกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ นำตะกอนไปเติมกรดซัล ฟูริกให้ได้พีเอช 2 จะได้สารละลายโครเมียมซัลเฟตซึ่งนำกลับไปใช้ฟอกหนังใหม่ได้ตามต้องการ

Chirita, 1982 รายงานว่าการนำกลับโครเมียมทำได้โดยตกตะกอนโครเมียมด้วย ผงปูนขาวที่มากเกินพอ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ 10%) จากนั้นการละลายตะกอนจำเป็นต้องใช้กรดซัลฟูริกที่ มากเกินพอถึงอีกหนึ่งเท่าตัว เนื่องจากจำเป็นต้องทำปฏิกริยาให้เกิดแคลเซียมซัลเฟต CaSO_4 แยกออกมาก่อนโดยการกรองตะกอน จากนั้นสารละลายที่ได้จะต้องปรับคุณภาพด้วย $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2SO_4 และกลูโคส ก่อนนำไปฟอกหนังใหม่ ระยะเวลาของปฏิกริยาขั้นตกตะกอนโคร เมียมจะใช้เวลา 45-50 นาที ที่ 20 องศา ส่วนขั้นที่สอง (ละลายตะกอน) ใช้เวลา ประมาณ 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

Tibaldi, 1984 ชาวอิตาลี ได้อธิบายวิธีการนำกลับโครเมียมว่า ทำได้โดย ตกตะกอนด้วยด่างแก่หรือเกลือของกรดอ่อนเช่น โซเดียมคาร์บอเนต Na_2CO_3 (15-30%) ที่พีเอช 6.9-7.2 อุณหภูมิ 22-26 องศาเซลเซียส เมื่อได้ตะกอนแล้วจำเป็นต้องกรองแยกให้ได้ตะกอนเข้มข้นร้อยละ 20 จากนั้นนำไปละลายในกรดซัลฟูริกที่พีเอช 1.8-2.0 ด้วยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ก็จะได้สารละลายที่ต้องการ

ในสาธารณรัฐประชาชนจีน Jie, 1984 ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการนำกลับโครเมียมด้วยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และด่างอื่นๆ ที่พีเอช 8.5-9.0 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ตะกอนที่เกิดขึ้นจะต้องนำมาผสมกับปูนขาวจนได้พีเอช 11 และทำปฏิกิริยากับไอน้ำ 2 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารมลพิษ จากนั้นจะล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนและกรองด้วยเครื่องอัด ละลายตะกอนด้วยกรดซัลฟูริก สารละลายที่ได้จะมีโครเมียม 20 - 96 กรัมต่อลิตร ในรูป Cr_2O_3 ประสิทธิภาพในการนำกลับโครเมียมเท่ากับร้อยละ 95

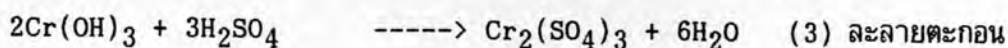
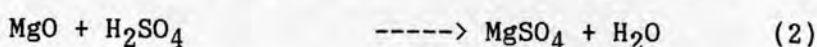
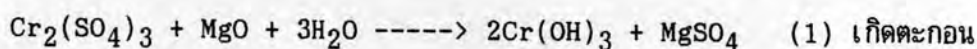
Andres, 1985 ได้ทำการทดลองเพื่อนำกลับโครเมียม ณ กรุงเวียนนา ประเทศออสเตรีย โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เมื่อเกิดตะกอนแล้วเขาจะกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศก่อนละลายตะกอนด้วยกรดซัลฟูริก ต่อมา Khavroshin, 1987 ชาวรัสเซียได้ยืนยันผลดีของการใช้โซเดียมคาร์บอเนต เปรียบเทียบกับการใช้ปูนขาวและแอมโมเนีย (CaOH , $\text{NH}_3(\text{g})$) ว่าตะกอนที่เกิดขึ้นโดยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) สามารถแยกน้ำออกได้ง่ายกว่าด้วยเครื่องอัดกรอง (filter press)

Costas, 1985 เป็นอีกคนหนึ่งที่ใช้แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) เพื่อนำกลับโครเมียมร่วมกับปูนขาว (CaO) แมกนีเซียมคาร์บอเนตและซีโอไลต์ ที่พีเอช 9.0 โดยน้ำเสียดิบมีโครเมียมเข้มข้น 4-10 กรัม Cr_2O_3 ต่อลิตร รายงานระบุว่าปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้คิดเป็นร้อยละ 24 ของโครเมียมที่ใช้พอกหนึ่งทั้งหมด

ในปี 1985 เช่นกันในยูโกสลาเวีย Rasim ได้นำเอาโบแตสเซียมออกไซด์, แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ และปูนขาว มาทดลองตกตะกอนโครเมียมเปรียบเทียบกับ ผลคือ โบแตสเซียมไฮดรอกไซด์ให้การตกตะกอนที่ดีที่สุด เมื่อละลายตะกอนแล้วด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) สารละลายที่ได้สามารถนำกลับไปพอกหนังแกะได้อีก

Roland, 1986 ได้พิมพ์บทความในสหรัฐอเมริกาใช้ต่างแก่เพื่อตกตะกอนโครเมียม เขาได้ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 30 ปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 8.7-9.0 และได้ใช้โพลีเมอร์ช่วยตกตะกอนจะสามารถลดโครเมียมในน้ำทิ้งลงต่ำกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ยังคงจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดกรอง (filter press) เพื่อเพิ่มความเข้มข้นตะกอนจากร้อยละ 5 ไปเป็นร้อยละ 30 เมื่อละลายตะกอนด้วยกรดแล้วจำเป็นต้องใส่โครมสดเพื่อนำสารละลายกลับไปพอกใหม่

ในประเทศอินเดีย Rajamani, 1992 ได้รายงานว่าการนำกลับโครเมียมสามารถกระทำได้สามวิธีคือ นำน้ำพอกโครมที่ใช้แล้วกลับมาใช้อีกโดยตรง การนำโครเมียมกลับโดยการตกตะกอนและการแยกโครเมียมออกจากสารประกอบอื่นในน้ำ วิธีที่ใช้ได้ผลดีที่สุดคือการนำกลับโดยการตกตะกอนด้วยต่าง ผลการวิจัยพบว่าการใช้ต่างที่มีปฏิกริยารุนแรงจะทำให้เกิดตะกอนตกยาก จำเป็นต้องใช้เครื่องรีดน้ำออกจากตะกอน เช่นตะกอนที่เกิดจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ถ้าใช้ปูนขาวตะกอนที่ได้จะประกอบด้วยแคลเซียมซัลเฟตซึ่งทำให้การละลายตะกอนกลับทำได้ยากแต่การใช้แมกนีเซียมออกไซด์จะให้ตะกอนที่จับได้ดีและสามารถละลายตะกอนกลับได้ง่ายโดยการเติมกรดซัลฟูริกจะเกิดเป็นแมกนีเซียมซัลเฟตและโครเมียมซัลเฟตดังสมการ



