การเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบ AOX ในน้ำทิ้งก่อนเข้าและออกจากระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษในประเทศไทย

A comparison of the amount of AOX in effluent before entering and after leaving wastewater treatment system in pulp and paper mills in Thailand

ภูวดี ตู้จินดา[1]*, ก่อพงศ์ หงส์ศรี[1]

Poovadee Tuchinda[1]*, Korpong Hongsri[1]

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษจัดว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากขั้นตอนการฟอกเยื่อซึ่งใช้คลอรีนและสารประกอบคลอรีนที่ก่อให้เกิดสารประกอบ AOX (Adsorbable Organic Halogen) มีความเป็นพิษสูง ไม่สลายตัวโดยธรรมชาติ และสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิต โรงงานผลิตเยื่อและกระดาษในประเทศไทยมากกว่าร้อยละ 80 ใช้คลอรีนและสารประกอบคลอรีนในการฟอกเยื่อ งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบหาปริมาณสารประกอบ AOX ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษในน้ำทิ้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้ โดยเก็บตัวอย่างจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษทุกโรงงานภายในประเทศไทยซึ่งมีทั้งหมด 5 โรงงาน ดำเนินการทุก 3 เดือนเป็นระยะเวลา 3 ปี (2552-2554) พบว่า น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบในการผลิตมีปริมาณสารประกอบ AOX มากกว่าโรงงานที่ใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบโดยที่ทั้งสองโรงงานใช้คลอรีนไดออกไซด์เป็นสารเคมีในการฟอกขาวเหมือนกัน ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ พบว่าโรงงานที่ใช้คลอรีนในการฟอกขาวจะมีปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำทิ้งมากกว่าโรงงานที่ใช้คลอรีนไดออกไซด์ โดยที่ฤดูกาลหรือปริมาณน้ำฝนในธรรมชาติไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิต และน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างลดลง ซึ่งสำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียวได้นำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปใช้ปรับปรุงข้อกำหนดฉลากเขียวผลิตภัณฑ์กระดาษที่มีการทบทวนใหม่ในปี พ.ศ. 2554

คำสำคัญ : น้ำทิ้ง, สารประกอบ, AOX, โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

Keywords : Effluent, Adsorbable Organic Halogen, AOX, Pulp and paper mills

[1] กรมวิทยาศาสตร์บริการ

*Corresponding author E-mail address : poovadee@gmail.com

Abstract

Pulp and paper industry is one of the leading industries that has a high impact on environment, especially effluent from the bleaching process using chlorine and its compounds. The byproducts from this bleaching process are AOXs (Adsorbable organic halogen) which are very toxic, persistency and bioaccumulation. Over 80 percent of pulp and paper mills in Thailand use chlorine and its compounds as main chemicals in bleaching process, therefore, the objective of this research was to analyse the amount of AOX produced from the bleaching process in effluent before entering and after leaving wastewater treatment system and then compare those results. Effluent samples were collected from all 5 pulp mills in Thailand every 3 month for 3 years (2009-2011). It was found that, where using chlorine dioxide as the main bleaching chemical, there was more amount of AOX in the effluent from the pulp mills using eucalyptus as raw material than in the effluent from the pulp mills using bagasse as raw material. For those pulp mills using eucalyptus as raw material, there was more amount of AOX in the effluent from pulp mills using chlorine as the the main bleaching chemical than in the effluent from pulp mills using chlorine dioxide as the the main bleaching chemical. Season and rainfall had no effect on the amount of AOX in the effluent samples. It was also found that the amount of AOX in effluent decreased after leaving wastewater treatment system. The Thai Green Label had used the data from this research to modify its standard for paper products in 2011.mg g-1 of dry ash. The absorption isotherms with pH from 7.0 to 8.0 and used 10 g of fly ash per 1 l of initial Hg concentration were the optimize condition. The leaching test of mercury bond fly ash is lower than legal concentration (less than 2 mg/l). The results indicated that fly ash from coal fired power plant can be used to stabilize low concentration of mercury in aquatic condition.

