เปอร์ออกไซด์กับอุตสากรรมกระดาษ

จิระศักดิ์ ชัยสนิท

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมกระดาษก่อให้เกิดปัญหาทางมลภาวะด้านน้ำเสียค่อนข้างมาก ซึ่งปัจจัยสำคัญเกิดจากสารประกอบของคลอรีน (chlorinated organic compound) หรือ AOX (adsorbable organic halogen compound) ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการฟอกเยื่อด้วยคลอรีน (chlorine bleaching stage) โดยพบว่ามีสารประกอบของคลอรีนติดอยู่ในเนื้อกระดาษด้วยจำนวนหนึ่ง การใช้คลอรีนในระดับสูงทำให้อุตสาหกรรมประเภทนี้ประสบปัญหายุ่งยากมากขึ้นในขั้นตอนการบำบัด หรือป้องกันน้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงาน

ดังนั้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide, H_2O_2) จึงเข้ามามีบทบาทในกรรมวิธีการฟอกเยื่อกระดาษเพื่อเพิ่มความขาวสว่าง มีผลทำให้ได้ความขาวสว่างที่คงสภาพโดยมีการสูญเสียเยื่อเพียงเล็กน้อย และยังช่วยลดปัญหาทางมลภาวะลงได้ ช่วยควบคุมคุณภาพของผลผลิตสุดท้าย และสามารถลดการใช้ปริมาณคลอรีนในระบบการฟอกเยื่อให้น้อยลง

จากสมการการแตกตัว (ionization) เป็นไอออนของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

$$H_2O_2 \rightleftharpoons H^+ + HOO^-$$

จะพบว่าการเติมด่าง (base) จะลดไอออนไฮโดรเจน (H^+) และเพิ่มความเข้มข้นของไอออนเปอร์ไฮดรอกซิล (HOO^-) ซึ่งไอออนเปอร์ไฮดรอกซิลนี้เป็นตัวที่ทำให้เกิดการฟอกเยื่อที่ระดับความเป็นกรด-ด่าง ประมาณ 10-10.5 ทำให้ประสิทธิภาพการฟอกด้วยเปอร์ออกไซด์สูงสุด

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นไอออนเปอร์ไฮดรอกซิล ดังแสดงในตารางที่ 1 ค่าคงที่ของการแตกตัว (dissociation constant) สำหรับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของการแตกตัวของ H_2O_2

อุณหภูมิ, ° ซ.	$K=[H^+][OH^-]/[H_2O_2]$
15	$1.39*10^{-12}$
20	$1.78*10^{-12}$
25	$2.24*10^{-12}$
35	$3.55*10^{-12}$

จากตารางที่ 1 การเพิ่มอุณหภูมิมีค่าคงที่ของการแตกตัวสูงขึ้น จะช่วยให้ได้เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงขึ้น

การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารฟอก (bleaching agent) จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) และแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) รวมอยู่ในระบบด้วยโดย

- โซเดียมซิลิเกต และ แมกนีเซียมซิลิเกต ทำหน้าที่เป็นตัวทำให้เสถียร (stabilizing agent) ในขั้นตอนการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ตัว ป้องกันผลของตัวเร่งปฏิกิริยาจากโลหะ ซึ่งมีอยู่ในปริมาณเล็กน้อยทั่วไปในไม้และผลิตภัณฑ์จากพืชเส้นใย และในน้ำที่ใช้ในการฟอก เช่น โลหะพวกเหล็ก ทองแดง นิเกิล และแมงกานีส เป็นต้น นอกจากนี้โซเดียมซิลิเกตยังมีคุณสมบัติเป็นตัวควบคุมความเป็นกรด-ด่างด้วยโดยจะให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ออกมาส่วนหนึ่งในระบบทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระหว่างการฟอก

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ ช่วยควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และให้มีปริมาณเพียงพอเหมาะสมในระบบการฟอก

ระบบการฟอกเยื่อแบบหลายขั้นตอนในโรงงานผลิตเยื่อที่มีใช้กันอยู่ในประเทศไทย มักเป็นแบบ 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1. Chlorination stage (C-stage)

2. Extraction stage (E-

stage)

3. Hypochlorite stage (H-stage)

เขียนย่อเป็น C-E-H การใช้ปริมาณคลอรีนในระบบการฟอกเยื่อแบบนี้ ประมาณร้อยละ 3-5 ต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง (ขึ้นกับชนิดของเยื่อที่นำมาใช้ทำกระดาษ) และพบว่าการใช้ไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในระบบการฟอกเยื่อทำให้กระดาษที่ได้เกิดการกลับสีได้เร็ว เนื่องจากเกิดหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ที่ไม่คงสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบอยู่ในเส้นใย