ตารางที่ 2.6 ลักษณะสมบัติและปริมาณผลสารต่อต้านหนึ่งในน้ำเสียฟอกโครม ตะกอนโครเมียม และน้ำใส [Rajamani, JAN 1992]

พารามิเตอร์	น้ำเสีย ฟอกโครม	ตะกอนโครม ที่ตกแล้ว	น้ำใส ที่รินทิ้ง
ปริมาตร (ล./ตันแห้ง)	1200	90	1110
พีเอช	3.7	8.2	8.3
โครเมียม (กก./ตันแห้ง)	4.00	3.99	0.01
ดีเอส (กก./ตันแห้ง)	80	6	74
คลอไรด์ (กก./ตันแห้ง)	20	1.5	18.5

ตารางที่ 2.6 แสดงปริมาณโครเมียม, ดีเอส, คลอไรด์ ต่อตันแห้งเปรียบเทียบระหว่างน้ำเสียจากการฟอกโครม สลัดจ์หรือน้ำตะกอน และน้ำใสที่รินทิ้ง สังเกตว่าปริมาณโครเมียมที่นำกลับได้โดยการใช้น้ำเชื่อมออกไซด์จะสูงถึงร้อยละ 99.75 ในขณะที่ดีเอสและคลอไรด์ในน้ำทิ้งมีค่าลดลงด้วย

ในการวิจัยชิ้นนี้มีการทดสอบคุณภาพของหนังซึ่งฟอกด้วยโครเมียมใหม่ และโครเมียมที่ได้จากการนำกลับ พบว่าคุณภาพของหนังในด้านต่างๆไม่แตกต่างกัน และประมาณการงบประมาณที่ใช้ในการสร้างและเดินเครื่องระบบนำกลับของโรงงานขนาด 10 เมตริกตันแห้งดิบต่อวัน จะมีระยะคุ้มทุนประมาณ 1 ปีเท่านั้น

จากการศึกษาข้างต้นอาจจำแนกสารเคมีที่ใช้ออกเป็นสามกลุ่มคือ

สารเคมีที่ใช้ตกตะกอนโครเมียม

1. ปูนขาว
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโบแตสเซียไฮดรอกไซด์
3. แมกนีเซียออกไซด์
4. โซเดียมคาร์บอเนต
5. แอมโมเนียและแอมโมเนียไฮดรอกไซด์

สารเคมีที่ช่วยตกตะกอน

1. โพลีเมอร์

สารเคมีที่ใช้ละลายตะกอน

1. กรดซัลฟูริก

ผลการศึกษาที่ผ่านมามีความแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะของน้ำเสียพอกหนังที่พบในแต่ละประเทศเป็นสำคัญ การจะเลือกรูปแบบใดเหมาะสมกับประเทศไทยนั้นต้องอาศัยการวิจัยช่วยชี้แนวทาง ซึ่งได้ศึกษากันอยู่ในขณะนี้ (ธงชัย, 2536)

2.3.3 การจัดการกากของเสีย

กากของเสียจากอุตสาหกรรมพอกหนังนั้นมีหลายส่วนที่ได้กล่าวแล้ว แต่ส่วนที่มีความสำคัญต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมนั้น ได้แก่ เศษหนังเจียร และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย

Ya Hui, (1992) ได้วิจัยเพื่อใช้ประโยชน์จากเศษหนังตากและเจียรที่มีโครเมียมสูงของไทย โดยทำการย่อยสลายแยกเอาโปรตีนออกมาด้วยสารละลายปูนขาว จากนั้นกากที่เหลือจะนำไปสกัดด้วยกรดซัลฟูริก เพื่อให้ได้โครเมียมในรูปสารละลายโครเมียมซัลเฟตโปรตีนร้อยละ 60-70 สามารถนำกลับมาใช้เคลือบหนังด้วยโครเมียมออกไซด์ 0.15 กรัมต่อโปรตีนหนึ่งกรัม เวลาที่ใช้ย่อยประมาณ 2.5 ชั่วโมง ความเข้มข้นของโครเมียมในโปรตีนมีค่า 0.15-2.90



ส่วนในล้านส่วน ปริมาณกรดซัลฟูริกที่ใช้สกัดโครเมียมที่เหมาะสม (กรด : น้ำ) คือ 1 : 4 ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เวลาสกัด 4 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสำหรับโรงงานขนาด 3500-4000 กิโลกรัมแห้งดิบต่อวัน พบว่าสามารถคุ้มทุนได้ภายในสามปี หากเลือกที่จะผลิตโบรดินสำหรับทำกาาหนังสือ

Kumar (1992) ได้ใช้กรดซัลฟูริกเข้มข้น เพื่อย่อยสลายเศษหนังสือ เขาพบว่าเมื่อใช้เศษหนังสือ : กรด : น้ำ เท่ากับ 100 กรัม : 5 มิลลิลิตร : 600 มิลลิลิตร แล้วต้ม 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายโครมที่สามารถกรองแห้งได้เป็นอย่างดี เศษหนังสือ 1 กิโลกรัม จะให้โครมออกมา 130 กรัม สารละลายมีพีเอช 2.9 หากกรองแห้งจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง การทดลองนี้ยืนยันว่าโครมในเศษหนังสือสามารถนำกลับมาใช้พอกหนังสือใหม่ได้

การบำบัดน้ำเสียพอกหนังสือในปัจจุบัน ยังคงเป็นการบำบัดแบบแยกที่เวดเต็คสลัดจ์หรือบ่อบำบัด ในการนี้เกิดตะกอนที่มีโครเมียมปะปนอยู่สูง ในสหรัฐอเมริกาประมาณกันว่าในปี 1983 มีตะกอนดังกล่าวจำนวน 200,000 เมตริกตัน จากโรงงานกว่า 200 แห่งทั่วประเทศ (Russell, 1978) ซึ่งจะต้องถ่ายทิ้งลงไปสู่สิ่งแวดล้อม ตะกอนดังกล่าวเมื่อนำไปทิ้งแล้วพบว่าอาจมีโครเมียมเข้มข้นสูงถึง 2600 มิลลิกรัมต่อลิตร (Andres, 1978), 2100-5500 มิลลิกรัมต่อลิตร (Dreiss, 1986) การดำเนินการกับตะกอนดังกล่าวในสหรัฐ ได้แก่ การพยายามหมุนเวียนตะกอนให้อยู่ในระบบบำบัดนานที่สุด (เช่น เกี่ยวกับการศึกษาในอิตาลีของ Szpyrkowicz) การนำสลัดจ์ไปเผากับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Russell, 1978) ส่วนการนำตะกอนกลับไปปลูกพืชนั้นนับว่าไม่เป็นผลสำเร็จหากไม่ได้กำจัดโครเมียมออกก่อน (Thorstensen, 1979) อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายของโครเมียมจากตะกอนสู่ดินและน้ำใต้ดินนั้นมีเพียงร้อยละ 0.1 ในระยะเวลา 3 เดือน ซึ่งนับว่าน้อยมาก (Dreiss, 1986) ระดับโครเมียมสูงสุดในตะกอนก่อนทิ้งที่จะไม่เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์คือ 500 ส่วนในล้านส่วน (Shivas, 1978)