1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมการผลิตเยื่อและกระดาษจัดได้ว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของสิ่งแวดล้อม เพราะกรรมวิธีการผลิตกระดาษมีหลายขั้นตอน แต่ละขั้นตอนก็มีการปล่อยสารอันก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ กัน โดยเฉพาะขั้นตอนฟอกเยื่อ ด้วยการกำจัดหรือเปลี่ยนสีลิกนินซึ่งเป็นสารสีน้ำตาลในเยื่อไม้ เพื่อทำให้เยื่อสีน้ำตาลกลายเป็นเยื่อสีขาวเหมาะสำหรับใช้ในกระดาษพิมพ์และเขียนประเภทต่างๆ ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้สารเคมีชนิดต่างๆ และสารเคมีที่กล่าวได้ว่าสามารถลดปริมาณลิกนินลงได้มาก ราคาไม่แพงและถูกใช้ในการฟอกเยื่อมานาน ได้แก่ คลอรีนและสารประกอบคลอรีน ถึงแม้ว่าการฟอกโดยใช้คลอรีนเป็นหลักจะเป็นผลดีในทางเศรษฐกิจ แต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างสูง เพราะปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างคลอรีนกับลิกนิน จะทำให้เกิดสารประกอบคลอริเนเต็ดออร์แกนิก (Chlorinated Organic Compounds) ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นพิษไม่สลายตัวตามธรรมชาติ และยังสามารถสะสมในสิ่งมีชีวิตได้ด้วย (1, 2) สารพิษที่สำคัญที่สุดในบรรดาสารประกอบคลอริเนเต็ดออร์แกนิกและเป็นตัวแปรเสริมที่สำคัญในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมก็คือ สารประกอบ AOX (Adsorbable Organic Halogen หรือ Adsorbable Halogenated Organic Compounds) ซึ่งพบได้ในน้ำทิ้งที่ออกจากขั้นตอนการผลิต และถูกปล่อยออกจากโรงงานสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

ปัจจุบันร้อยละ 80 ของโรงงานในประเทศไทยยังคงใช้คลอรีนและสารประกอบคลอรีนในขั้นตอนการฟอก ซึ่งแน่นอนว่าก่อให้เกิด AOX ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นพิษสูง หน่วยงานราชการ เช่น สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม เริ่มให้ความสำคัญกับดัชนี AOX ดังจะเห็นได้ว่าในการพิจารณารายงานการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental impact assessment : EIA) ต้องมีการติดตามตรวจสอบค่าสารประกอบนี้อย่างต่อเนื่อง และปัจจุบันโครงการฉลากเขียวได้เริ่มมีการพิจารณากำหนดคุณภาพกระดาษโดยจะนำปริมาณ AOX มาเป็นตัวกำหนดด้วย (3) กลุ่มเยื่อและกระดาษ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ เป็นหน่วยงานในประเทศเพียงแห่งเดียวที่สามารถทดสอบค่าสารประกอบ AOX ได้ และให้บริการแก่ภาคเอกชนและหน่วยงานต่างๆ งานวิจัยนี้จึงได้ทดสอบหาปริมาณสารประกอบ AOX ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษในน้ำทิ้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย จากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษทุกโรงงานภายในประเทศไทยซึ่งมีทั้งหมด 5 โรงงาน พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 การเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผู้ผลิตเยื่อฟอกขาวในประเทศไทย จำนวน 5 โรงงาน เพื่อนำมาทดสอบหาปริมาณ AOX โดยดำเนินการทุก 3 เดือนเป็นระยะเวลา 3 ปี (ก.พ. 2552 - พ.ย. 2554) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกเยื่อก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสีย และตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกเยื่อหลังออกจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การเก็บตัวอย่างจะเก็บในปริมาณตัวอย่างละ 2 ลิตร ใส่ในขวดพลาสติกที่สะอาดและปิดสนิท