จากระบบการฟอกเยื่อดังกล่าวมีการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ลงในขั้นตอนของการสกัด (extraction stage) ด้วยด่าง เขียนย่อเป็น 'E_p' จะสามารถลดการใช้ไฮโปคลอไรต์ในขั้นตอนสุดท้ายลงได้ ที่ระดับความขาวสว่างของเยื่อ ในระดับเดียวกัน

ในบางกรณีมีการพัฒนาการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการฟอกแบบหลายขั้นตอน เช่น C-E-H-P หรือ C-E_p-H-P ซึ่งในระบบการฟอกเยื่อแบบนี้เมื่อเทียบกับผลผลิตเยื่อในระดับความขาวสว่างเดียวกันจะสามารถลดการใช้คลอรีนลงได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

การผลิต รวมทั้งประเภทของผลิตภัณฑ์ เช่น มีการใช้ออกซิเจนเข้าร่วมด้วยในขั้นตอนก่อนการฟอกด้วยคลอรีน เป็นแบบ pre-bleaching เพื่อลดปริมาณการใช้คลอรีนให้น้อยลง เขียนย่อเป็น O-C-E-H และจากการศึกษาวิจัยในการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับออกซิเจน ทำให้สามารถลดการใช้คลอรีนให้น้อยลงไปอีกที่ระดับความขาวสว่างของเยื่อเดียวกัน เขียนย่อเป็น O_p-C-E-H และอาจใช้เป็น O_p-C-E_p-H ก็ได้

ประเทศอังกฤษได้ให้ความสนใจต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากกับการดำเนินการในอุตสาหกรรมทุกประเภทโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมกระดาษ พบว่าสารที่เกิดขึ้นในขบวนการฟอกเยื่อ เช่น โพลิคลอริเนเต็ด ไดเบนโซไดออกซินส์ (polychlorinated dibenzodioxins) และโพลิคลอริเนเต็ด ไดเบนโซฟูแรนส์ (polychlorinated dibenzofurans) ซึ่งปล่อยออกมาในน้ำทิ้ง ก่อให้เกิดปัญหาด้านมลภาวะเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงได้มีการจัดตั้ง 'US Environmental Protection Agency' เพื่อกำหนดระดับสาร AOX ในน้ำทิ้ง ได้มีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมกระดาษโดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับออกซิเจนและคลอรีนไดออกไซด์ (D) เช่น

นิเวศนวิทยาน้อยมาก เยื่อที่ได้จากการฟอกตามขั้นตอนดังกล่าว เรียกว่า Elemental Chlorine Free Pulp (ECFP)

จากความพยายามดังกล่าวที่จะลดปัญหามลพิษด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้อุตสาหกรรมกระดาษพยายามค้นคว้าหาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการผลิตเยื่อฟอกที่ปราศจากคลอรีน (Total Chlorine Free Pulp, TCEP) โดยใช้โอโซน ออกซิเจน เอนไซม์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

ดังนั้นจึงเห็นว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะมีความสำคัญมากขึ้นในขั้นตอนการฟอกเยื่อไม่ว่าจะเป็นกระบวนการฟอกเยื่อแบบ ECFP หรือ TCFP

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณการใช้คลอรีนในการฟอกเยื่อยูคาลิปตัสโดยเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในขั้นตอนการสกัดด้วยด่าง

ขั้นตอนการฟอกเยื่อ	ความขาวสว่าง,ร้อยละ
$C1^{3.5}$-$E^{1.5}P^{0.4}$-$H^{0.6}$	86.1
$C1^{2.5}$-$E^{1.5}p^{0.6}$-$H^{0.6}$	86.2
$C^{11.6}$-$E^{1.5}p^{1.0}$-$H^{0.6}$	86.4

ปัจจุบันระบบการฟอกเยื่อมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของผู้ผลิต เทคโนโลยีที่นำมาใช้และชนิดของเครื่องจักรให้เหมาะสมกับระบบ

การฟอกเยื่อแบบหลายขั้นตอน O-O-D-P, PO-PO-D-P, O-(EP)O-D-P และ PO-(EP)O-D-P ซึ่งการใช้ขั้นตอนเหล่านี้ จะมีผลกระทบต่อระบบ