หากน้ำเสียจากการฟอกหนังมิได้ผ่านการบำบัดก่อน เมื่อระบายลงสู่ดินแล้ว พบว่า มีงานวิจัยหลายแห่งรายงานผลดังนี้

Barros, 1982 รายงานว่าหากใช้น้ำเสียจากการฟอกหนังโดยมิได้ เจือจาง ให้มากกว่าร้อยละ 10 แล้วนำไปรดพืชผักจะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงเนื่องจากความเค็ม และโครเมียม ทั้งนี้เป็นผลการศึกษาในประเทศโปรตุเกส

Hemphill, 1985 ทำการทดลองที่มหาวิทยาลัย โอเรกอน สหรัฐอเมริกา ระบุว่า การปลูกพืชพวกกระหล่ำบนดินที่รับน้ำเสียฟอกหนังสามารถกระทำได้ หากทิ้งดินนั้นพักไว้ ก่อนประมาณ 2 ปี น้ำเสียจะเพิ่มค่าพีเอชของดิน ไนโตรเจน และโครเมียมแก่ดิน และทำให้ เหล็กกับแมกนีเซียมสกัดออกจากดินได้น้อยลง ผลผลิตและเนื้อเยื่อของพืชไม่ได้รับผลเสียหายใดๆ จากน้ำเสียฟอกหนัง นอกจากนี้ยังเพิ่มปริมาณผลผลิตให้แก่แปลงเพาะปลูกอีกด้วย

Stramberg, 1984 ได้ใช้น้ำเสียฟอกหนังเพื่อการปลูกพืชไร่ พวกข้าวโพดหวาน บนแปลงในรัฐโอเรกอนเช่นกัน ดินเหนียวร่วนจะได้รับไนโตรเจน แมงกานีส และสังกะสีเพิ่มขึ้น จากน้ำเสียฟอกหนัง เขาทำการทดลองสองปีทำให้ทราบว่า น้ำเสียฟอกหนังจะเพิ่มปูนขาวและ ไนโตรเจนซึ่งช่วยให้ผลผลิตต่อไร่สูงขึ้นในปีแรก (1978) แต่ในขณะที่เดียวกันก็เพิ่มความเค็มและ โลหะหนักให้แก่ดินและพบว่าผลผลิตในปีต่อมาลดลง (1979) ดังนั้นจึงควรใช้น้ำเสียดังกล่าวใน อัตราที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 โครเมียม

โครเมียม เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของพืชและสัตว์ เช่นใน การย่อยสลายกลูโคส การสังเคราะห์กรดอะมิโนและกรดนิวคลีอิก อย่างไรก็ตามถ้าหากมีสะสม ในปริมาณที่สูงอาจทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ มีอาการคลื่นเหียนอาเจียนเป็นแผลพุพองตามผิวหนัง หรืออาจก่อให้เกิดมะเร็งปอด ซึ่งถ้าปริมาณการสะสมสูงขึ้นไปถึง 0.1 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัม น้ำหนักตัวก็ทำให้เกิดตายได้ (Mertz, 1974; Ajmal et al., 1984) โครเมียมในรูปโคร เมียม VI นับเป็นรูปที่เป็นพิษที่สุดสำหรับ แบคทีเรีย พืชและสัตว์ (Benoit, 1976; Mathur et al., 1977; Ross et al., 1981; Ajmal et al., 1984)

2.4.1 การเกิดและสะสมในธรรมชาติ ในรูปของแข็ง เราสามารถพบโครเมียม ได้ต่ำมากในหินแกรนิต, หินปูน และตะกอนทราย ส่วนในหินดินดานและตะกอนท้องน้ำจะมีโคร เมียมปะปนอยู่สูง พบว่ายิ่งดินและตะกอนมีขนาดละเอียดลงไปเท่าไรยิ่งสามารถพบโคร เมียมในปริมาณสูงยิ่งขึ้น (ดูตารางที่ 2.4.1) (Robertson, 1975; Salomans and De Groot, 1978)

ในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ เราสามารถพบโครเมียมได้ในช่วงค่าที่กว้าง (ดูตาราง ที่ 2.4.2) ในน้ำบาดาลบางครั้งอาจมีโครเมียมสูงถึง 4 ไมโครโมลต่อลิตรได้ ทั้งนี้ปริมาณ โครเมียมที่สูงดังกล่าวมักอยู่ในรูปสารละลายในน้ำ ตามปกติแล้วในน้ำสะอาดตามธรรมชาติมักมี โครเมียมต่ำกว่า 50 ไมโครกรัมต่อลิตรหรือประมาณ 1 ไมโครโมลต่อลิตรซึ่งเป็นระดับมาตรฐาน ของโครเมียมในน้ำดื่มที่กำหนดโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) และองค์การป้องกันสิ่งแวดล้อม ของสหรัฐอเมริกา (US EPA)

ตารางที่ 2.4.1 ปริมาณโครเมียมที่พบในของแข็งตามธรรมชาติ (Richard, 1991)

Table 1. Chromium content of natural solids

Type of solid	Chromium content ($\mu\text{mol/g}$)		References
	Typical	Range	
Lithosphere	2.4	1.5-3.8	a, b, c
Granite	0.4	0.02-0.5	d
Sandstone	0.7	0.2-1.9	e
Shale	1.7	1.7-7.7	d, e
Carbonate	0.2	0.02-0.3	e
Coastal suspended matter	—	0.01-0.21	f
Deep-sea clay	1.8	1.1-2.1	d, e
Marine sediment	—	0.2-0.7	h
River sediment	—	0-2	h
River suspended matter	3.6	—	i
Sandy sediment	0.5	0.3-0.7	d
Clay sediment	1.2	0.7-1.6	i
Clay	2.3	0.6-11.3	c
Soil	1.9	0.02-58	a, c, j

(a) Jones and Jarvis (1981); (b) Mason (1958); (c) Vokal *et al.* (1975); (d) Matzat and Shiraki (1978); (e) Förstner and Wittmann (1979); (f) Jeandel and Minster (1984); (g) Elderfield (1970); (h) Robbe *et al.* (1984); (i) Turekian and Scott (1967); (j) Kick *et al.* (1971).

ตารางที่ 2.4.2 ปริมาณโครเมียมที่พบในแหล่งน้ำต่างๆ (Richard, 1991)

Table 2. Dissolved chromium in natural and man-made waters

Type of water	Chromium concentration (nmol/l)		References
	Typical	Range	
Seawater	3	0.1-16	a-j
Interstitial water (marine sediments)	—	1.0-6.6	k
River	10	0-2200	l, m, n
Lake	—	<2-33	o, p, q
Groundwater	<20	10-4000	r-u
Polluted water	—	960-27,000	v
Tap water	8	0-700	w

(a) Grimaud and Michard (1974); (b) Cranston and Murray (1978); (c) Nakayama *et al.* (1981a); (d) Nakayama *et al.* (1981c); (e) Campbell and Yeats (1981); (f) Murray *et al.* (1983); (g) Cranston (1983); (h) Jeandel and Minster (1984); (i) Jeandel and Minster (1987); (j) Sherrell and Boyle (1988); (k) Gaillard *et al.* (1986); (l) Kopp and Kroner (1968); (m) Trefry and Presley (1976); (n) Cranston and Murray (1980); (o) Copeland and Ayers (1975); (p) Borg (1987); (q) Johnson and Sigg (1989); (r) Matthes (1974); (s) Brinckman (1974); (t) Robertson (1975); (u) Deverel and Millard (1988); (v) Permuter *et al.* (1963); (w) Vokal *et al.* (1975).