2.2 วิธีการหาสารประกอบ AOX

การหาปริมาณสารประกอบ AOX ในตัวอย่างน้ำทิ้งทดสอบตามมาตรฐาน ISO 11480 (4), ISO 9562:2004 (5) และ SCAN-W 9-89 (6) โดยการทดสอบใช้หลักการเดียวกัน คือ การจับสารอินทรีย์ทั้งหมดในน้ำโดยใช้แอกทิเวเต็ดคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับสารได้เกือบทุกชนิด จากนั้นจึงล้างแอกทิเวเต็ดคาร์บอนด้วยสารละลายไนเทรต เพื่อให้ไนเทรตเข้าไปแทนที่คลอไรด์ในสารประกอบอนินทรีย์ ดังนั้นบนพื้นผิวของแอกทิเวเต็ดคาร์บอนจะคงเหลือเพียงสารประกอบคลอไรด์หรือแฮโลเจนของสารอินทรีย์ (TOX, AOX) เท่านั้น หลังจากนั้นจึงนำแอกทิเวเต็ดคาร์บอนไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง สารอินทรีย์ทั้งหมดจะสลายไปและเหลือเพียงก๊าซไฮโดร

คลอไรด์และแฮโลเจนอื่นๆ (HCl, HX) ก๊าซที่ได้จะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดและสามารถหาปริมาณของคลอไรด์และแฮโลเจนทั้งหมดได้โดยการไทเทรตแบบคูลอมบ์เมตริก โดยใช้เครื่องมือ AOX Analyzer รุ่น ECS 3000 ผลิตโดย Euroglass Analytical Instruments ประเทศเนเธอร์แลนด์ (Figure 1)

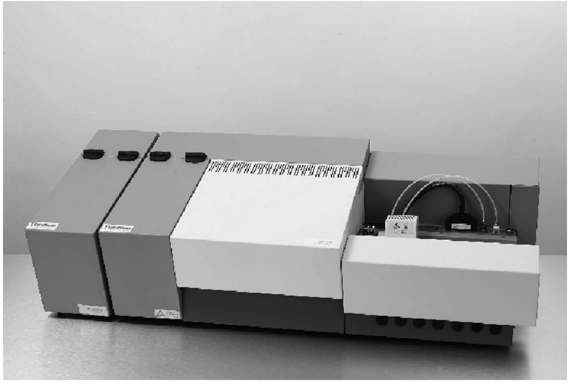

Figure 1 AOX Analyzer Model ECS 3000

3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

ผลการทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX ของตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษทั้ง 5 โรง (A B C D และ E ซึ่งโรงงาน E แบ่งกระบวนการผลิตเยื่อออกเป็น 2 โรง) โดยเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงาน ณ วันที่ผลิตทุก 3 เดือน เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยที่ทุกโรงงานที่ร่วมการวิจัยไม่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตและกำลังในการผลิตตลอดระยะเวลาการวิจัย (Table 1 และ 2) และผลต่างของปริมาณสารประกอบ AOX ของตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนเข้าและหลังออกจากระบบบำบัด แสดงใน Table 3

Table 1 Amount of AOX in wasted water before entering the treatment system.

ตัวอย่าง	ผลการทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX (มิลลิกรัมต่อลิตร)												
	2552				2553				2554				ค่าเฉลี่ย
	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	
1) โรงงาน A[1] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	54.0	55.5	66.0	77.2	49.0	37.0	57.3	54.8	47.4	30.3	45.8	44.2	51.5
2) โรงงาน B[1] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	32.3	56.0	33.1	44.1	56.2	53.4	58.9	57.2	61.1	63.5	58.8	57	52.6
3) โรงงาน C[1] (ผลิตเยื่อจากชานอ้อย)	4.6	2.6	5.0	4.9	4.8	4.9	4.7	3.5	5.6	3.8	4.6	4.3	4.5
4) โรงงาน D[2] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	30.7	18.2	21.1	19.8	27.4	17.7	22.2	11.8	14.8	8.3	14.7	12.7	18.3
5) โรงงาน E[2] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส) - โรงผลิตเยื่อที่ 1	10.0	9.1	9.5	8.0	5.2	10.5	7.2	2.1	5.0	8.5	4.7	5.1	7.1
- โรงผลิตเยื่อที่ 2	16.8	20.5	13.0	13.2	19.5	-*	3.8	2.4	6.1	7.4	16.1	10.9	10.8
ค่าเฉลี่ย	24.7	27.0	24.6	27.9	27.0	24.7	25.7	22.0	23.3	20.3	24.1	22.4	24.5