2.4.2 รูปของโครเมียมที่พบในธรรมชาติ โครเมียมเป็นโลหะานหมู่ทรานซิชันซึ่งมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าตั้งแต่ 0 ถึง 6 อย่างไรก็ตามในสภาพพีเอชและศักย์ของประจุตามธรรมชาติจะมีเพียงโครเมียม III และโครเมียม VI เท่านั้นที่พบได้เสมอ ส่วนรูปที่หายากของโครเมียม คือ โลหะโครเมียม หรือโครเมียม (0) (Rai, 1984)

ในสภาพที่มีศักย์ภาพในการออกซิไดส์น้อย โครเมียมที่พบในน้ำจะอยู่ในรูป Cr^{3+} , $Cr(OH)^{2+}$, $Cr(OH)_3^0$, $Cr(OH)_4^-$ (Rai et al., 1986, 1987) ทั้งนี้โครเมียมอิสระ Cr (III) จะพบในน้ำที่มีพีเอชต่ำกว่า 3.6 เท่านั้น (ดูรูปที่ 4.2.1) (ตามธรรมชาติจะไม่พบไอออนที่อยู่รวมกันเช่น $Cr_2(OH)^{4+}$, $Cr_3(OH)^{5+}$ และ $Cr_4(OH)^{4+}$) โครเมียมไตรวาเลนซ์ ดังกล่าวนี้จะมีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ และพร้อมจะเกิดปฏิกิริยาเป็นไอออนเชิงซ้อนกับประจุลบอื่น ๆ เช่น ไฮดรอกซิล ซัลเฟต แอมโมเนีย ไซยาไนต์ และซิลิโพลไซยาเนต ฟลูออไรด์และคลอไรด์

ในสภาพที่มีศักย์ภาพในการออกซิไดส์สูง โครเมียมที่พบในน้ำจะอยู่ในรูปเฮกซะวาเลนซ์ จะเป็น CrO_4^{2-} หรือ $HCrO_4^-$ ขึ้นกับพีเอช ดังรูปที่ 2.4.2

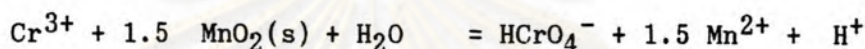
2.4.3 การเปลี่ยนแปลงสภาพของโครเมียมในน้ำตามธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงรูปไอออนของโครเมียมในน้ำธรรมชาติจะถูกควบคุมโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน

ก) การออกซิเดชัน เป็นการเปลี่ยนรูปจากโครเมียม III ไปเป็นโครเมียม VI พบว่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) สามารถออกซิไดส์โครเมียมได้ (Schroeder and Lee, 1975; Nakoyama et al., 1981; Rai et al., 1986; Eary and Rai, 1987) แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยามักช้ากว่าการจับตัวกันตกตะกอนของโครเมียม ดังนั้นการออกซิไดส์โดยออกซิเจนจึงมักเกิดขึ้นกับโครเมียมในดินมากกว่าในน้ำ สารที่เป็นตัวออกซิไดส์โครเมียมในน้ำมากที่สุดคือ แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) ซึ่งมักพบในสภาพเป็นเม็ดเล็ก ๆ หรือเป็นผงในดินตะกอนทั่วๆ ไป ทั้งนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีอยู่สามขั้นตอนคือ (Schroeder and Lee, 1975; Barlett and James, 1979; Amacher and Baker, 1982; Rai et al., 1986; Eary and Rai,

1987)

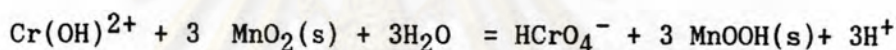
1. การดูดติด(adsorbtion) โครเมียม III ไว้บนผิวของ แมงกานีส ไดออกไซด์ (MnO_2)
2. โครเมียม III ถูกออกซิไดส์ไปเป็น โครเมียม VI โดย แมงกานีส IV
3. การคลาย โครเมียม VI และ แมงกานีส II ซึ่งเป็นผลของ ปฏิกิริยาออกจากแมงกานีสไดออกไซด์

ปฏิกิริยาดังกล่าวแสดงได้ดังสมการ



(จาก Amacher and Baker , 1982)

และ



(จาก Eary and Rai, 1987)

สารประกอบ $MnOOH(s)$ ซึ่งเป็นของแข็งจะละลายในน้ำกลายเป็น Mn^{2+} ได้ในภายหลัง ปฏิกิริยาออกซิไดส์ โครเมียม III ขึ้นกับปริมาณและพื้นที่ผิวของแมงกานีสไดออกไซด์ (Schroeder and Lee, 1975; Eary and Rai; 1987) ทั้งนี้ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและจะเกิดช้าลงภายใน 20-60 นาที แต่ปฏิกิริยายังไม่ยุติอย่างสมบูรณ์เนื่องจากมีแมงกานีส IV ที่อยู่ชั้นในเม็ดแร่ไม่สามารถออกซิไดส์โครเมียม III ที่ยังเหลืออยู่ได้ในพื้นที่ (Amacher and Baker, 1982; Rai et al., 1986)

ข) การรีดักชัน เป็นการเปลี่ยนรูปจากโครเมียม VI ไปเป็นโครเมียม III เกิดขึ้นได้โดยซัลไฟต์ในน้ำซึ่งมีแหล่งมาจากน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม, การเนาเปื้อยของสารอินทรีย์ และการเปลี่ยนรูปจากซัลเฟตในธรรมชาติ เมื่อเริ่มปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันทีภายใน 5 นาที และสิ้นสุดอย่างสมบูรณ์ภายในหนึ่งวัน (Schroeder and Lee, 1975)

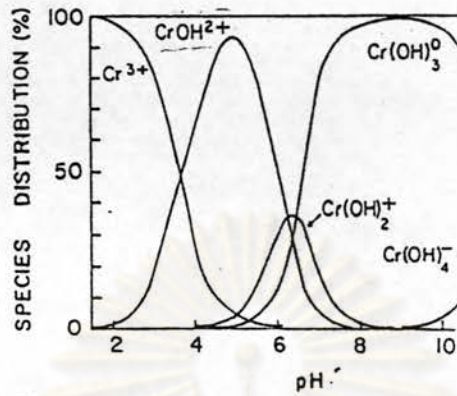


Fig. 1. Calculated inorganic chromium (III) species function of pH (solution in equilibrium with $\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{s})$ equilibrium data from Rai *et al.*, 1986, 1987)

รูปที่ 2.4.1 รูปแบบของโครเมียมที่ละลายน้ำที่ ค่าพีเอชต่างๆ (Rai, 1986)

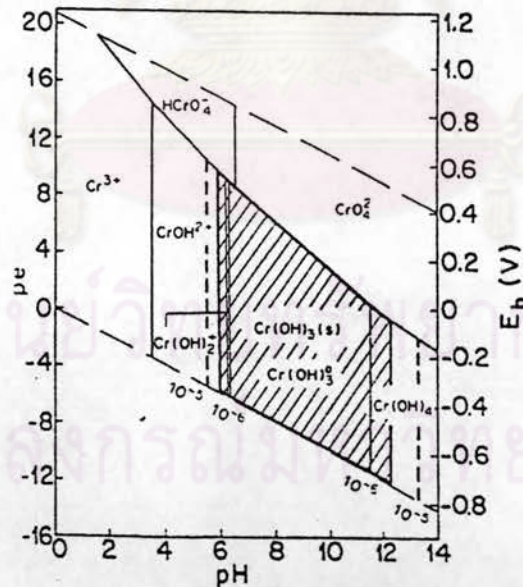
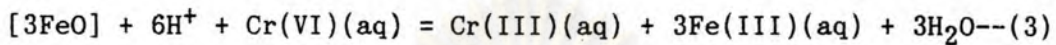


Fig. 3. pe - pH relationships for dissolved aqueous chromium species in presence of $\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{s})$. Equilibrium data from Rai *et al.* (1987). The hatched zone represents the domain of stability of $\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{s})$ for 10^{-6} M of total dissolved Cr, which can be extended to the dashed lines for 10^{-3} M of total dissolved Cr. At total concentrations of chromium lower than 10^{-6} M ($7.5 \mu\text{g/l}$), all chromium will be in dissolved form.

รูปที่ 2.4.1 รูปแบบต่างๆ ของโครเมียมที่ค่า พีเอชและอีเอช ต่างๆ กัน (Rai, 1987)

การรีดักชันของโครเมียมอาจเกิดขึ้นได้จากเหล็ก II ซึ่งมีแหล่งมาจากการสลายตัวของแร่เหล็ก, ดินเหนียวตามธรรมชาติ และโรงงานอุตสาหกรรม ปฏิกริยาระหว่างสารละลายของเหล็ก II กับโครเมียม VI มีดังสมการ



ปฏิกริยานี้จะสิ้นสุดภายในเวลาเพียง 2 นาทีในสภาวะธรรมชาติ ผลจากปฏิกริยาที่ได้จะรวมตัวกันเป็น Fe(III)/Cr(III) ตกตะกอนลงพร้อม ๆ กัน (Stollenwerk and Grove, 1985) เป็นไปได้ที่ $\text{Cr(OH)}_3(\text{s})$ จะถูกเปลี่ยนสภาพไปเป็นต่างที่ละลายน้ำ เพราะ $\text{Fe(OH)}_3(\text{s})$ นั้นละลายน้ำได้น้อยมาก

โครเมียม VI อาจถูกรีดิวซ์ไปเป็นโครเมียม III ได้ด้วยสารอินทรีย์ตามธรรมชาติ เช่น กรดอะมิโน (Schroeder and Lee, 1975) กรดฮิวมิคหรือกรดฟัลวิก (Goodgame et al., 1984; Bokyo and Goodgame, 1986) ปฏิกริยานี้เกิดได้ในสภาวะที่เป็นกรด (Cary et al., 1977) โดยจะเกิดโครเมียม V ชั่วครวณก่อนแล้วจึงเปลี่ยนไปเป็นโครเมียม III ภายใน 2-3 วัน อัตราการเกิดปฏิกริยาจะรวดเร็วในขั้นแรก (5 นาที) จากนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ เมื่อรวมเวลาแล้วปฏิกริยารีดิวซ์ของโครเมียม VI จะช้ากว่าการออกซิไดส์โครเมียม III

2.4.4 การดูดติดผิวโครเมียมในของแข็ง โครเมียม III จะถูกดูดติดผิวได้อย่างรวดเร็วและแน่นหนาแข็งแรงโดยเหล็กและแมงกานีสในดิน, แร่ดินเหนียวและทราย (Schroeder and Lee, 1975) โดย 90% ของโครเมียม จะถูกดูดติดผิวได้โดยดินเหนียวและเหล็กออกไซด์ภายใน 24 ชั่วโมง ทั้งนี้อัตราการดูดติดผิวจะน้อยลง ถ้ามีไอออนบวกของโลหะอื่นๆ หรืออินทรีย์ลิแกนด์ปะปนอยู่ในน้ำและดินดังกล่าว (ดูรูปที่ 2.4.3)

โครเมียม VI หรือโครเมตไอออนจะถูกดูดติดผิวไปโดย แมงกานีส อลูมิเนียม และ เหล็กออกไซด์, แร่ดินเหนียว, ดินตามธรรมชาติ และคอลลอยด์ (Mac Naughton, 1975) การดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาระหว่าง โครเมต และหมู่ไฮดรอกซิลที่เกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาค Davis (1980) และ Benjmin (1981) พบว่าโครเมตหนึ่ง ไอออนจะทำปฏิกิริยาฟอสต์กับไฮดรอกซิลไอออน 3-4 ตัว การเกิดปฏิกิริยามากหรือน้อยขึ้นกับค่าพีเอชและความเข้มข้นของโครเมตไอออน (ดูรูปที่ 2.4.2) สรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นของโครเมตต่ำถ้าเพิ่มพีเอชจะทำให้การดูดติดผิวน้อยลง ในขณะที่พีเอชคงที่การเพิ่มความเข้มข้นโครเมตการดูดติดผิวก็จะน้อยลงเช่นกัน

การดูดติดผิวโครเมตไอออนโดยอนุภาคดินอาจถูกรบกวนได้จากประจุอื่น ๆ ที่ละลาย ร่วมกันอยู่ในน้ำโดยเฉพาะประจุลบ เช่น ซัลเฟต (SO_4^{2-}) แต่สำหรับประจุบวกเช่น โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^{++}) และแมกนีเซียม (Mg^{++}) หรือโลหะทรานซิชันอื่นๆ (Cd^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+}) ในระดับความเข้มข้นเป็นมิลลิโมลาร์ แทบจะไม่มีผลต่อการดูดติดผิวโครเมตเลย (Benjamin, 1981)

อิทธิพลของประจุลบต่อการดูดติดผิวโครเมตขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโครเมตเองและ ประจุลบที่เข้ามาแข่ง รวมทั้งลักษณะและปริมาณของพื้นที่ผิวของอนุภาคดินที่ใหญ่ ไฮดรอกซิลจับอยู่ (Rai et al., 1981) และ เมื่อเปลี่ยนค่าพีเอชการดูดติดผิวโครเมต ก็จะเปลี่ยนไปได้ รูปที่ 2.4.5 แสดงการดูดติดผิวโครเมตที่พีเอชต่างๆ เมื่อมีซัลเฟตในน้ำและไม่มีซัลเฟตในน้ำ