หมายเหตุ *การเก็บตัวอย่างในเดือน พ.ค. 2553 โรงผลิตเยื่อที่ 2 ของโรงงาน E หยุดซ่อมบำรุงในวันและเวลาที่ไปเก็บตัวอย่าง จึงไม่มีผลการทดสอบ

[1] โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีน

[2] โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีนไดอ็อกไซด์

Table 2 Amount of AOX in wasted water after leaving the treatment system.

ตัวอย่าง	ผลการทดสอบปริมาณสารประกอบ AOX (มิลลิกรัมต่อลิตร)												
	2552				2553				2554				ค่าเฉลี่ย
	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	ก.พ.	พ.ค.	ส.ค.	พ.ย.	
1) โรงงาน A[1] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	11.1	4.0	3.8	4.5	2.8	2.7	3.0	3.4	3.1	3.6	3.7	3.4	4.1
2) โรงงาน B[1] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	2.0	2.7	2.4	3.7	2.7	2.7	2.4	3.0	3.1	2.3	3.4	2.9	2.8
3) โรงงาน C[1] (ผลิตเยื่อจากชานอ้อย)	0.8	1.1	1.4	1.5	1.8	1.3	1.6	1.8	2.3	0.9	1.4	1.1	1.4
4) โรงงาน D[2] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	32.8	5.8	11.7	13.0	9.2	9.2	7.5	3.5	9.5	2.4	11.7	9.9	10.5
5) โรงงาน E[2] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)													
- โรงผลิตเยื่อที่ 1	2.0	3.3	3.9	2.3	0.9	2.1	2.2	2.1	1.7	3.0	2.5	2.4	2.4
- โรงผลิตเยื่อที่ 2	1.2	1.0	1.6	1.8	2.0	-*	1.1	2.1	0.9	0.9	1.8	1.5	1.5
ค่าเฉลี่ย	8.3	3.0	4.1	4.5	3.2	3.6	3.0	2.6	3.4	2.2	4.1	3.5	3.8

หมายเหตุ * การเก็บตัวอย่างในเดือนพ.ค. 2553 โรงผลิตเยื่อที่ 2 ของโรงงาน E หยุดซ่อมบำรุงในวันและเวลาที่ไปเก็บตัวอย่าง จึงไม่มีผลการทดสอบ

[1] โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีน

[2] โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีนไดอ็อกไซด์

Table 3 The differences of average values of AOX in effluent between entering and leaving the treatment system (2009-2012).

ตัวอย่าง	ปริมาณสารประกอบ AOX ในน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณสารประกอบ AOX ในน้ำทิ้งหลังออกจากระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ผลต่างของปริมาณสารประกอบ AOX ก่อนเข้าและหลังออกจากระบบบำบัด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
1) โรงงาน A[1] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	51.5	4.1	47.4
2) โรงงาน B[1] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	52.6	2.8	49.8
3) โรงงาน C[1] (ผลิตเยื่อจากชานอ้อย)	4.5	1.4	3.1
4) โรงงาน D[2] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)	18.3	10.5	7.8
5) โรงงาน E[2] (ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัส)			
- โรงผลิตเยื่อที่ 1	7.1	2.4	4.7
- โรงผลิตเยื่อที่ 2	10.8	1.5	9.3
ค่าเฉลี่ย	24.5	3.8	

หมายเหตุ [1] โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีน

[2] โรงงานที่ฟอกเยื่อไม้ด้วยคลอรีนไดอ็อกไซด์

สำหรับอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษในประเทศไทย มีโรงงานที่ผลิตเยื่อกระดาษ จำนวนทั้งหมด 5 โรงงาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ขอความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งจากทั้ง 5 โรงงาน ดังนั้นข้อมูลที่ได้คิดเป็น 100 % และเมื่อพิจารณาถึงวัตถุดิบที่นำมาผลิตเยื่อกระดาษ พบว่าวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตคือไม้ยูคาลิปตัส ซึ่ง 4 ใน 5 โรงงาน ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบ ในขณะที่อีก 1 โรงงาน ใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ

จาก Table 1 เมื่อพิจารณาปริมาณ AOX ก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นน้ำทิ้งที่ออกจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ พบว่าโรงงานที่ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสจะก่อให้เกิดสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตมากกว่าโรงงานที่ผลิตเยื่อจากชานอ้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากปริมาณลิกนินที่อยู่ในเนื้อไม้ที่ถูกตัดแล้ว (Chip) ของยูคาลิปตัสมีมากกว่าที่อยู่ในชานอ้อย ดังนั้นจึงใช้ปริมาณสารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ ($ClO2$) ในการกำจัดลิกนินให้ออกไปจากเนื้อไม้มากกว่า ส่งผลให้เกิดสารประกอบ AOX มากกว่าตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบเฉพาะโรงงานที่ผลิตเยื่อจากไม้ยูคาลิปตัสเท่านั้นได้แก่ โรงงาน A B D และ E ซึ่งทั้ง 4 โรงงานมีกระบวนการฟอกด้วยสารเคมี ดังนี้ โรงงาน A และ B ใช้ คลอรีน ($Cl2$) ส่วนโรงงาน D และ E ใช้สารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ในการฟอก จากข้อมูลพบว่าโรงงาน A และ B ที่ใช้คลอรีนในการฟอก มีค่าเฉลี่ยของปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำทิ้งสูงกว่าโรงงาน D และ E ที่ใช้สารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ในการฟอก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ้าใช้คลอรีนในการฟอกจะก่อให้เกิดสารประกอบ AOX ตกค้างในน้ำเสียมากกว่าการใช้สารประกอบคลอรีนไดออกไซด์ในการฟอก

ผลการทดสอบจากโรงงานที่ได้มีค่าแตกต่างกันแม้จะใช้สารเคมีชนิดเดียวกันในการฟอก เนื่องจากแต่ละโรงงานใช้ปริมาณสารเคมีในการฟอกแตกต่างรวมทั้งมีปริมาณผลผลิตและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ต่างกันด้วย ถ้าหากมีปริมาณผลผลิตมากกว่าย่อมใช้ปริมาณสารเคมีมากกว่า และถ้าโรงงานต้องการเยื่อกระดาษที่มีความขาวสว่างมากก็ต้องใช้ปริมาณสารเคมีมากกว่าโรงงานที่ต้องการเยื่อกระดาษที่มีความขาวสว่างน้อย ทั้งนี้ทางโรงงานไม่ได้เปิดเผยปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการฟอก

จาก Table 3 เมื่อพิจารณาผลต่างค่าเฉลี่ยของผลการทดลองจากตัวอย่างน้ำทิ้งก่อนเข้าและออกจากระบบบำบัด จำนวนปริมาณสารประกอบ AOX ที่หายไปในระบบบำบัดน้ำเสีย สำหรับโรงงาน A, B และ E นั้น ทางโรงงานได้มีการนำน้ำทิ้งจากส่วนอื่นๆ ของโรงงาน เช่น ส่วนของการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน ส่วนของการผลิตกระดาษเพื่อบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น มาผสมรวมกับน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ ทำให้เกิดการเจือจางของปริมาณสารประกอบ AOX ได้ เนื่องจากน้ำทิ้งจากส่วนต่างๆ ดังกล่าวไม่มีปริมาณสารประกอบ AOX ตกค้างอยู่ด้วย ดังนั้นปริมาณของสารประกอบ AOX ในน้ำทิ้งหลังบำบัดจึงลดลง และทางโรงงานผู้ผลิตก็ไม่ได้บอกปริมาณน้ำทิ้งจากส่วนอื่นที่เข้ามาผสมด้วย

โรงงาน C และ D เป็นโรงงานที่ระบบบำบัดน้ำเสียที่ไม่ได้มีการผสมน้ำทิ้งจากส่วนอื่นของโรงงาน เพราะโรงงานเป็นโรงงานที่ผลิตเยื่อกระดาษอย่างเดียว ปริมาณของสารประกอบ AOX ที่ตกค้างหลังออกจากระบบบำบัดน้ำเสียก็มีค่าลดลงเล็กน้อย ผู้วิจัยไม่สามารถที่จะสรุปได้แน่ชัดว่าระบบบำบัดน้ำเสียมีส่วนช่วยในการลดปริมาณการตกค้างของสารดังกล่าวในน้ำทิ้งได้หรือไม่ เพราะว่าการลดลงของสารดังกล่าวอาจเกิดจากระบบบำบัด (ซึ่งไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าขั้นตอนไหนมีส่วนในการลด) หรืออาจจะเกิดสลายตัวไปเองของสารประกอบ AOX ซึ่งบางโครงสร้างไม่เสถียรในธรรมชาติ (อาจจะสลายไปในช่วงการพักน้ำเสียเพื่อให้ตกตะกอน) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าเมื่อน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกเยื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างมีปริมาณลดลง ซึ่งควรมีการศึกษาต่อไปว่าการลดลงของปริมาณของสารที่ตกค้างเกิดจากสาเหตุใด

4. สรุป (Conclusion)

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบในการผลิตมีปริมาณมากกว่าโรงงานที่ใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ (สารเคมีที่ใช้ในการฟอกเหมือนกัน คือ คลอรีนไดออกไซด์)

2) โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษที่ใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบเหมือนกัน โรงงานที่ใช้คลอรีนในการฟอกขาวจะมีปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำเสียมากกว่าโรงงานที่ใช้คลอรีนไดออกไซด์ในการฟอก

3) ฤดูกาลหรือปริมาณน้ำฝนในธรรมชาติไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตอย่างชัดเจน

4) น้ำเสียจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเมื่อผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว ปริมาณสารประกอบ AOX ที่ตกค้างลดลง

ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากงานวิจัยนี้ได้ถูกนำไปใช้พิจารณาในการออกข้อกำหนดฉลากเขียวผลิตภัณฑ์กระดาษ (Paper) ของโครงการฉลากเขียวซึ่งมีการทบทวนใหม่ในปี พ.ศ. 2554

5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรมวิทยาศาสตร์บริการ โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กลุ่มเยื่อและกระดาษ และโรงงานผลิตเยื่อกระดาษฟอกขาวในประเทศไทยทั้ง 5 แห่งที่ทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง (References)

(1) การฟอกเยื่อ เล่ม 1. (เอกสารเผยแพร่) บริษัท สยามคราฟท์ จำกัด.

(2) ณรงค์ วุทธเสถียร. เทคโนโลยีการผลิตกระดาษ คุณสมบัติของกระดาษ ภาค 4 คุณสมบัติด้านทัศนศาสตร์. (เอกสารเผยแพร่) บริษัท แอ็ดวานซ์ อะโกร จำกัด (มหาชน).

(3) โครงการฉลากเขียว. ข้อกำหนดฉลากเขียวผลิตภัณฑ์กระดาษ (Paper). (เอกสารเผยแพร่) สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2554.

(4) International Organization for Standardization. Paper, board and pulps - Determination of total chlorine and organically bound chlorine. ISO 11480, 1997.

(5) International Organization for Standardization. Water quality-Determination of adsorbable organically bound halogens (AOX). ISO 9562:2004, 2004.

(6) Scandinavian pulp, paper and board testing committee. Water-extractable organically bound chlorine. SCAN-W 9 : 89, 1989.