ปฏิกิริยาดูดติดผิวโครเมตอธิบายโดย Amacher et.al (1988) ว่ามีสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกปฏิกิริยาจะเกิดอย่างรวดเร็วภายใน 24 ชั่วโมง โดยเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ (reversible) แต่โครเมตทั้งหมดจะถูกดูดเข้าไปอย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลาหลังจากนั้น 2 สัปดาห์ ซึ่งขั้นตอนนี้จัดเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้ (irreversible) หรือย้อนกลับได้ช้า (slow reversible) อธิบายได้ว่าเป็นการแพร่ของโครเมตเข้าไปในอนุภาคสารที่ดูดติดผิวนั้นๆ

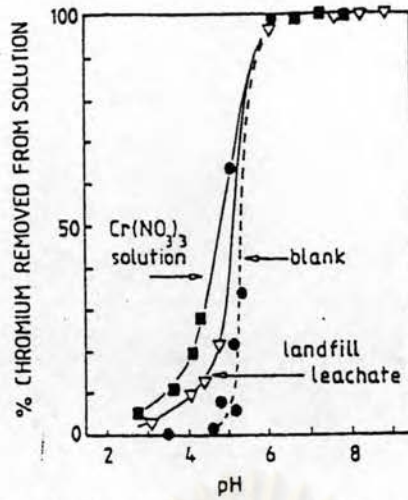


Fig. 4. Chromium (III) adsorption as a function of pH and of solution composition, at 25°C (from Griffin *et al.*, 1977). [Initial chromium concentration 1.5×10^{-3} mol/l; 2 g kaolinite/l; the curve labelled "blank" represents a $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ solution without kaolinite.]

รูปที่ 2.4.3 เปรียบเทียบ ปริมาณโครเมียม III ที่ถูกดูดซับที่ค่าพีเอชต่างๆ ระหว่างน้ำสะอาดและน้ำที่มีสารอินทรีย์ละลายอยู่ (Griffin, 1977)

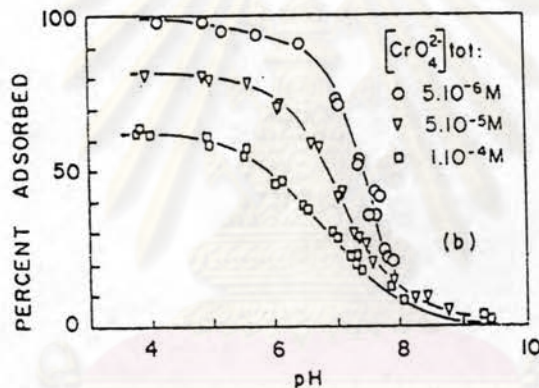


Fig. 5. Chromium (VI) adsorption on $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (am) as a function of total dissolved chromium (Rai *et al.*, 1986).

รูปที่ 2.4.4 ปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับโดยเฟอร์ริกออกไซด์ที่ค่าพีเอชต่างๆ (Rai et al., 1986)

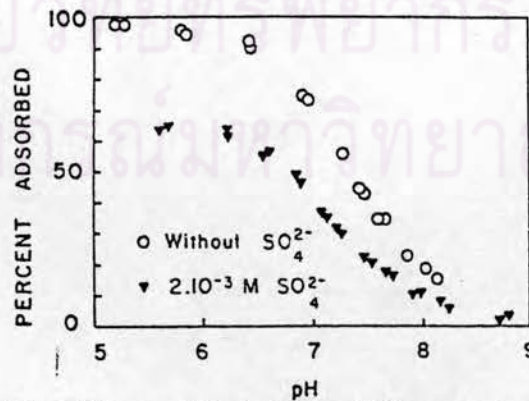


Fig. 6. Influence of dissolved anion (SO_4^{2-}) on fractional adsorption of CrO_4^{2-} by $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (am) (from Rai *et al.*, 1986). $\text{SO}_4^{2-} = 2.5 \times 10^{-3}$ M; $\text{CrO}_4^{2-} = 5 \times 10^{-6}$ M; $\text{Fe}_T = 0.87 \times 10^{-3}$ M.

รูปที่ 2.4.5 อิทธิพลของซัลเฟตละลายน้ำต่อปริมาณโครเมียมที่ถูกดูดซับได้ที่พีเอชต่างๆ (Rai, 1986)



2.4.5 การเคลื่อนกระจายของโครเมียมในแหล่งน้ำ การเคลื่อนกระจายของโครเมียมในแหล่งน้ำ แปรตามความสามารถในการละลายซึ่งขึ้นกับ เลขออกซิเดชันของโครเมียม (Cr(III) หรือ Cr(VI)) นอกจากนี้ ค่าพีเอช ที่ละลายอยู่และสารประกอบเชิงซ้อน ก็เป็น ปัจจัยสำคัญ ที่ควบคุมปริมาณโครเมียมในน้ำตามธรรมชาติ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างโครเมียม III และโครเมียม VI เป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการคงอยู่ของโครเมียมในสิ่งแวดล้อม

ก) แนวโน้มในการเคลื่อนกระจาย โครเมียม III มักอยู่ในรูปที่แพร่กระจายได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบของโครเมียมดังกล่าวอยู่ในรูปตะกอนตามธรรมชาติ ($\text{Cr(OH)}_3(\text{s})$, $\text{FeCr}_2\text{O}_4(\text{s})$) ซึ่งไม่ค่อยละลายน้ำ นอกจากนี้ในสภาพน้ำที่เป็น กลางหรือเป็นกรดเล็กน้อยซึ่งพบได้มากในธรรมชาติ โครเมียม III ถูกดูดติดผิวได้ดีโดยอนุภาคดินเหนียว สำหรับน้ำที่เป็นกรด(พีเอชต่ำกว่า 5) โครเมียม III จะละลายน้ำได้มาก และอาจมีความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐานน้ำดื่ม (1 mol/l) และจะสามารถแพร่กระจายได้ง่ายมากในสภาพกรด การตกตะกอนและดูดติดผิวโครเมียมจะถูกขัดขวางโดยสารประกอบเชิงซ้อนหรือลิแกนด์ที่ละลายน้ำตัวอย่างเช่น สารอินทรีย์ตามธรรมชาติ ทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้โครเมียม III อาจถูกออกซิไดส์โดยแมงกานีส IV ไดออกไซด์ซึ่งเป็นตะกอนตามท้องน้ำ กลายเป็น โครเมียม VI ซึ่งละลายน้ำได้ดีทำให้แพร่กระจายอย่างรวดเร็ว

เนื่องจาก โครเมียม VI เป็นพิษอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจึงต้องควบคุมมิให้แพร่กระจายออกไป สำหรับในน้ำ ชั้นแรกจะต้องเปลี่ยนรูปโครเมียม VI ให้กลับเป็นโครเมียม III จากนั้นจึงทำให้ตะกอนและดูดติดผิว สภาพที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนรูปและตกตะกอนของโครเมียม ดังกล่าวคือ ต้องมีสารประกอบเหล็ก II และสารอินทรีย์ละลายในน้ำในปริมาณที่สูง หลังจากเกิดเป็นโครเมียม III และตกตะกอนแล้วจะทำให้ปริมาณของโครเมียมในน้ำลดลงต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่มได้ สำหรับการแพร่กระจายของ โครเมียม VI ในดินมีสูง เนื่องจากปฏิกิริยาดูดติดผิวโครเมียม VI ในดินต้องการภาวะเป็นกรด, ปริมาณเหล็กสูงและปราศจากไอออนลบ เช่น ซัลเฟต ซึ่งหาได้ยากในธรรมชาติ (Rai et al., 1988)

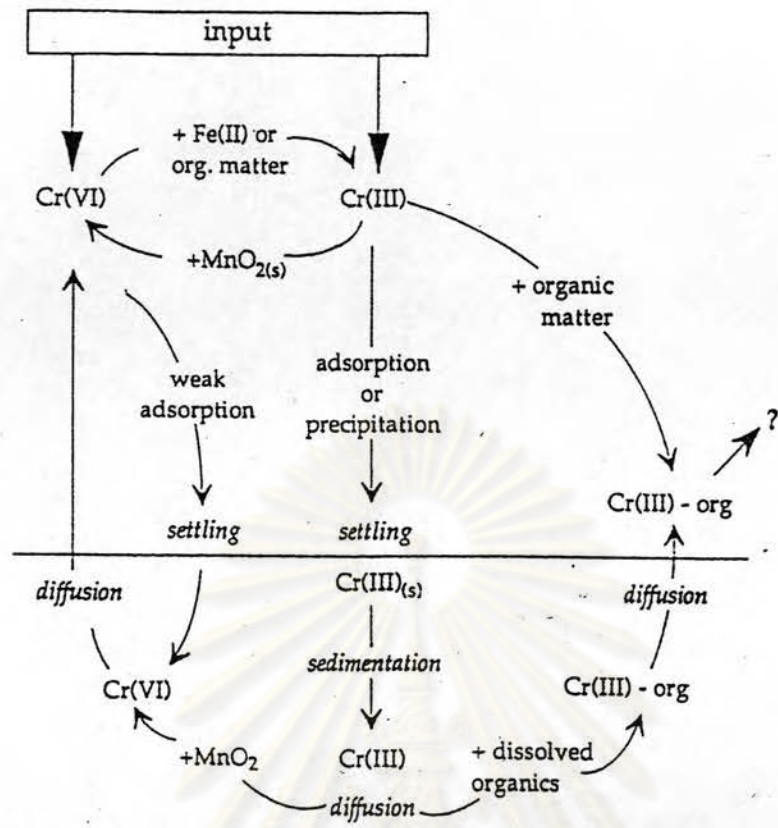
ข) โครเมียมและแมงกานีส ธาตุทั้งสองเป็นคู่ที่จะแลกเปลี่ยนสถานะซึ่งกันและกัน ในสภาพออกซิไดส์จะพบโครเมียม VI ซึ่งละลายน้ำได้ดีในรูป CrO_4^{2-} อยู่ร่วมกับแมงกานีส II ที่ไม่ละลายน้ำ ส่วนในสภาพรีดิวซ์จะพบโครเมียม III เป็นตะกอนแยกออกจากน้ำและพบแมงกานีส II ในรูป Mn^{2+} ซึ่งละลายน้ำได้ดี ตัวอย่างเช่นในเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันออกซึ่งมีน้ำที่มีออกซิเจนต่ำจะพบว่ามี Cr(VI) ต่ำสุด, Cr(III) สูงสุดและแมงกานีสทั้งหมดอยู่ในรูป แมงกานีส II ที่ละลายน้ำ (Murray et al., 1983) ตรงกันข้ามในมหาสมุทรแปซิฟิกที่รัฐแคลิฟอร์เนีย โครเมียม VI ซึ่งละลายน้ำได้จะมีปริมาณสูง ส่วนแมงกานีสจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ในลุ่มแม่น้ำเราพบว่าโครเมียมละลายน้ำจะสูงในที่ราบรูปพัดบริเวณปากน้ำและจะต่ำในบริเวณเหนือน้ำ สลับกับแมงกานีสละลายที่ต่ำในบริเวณปากน้ำและจะสูงในบริเวณต้นน้ำที่มีออกซิเจนมากกว่า

ค) โครเมียมในมหาสมุทร ในมหาสมุทรที่ระดับความลึกต่าง ๆ เราสามารถพบโครเมียมในปริมาณที่แตกต่างกัน (ที่ผิวน้ำ 2.0 nmol/l และที่ลึก 100 m 2.6 nmol/l) ทั้งนี้ในดินตะกอนมีปริมาณสูงสุด (15.8 nmol/l) (Jeandel and Minster, 1984) แหล่งที่ทำให้โครเมียมแก่มหาสมุทรมีหลายลักษณะได้แก่การตกตะกอนที่ปากแม่น้ำ การพัดพาตะกอนจากทะเลโดยกระแสน้ำสู่มหาสมุทร การตกตะกอนโครเมียมที่ปากแม่น้ำเกิดได้ดีที่สุดในช่วงความเค็ม 0.1-1.0 ‰ (Meyer and Shick 1989) มหาสมุทรและทะเลในแต่ละภูมิภาคมีปริมาณโครเมียมแตกต่างกันเช่น ทะเลเมดิเตอร์เรเนียนมีปริมาณโครเมียมในน้ำสูงกว่าทะเลซาร์กาสโซ (Sargasso sea) ในมหาสมุทรแอตแลนติกถึง 40% ทั้งนี้เพราะในแอ่งเมดิเตอร์เรเนียนมีชั้นดินที่ประกอบด้วยโครเมียมสูงกว่า การเคลื่อนย้ายของโครเมียมจากชั้นน้ำตื้นไปสู่ น้ำลึก ตามกระแสน้ำเนื่องจากความแตกต่างทางอุณหภูมิ เป็นสิ่งที่แทบไม่เกิดขึ้นเลยตามธรรมชาติ (Jeandel and Minster, 1984) แต่การเคลื่อนย้ายของโครเมียมเกิดขึ้นเพราะโครเมียม III ในดินตะกอนถูกออกซิไดส์โดยแมงกานีส ไปเป็นโครเมียม VI หลังจากนั้นจะละลายน้ำแล้วจมตัวลงจากเขตน้ำตื้นไปสู่เขตน้ำลึกซึ่งเกินไหลทวีปออกไป (Gaillard et al., 1986; Crouston, 1983)

วัฏจักรของโครเมียมในมหาสมุทรแสดงดังรูปที่ 2.4.6 โครเมียมจะลงสู่มหาสมุทรได้โดยการชะล้างและละอองไอน้ำ มหาสมุทรโครเมียมจะเกี่ยวข้องกับห่วงโซ่อาหารและเมื่อจมน้ำกลายเป็นตะกอนแล้วก็อาจเปลี่ยนรูปกลับขึ้นมาใหม่ได้ในรูปโครเมตหรือสารประกอบเชิงซ้อนของโครเมียม III

ง) โครเมียมในทะเลสาบ ได้มีการทดลองเกี่ยวกับการคงอยู่ของโครเมียมในทะเลสาบน้ำจืด กริฟพินซี (Greifensee) สวิตเซอร์แลนด์ ซึ่งเป็นทะเลสาบที่มีพีซีเอ็นและสาหร่ายขึ้นหนาแน่นเนื่องจากมีน้ำทิ้งชุมชนระบายลงไป เมื่อทำการกวนน้ำในทะเลสาบให้มีความออกซิเจนละลายประมาณ 6 มิลลิกรัมต่อลิตรเสมอกันตลอด จากการวิเคราะห์โครเมียมโดยวิธีแบบใหม่ของ Johnson และ Sigg (ion exchange) พบว่าโครเมียมมีความเข้มข้น 2.5-3.5 nmol/l และอยู่ในรูปโครเมตหรือโครเมียม VI ทั้งหมด และไม่พบแมงกานีสในรูปที่ละลายน้ำ แต่ถ้าน้ำปล่อยให้นิ่งและเกิดการแบ่งแยกชั้นน้ำจะพบว่า ในน้ำชั้นบนที่มีออกซิเจนปริมาณโครเมียมและแมงกานีสยังคงเหมือนช่วงแรก แต่ในน้ำชั้นล่าง (hypolimnion) ที่ขาดออกซิเจนแมงกานีสและเหล็กจะกลับมาละลายน้ำ (10 และ 1 nmol/l) ส่วนโครเมียมละลายจะลดเหลือเพียง 1.5 nmol/l เฉพาะในดินตะกอนเท่านั้นที่จะพบโครเมียม III คิดเป็น 50% ของโครเมียมในตะกอนทั้งหมด สรุปได้ว่าถ้ามีออกซิเจนที่เพียงพอ โครเมียมจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้คือโครเมียม VI หรือ โครเมตซึ่งแพร่กระจายได้ง่าย ส่วนในสภาพที่ขาดออกซิเจนโครเมียมจะอยู่ในรูปตะกอนของโครเมียม III ซึ่งยากที่จะกลับขึ้นมาได้

จ) โครเมียมในน้ำใต้ดิน จากการศึกษาของ Rai et.al. 1988 พบว่าชั้นน้ำใต้ดินที่ถูกปนเปื้อนด้วยโครเมียมจะเกิดการแพร่กระจายของโครเมียมในอัตรา 15 เมตรต่อปี ส่วนในชั้นดินตะกอน, ดินเหนียว ซึ่งกั้นระหว่างชั้นน้ำใต้ดินนั้นพบว่าไม่ค่อยมีประสิทธิภาพในการขวางกั้นโครเมียมและยังพบว่า ยังมีการสูบน้ำออกจากชั้นน้ำมากขึ้น การแพร่กระจายของโครเมียมเข้าสู่บ่อบาดาลก็ยิ่งสูงขึ้น (Stollewerk and Grove, 1985) แต่อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายของโครเมียมอาจจะจับได้ ด้วยการปิดกั้นชั้นน้ำบาดาลไม่ให้สัมผัสกับอากาศเพื่อทำให้โครเมียม VI เปลี่ยนไปอยู่ในรูปโครเมียม III ซึ่งไม่ละลายน้ำ (Kent et al., 1989) นอกจากนี้การที่รักษาชั้นน้ำบาดาลให้บริสุทธิ์ปราศจากไอออนละลายอื่นๆ เช่นคลอไรด์, ซัลเฟต



รูปที่ 2.4.6 วัฏจักรของโครเมียมในมหาสมุทร (Richard, 1991)

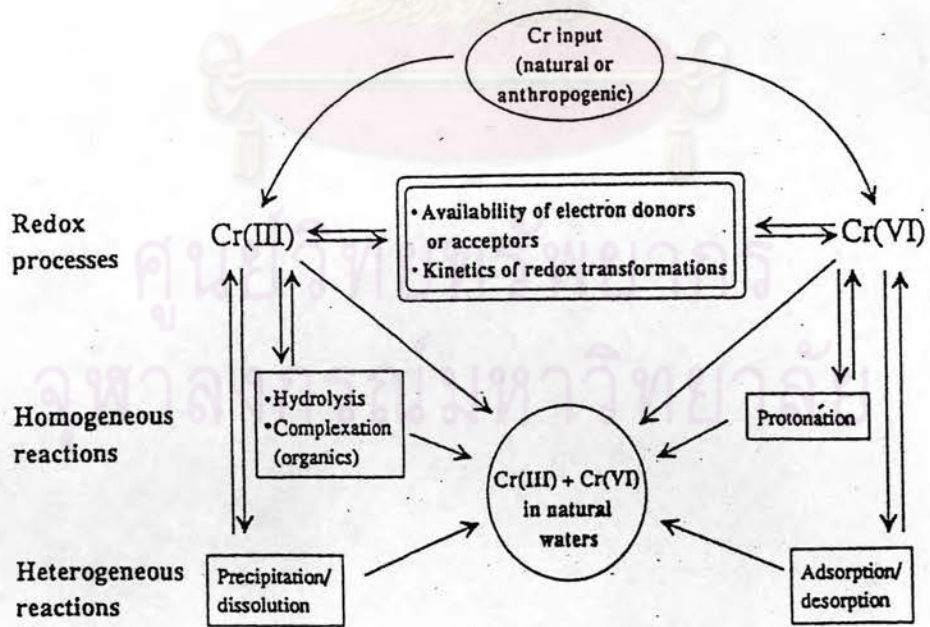


Fig. 7. Aqueous geochemistry of chromium.

รูปที่ 2.4.7 การเปลี่ยนรูปของโครเมียมในสิ่งแวดล้อม (Richard, 1991)

ก็สามารถระงับการแพร่กระจายของโครเมียม (VI) ได้เนื่องจากปฏิกิริยาการดูดติดผิว
โครเมียมโดยดินจะเกิดขึ้นได้ดีถ้าไม่มีไอออนลบมาขัดขวาง

รูปที่ 2.4.7 เป็นการสรุปเกี่ยวกับวัฏจักรของโครเมียมในธรรมชาติการคงอยู่และ
แพร่กระจายของโครเมียมขึ้นกับสภาพแวดล้อมที่มีอยู่ต่าง ๆ กัน ซึ่งอาจบ่งบอกได้ด้วยพารามิเตอร์
เช่น Eh, ออกซิเจนละลาย, เหล็กและแมงกานีส, ไนโตรที่, ไนเตรท, ซัลเฟต และซัลเฟอร์
อย่างก็ตามการเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตของโครเมียมเป็นสิ่งที่อยู่ค่อนข้างน้อยและมีการค้น
คว้ากันน้อยมากดังนั้นจึงยังสามารถศึกษาให้กว้างต่อไปได้อีกมาก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย