บทที่ 5
การประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ : กรณีตัวอย่างโรงงานผลิตเยื่อกระดาษเคแอล

ในบทที่แล้วได้มีการพิจารณาองค์ประกอบที่เกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ ในบทนี้จะนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับกรณีตัวอย่างโรงงานผลิตเยื่อกระดาษเคแอล และอธิบายอย่างคร่าวๆ เกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศอย่างง่ายจากปริมาณการปล่อยของเสียที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากการขยายโรงงาน

โรงงานเคแอลเริ่มดำเนินการในปี พ.ศ. 2521 (ค.ศ.1978) โดยผลิตกระดาษฟอกขาวและปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แม่น้ำโขง ต่อมาในปี พ.ศ.2544 (ค.ศ.2001) โรงงานต้องการขยายโรงงานเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต ซึ่งผลจากการขยายโรงงานดังกล่าวมีศักยภาพที่จะทำให้เกิดผลกระทบที่สำคัญต่อสภาพแวดล้อมทางชีวกายภาพของท้องถิ่น และช่วงการขยายโรงงานจะมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบทางนิเวศหลายด้านรวมถึงทรัพยากรป่าไม้และคุณภาพอากาศ รวมทั้งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำจากปริมาณน้ำทิ้งที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้โรงงานเคแอลจ้างที่ปรึกษาทำการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศโดยประเมินขนาดและผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำจากการขยายโรงงาน

การกำหนดปัญหา

ได้มีการดำเนินการกำหนดปัญหาเพื่อประเมินขอบเขตของความเสี่ยงที่เกิดจากการขยายโรงงาน

การอธิบายลักษณะที่ตั้งโรงงาน

การอธิบายลักษณะที่ตั้งโรงงานจะรวมถึงการประเมินพื้นที่ที่ใช้เป็นพื้นที่โรงงานมาก่อนหน้านี้ เพื่อหาว่าการใช้ที่ดินในอดีตทำให้การปนเปื้อนกระจายลงสู่แม่น้ำโขงหรือไม่ ซึ่งก่อนหน้าที่จะมีการตั้งโรงงานแห่งนี้ พื้นดินยังคงอุดมสมบูรณ์และมีกิจกรรมที่ดูเหมือนว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำในระยะยาว

ได้มีการประเมินผลการใช้ที่ดินที่อยู่ใกล้กับโรงงานในปัจจุบันเพื่อหาว่ามีส่วนทำให้สารมลพิษทางน้ำเพิ่มเข้ามาหรือไม่ ซึ่งพบว่าพื้นที่รอบข้างเป็นป่าที่อุดมสมบูรณ์ ประกอบไปด้วยการทำฟาร์มเพื่อการยังชีพขนาดเล็ก และมีฟาร์มปลาขนาดเล็กตั้งอยู่ทางเหนือน้ำห่างจากโรงงานประมาณ 2 กิโลเมตร

นอกจากนั้นได้ทำการศึกษาสภาพของสิ่งแวดล้อมทางน้ำใกล้พื้นที่โครงการ อาทิการพิจารณาเกี่ยวสภาพทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำ รวมถึงรูปร่างและการไหลของแม่น้ำ (ได้แก่ สัณฐานวิทยา) ซึ่งขั้นตอนนี้มีความสำคัญต่อการประเมินศักยภาพการเจือจางของน้ำทิ้งที่ปล่อยจากโรงงาน

การระบุและอธิบายลักษณะของแรงกดดัน

ขั้นตอนที่ต่อจากการอธิบายลักษณะที่ตั้งโรงงานก็คือการระบุและอธิบายลักษณะของแรงกดดัน ในการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขยายโรงงานจะเน้นผลกระทบที่มีต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในน้ำที่คาดว่าจะเกิดขึ้น แต่การประเมินความเสี่ยงทางนิเวศจะเน้นไปที่การระบุและวัดปริมาณองค์ประกอบที่อาจมีความเป็นพิษในน้ำทิ้งของโรงงาน ซึ่งโดยทั่วไปแรงกดดันที่พบในน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษจะรวมถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าบีโอดี สารฟีนอล กรดเรซิน โลหะ ธาตุอาหาร และ อินทรีย์สารที่มีอนุมูลของคลอรีนในองค์ประกอบอีกหลายชนิด ที่เรียกว่าสารอินทรีย์ฮาโลเจนถูกดูดซับได้ (absorbable organic halogens) เช่น ไดออกซิน เป็นต้น ในปัจจุบันมีการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานลงสู่แม่น้ำโดยไม่ผ่านการบำบัด ทำให้กระแสของน้ำทิ้งได้กระจายตัวทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ทั้งนี้คาดว่าความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำทิ้งจะมีมากขึ้นเมื่อมีการขยายกำลังการผลิตของโรงงาน

ความเข้มข้นของแรงกดดันจากน้ำทิ้งโรงงาน สามารถหาได้จากการเก็บข้อมูลน้ำทิ้งและน้ำในแม่น้ำจากตัวอย่างคุณภาพน้ำที่ดำเนินการหลายๆ ครั้ง ความเข้มข้นของสารมลพิษทางเคมีและชีวภาพสามารถเปรียบเทียบกับเกณฑ์คุณภาพน้ำในประเทศเวียดนามหรือประเทศไทย เนื่องจากประเทศกัมพูชายังไม่มีมาตรฐานคุณภาพน้ำเป็นของตนเอง นอกจากนั้นความเข้มข้นของน้ำทิ้งก็อาจเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำระหว่างประเทศ การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำทิ้งจะช่วยบอกได้ว่าแรงกดดันที่มีนั้นอยู่ในระดับที่สูงจนอาจทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำหรือไม่ และสิ่งนี้สามารถช่วยให้มีการเน้นประเมินความเสี่ยงของแรงกดดันซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ โดยทั่วไปแล้วผลของการเปรียบเทียบสารมลพิษทั้งหลายทำให้สามารถอธิบายศักยภาพของแรงกดดันได้ สำหรับกรณีนี้สารมลพิษที่มีความสำคัญในการประเมินความเสี่ยงก็คือสารไดออกซิน ซึ่งสารไดออกซินเป็นผลผลิตพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ ทั้งนี้รายละเอียดของสารไดออกซินจะได้นำเสนอในตอนต่อไป

มาตรฐานคุณภาพน้ำ

มาตรฐานหรือเกณฑ์คุณภาพน้ำที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศในกรณีนี้เป็นชุดของตัวเลขแสดงถึงขีดจำกัดของสารมลพิษทางเคมีและชีวภาพเพื่อการปกป้องคุณภาพน้ำผิวดิน โดยมาตรฐานคุณภาพน้ำมักขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ เช่น มาตรฐานสำหรับน้ำดื่มมักจะมีความเข้มงวดกว่ามาตรฐานสำหรับน้ำเพื่อการชลประทาน ซึ่งตัวแปรพื้นฐานที่ใช้ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในประเทศคือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ความขุ่น ความกระด้าง ปริมาณของแข็งละลายน้ำ ปริมาณสารแขวนลอย อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารมลพิษเฉพาะอย่าง หรือ โลหะหนัก เป็นต้น

มาตรฐานคุณภาพน้ำมักแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ มาตรฐานน้ำในแม่น้ำและมาตรฐานน้ำทิ้ง โดยมาตรฐานน้ำในแม่น้ำจะเกี่ยวกับคุณภาพน้ำทางท้ายน้ำจากจุดกำเนิดที่ปล่อยน้ำเสีย ส่วนมาตรฐานน้ำทิ้งจะเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำทิ้งโดยตรง

ตัวอย่างเกณฑ์ของน้ำผิวดินและน้ำทิ้งสำหรับพารามิเตอร์ต่างๆ ของประเทศเวียดนามและประเทศไทยดังสรุปในตารางที่ 1 นอกเหนือจากมาตรฐานคุณภาพน้ำในแม่น้ำและมาตรฐานน้ำทิ้งแล้ว บางประเทศได้จัดทำมาตรฐานคุณภาพน้ำสำหรับการปกป้องสิ่งมีชีวิตทางน้ำด้วย และนอกจากการปกป้องคุณภาพน้ำสำหรับการใช้ประโยชน์ของมนุษย์แล้ว เป้าหมายของการจัดการก็คือความสมบูรณ์และการปกป้องสิ่งมีชีวิตในน้ำซึ่งได้มีการกำหนดมาตรฐานขึ้นด้วย

มาตรฐานน้ำทิ้ง

ระบบมาตรฐานน้ำทิ้งมักใช้ในการควบคุมได้ง่ายกว่าระบบมาตรฐานน้ำในแม่น้ำ เพราะไม่ต้องมีรายละเอียดของการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณการบำบัดของเสีย อย่างไรก็ตาม ถ้ามาตรฐานน้ำทิ้งไม่ได้มีการทบทวนหรือปรับปรุงมาอย่างต่อเนื่องก็จะไม่สามารถใช้ปกป้องแม่น้ำได้อย่างเพียงพอ

มาตรฐานน้ำทิ้งขึ้นอยู่กับเศรษฐกิจและการปฏิบัติจริงในระบบบำบัด มากกว่าต้องการปกป้องแม่น้ำอย่างแท้จริง การใช้ประโยชน์แหล่งน้ำจึงขึ้นอยู่กับสภาพของแม่น้ำหลังจากการใช้มาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งบางครั้งการฟื้นฟูหรือการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอาจถูกละเลยเพราะเห็นแก่ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมมากกว่า

ในประเทศกำลังพัฒนาของลุ่มแม่น้ำโขงตอนล่าง น้ำผิวดินเป็นแหล่งผลิตน้ำประปาโดยตรงซึ่งบ่อยครั้งก็ปราศจากการบำบัด และไม่ว่าที่ใดก็ตามหากประชากรใช้น้ำในแม่น้ำสำหรับดื่ม ข้อกำหนดด้านคุณภาพน้ำจะต้องเข้มงวดและต้องมีการควบคุมการปล่อยน้ำเสียอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องมีการป้องกันน้ำประปาจากสิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดโรค เช่น แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)

ประเทศกำลังพัฒนามักเน้นที่ระบบมาตรฐานน้ำทิ้งมากกว่าระบบมาตรฐานน้ำในแม่น้ำเนื่องจากง่ายและใช้ต้นทุนน้อยกว่าในการตรวจติดตามและบังคับใช้

ตารางที่ 1 เกณฑ์คุณภาพน้ำสำหรับบางพารามิเตอร์ ในประเทศเวียดนามและประเทศไทย

(หน่วยทั้งหมดเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นค่าความเป็นกรด-ด่าง และ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย)

	ประเทศเวียดนาม		ประเทศไทย	
มาตรฐานน้ำผิวดิน	น้ำประปา	การใช้ด้านอื่นๆ	น้ำประปา	การใช้ด้านอื่นๆ
ความเป็นกรด-ด่าง	6-8.5	5.5-9		5-9
ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ	6	2	6	4
โคลิฟอร์มแบคทีเรีย (MPN/100 ml)				
- โคลิฟอร์มทั้งหมด	5,000	10,000	5,000	20,000
- ฟีคอลโคลิฟอร์ม			1,000	4,000
ค่าบีโอดี	<4	<25	1.5	2
สารแขวนลอย	20	80	--	--
น้ำมันและไขมัน	ตรวจวัดไม่ได้	0.3	--	--
แอมโมเนีย	0.05	1	--	--
ตะกั่ว (Pb)	0.05	0.1	0.05	
สังกะสี (Zn)	1	2	1	
ปรอท (Hg)	0.001	0.002	0.002	
ทองแดง (Cu)	0.1	1	0.1	
นิเกิล (Ni)	0.1	1	0.1	
โครเมียม (Cr)	0.05	0.05	0.05	
เฮ็กซาวาเลนท์ (Hexavalent)				
ยากำจัดศัตรูพืช	0.15	0.15	0.05	
ดีดีที (DDT)	0.01	0.01	1	
อัลดริน (Aldrin)			0.1	
ดีลดริน (Dieldrin)			0.1	
เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)			0.2	
สารประกอฟีนอล	0.001	0.02	0.005	
มาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม				
ความเป็นกรด-ด่าง	6-9	5.5-9	5-9	
อุณหภูมิ	40 °C	40 °C	--	
ค่าบีโอดี	20	50	20-60	
สารแขวนลอย	50	100	ค่าแปรผัน	
แอมโมเนีย	0.1	1	--	
ตะกั่ว (Pb)	0.1	0.5	0.2	
สังกะสี (Zn)	1	2	5	
ปรอท (Hg)	0.005	0.005	0.005	
ทองแดง (Cu)	0.2	1	1	
นิเกิล (Ni)	0.2	1	0.2	
ไนโตรเจนทั้งหมด	30	60	--	
คลอรีนคงเหลือ	1	2	1	
ไซยาไนด์	0.05	0.1	0.2	
สารประกอบฟีนอล	0.001	0.05	1	

สารไดออกซินในน้ำทิ้งของโรงงาน

สารไดออกซินเป็นผลผลิตพลอยได้จากกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษเนื่องจากการใช้สารคลอรีนในการฟอกสี ซึ่งมีสารไดออกซินจำนวนกว่า 75 ชนิดแตกต่างกันตามจำนวนและตำแหน่งอะตอมคลอรีนในองค์ประกอบ โดยสารไดออกซินที่เรียกว่า 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin (2,3,7,8-TCDD) เป็นสารที่มีพิษมากที่สุดที่กระจายในสิ่งแวดล้อม สารไดออกซินเป็นสารที่คงทนยาวนานในสิ่งแวดล้อมและละลายได้ดีในไขมัน จึงสะสมในไขมันในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตและมีความทนทานต่อการถูกทำลาย รวมทั้งเป็นสารที่ละลายน้ำได้น้อยและมีแนวโน้มจะสะสมในตะกอน ทั้งนี้สารไดออกซินจะเคลื่อนย้ายจากตะกอนไปสู่สิ่งมีชีวิตผ่านการสะสมโดยตรงจากตะกอนและน้ำไปสู่ผิวหนังและเหงือกของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและปลากินพืชขนาดเล็ก สารไดออกซินจะเคลื่อนย้ายไปสู่ปลาขนาดใหญ่กว่าและนกที่กินสัตว์เหล่านี้เป็นอาหาร ซึ่งผลของความเป็นพิษสามารถเกิดได้แม้บริโภคในปริมาณที่ต่ำ ดังนั้นการถ่ายทอดสารผ่านห่วงโซ่อาหารทำให้เกิดความเป็นพิษและผลกระทบต่อการขยายพันธุ์ซึ่งจะมีมากขึ้นในผู้บริโภคระดับสูงขึ้นไป

การที่เน้นสารไดออกซินในการประเมินความเสี่ยงนี้เพราะสารดังกล่าวเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำทิ้งจากโรงงานและเป็นสารที่มีอันตรายทั้งต่อมนุษย์และสัตว์ป่า ถึงแม้ว่ามีการเก็บตัวอย่างของน้ำทิ้งและน้ำจากแม่น้ำเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ แต่การวิเคราะห์ตัวอย่างอาจไม่พบสารไดออกซิน เนื่องจากเป็นการยากที่จะตรวจสอบพบ และการวิเคราะห์ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากธรรมชาติของสารไดออกซินที่ไปจับตัวกับไขมันในเนื้อเยื่อ ทำให้คาดหวังได้ว่าการเก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อจะสามารถตรวจสอบระดับของสารไดออกซินได้ และเนื่องจากประชากรท้องถิ่นส่วนใหญ่บริโภคปลาเป็นอาหาร รวมทั้งโรงงานได้ปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำมานาน ดังนั้นเพื่อประโยชน์ด้านการสาธารณสุขจะมีการติดตามตรวจสอบระดับสารไดออกซินในเนื้อเยื่อของปลา

การระบุและอธิบายลักษณะของตัวรับผลกระทบ

จากการระบุให้สารไดออกซินเป็นแรงกดดัน ดังนั้นจะประเมินผลสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่เพื่อเลือกเป็นตัวรับผลกระทบ โดยตัวรับผลกระทบที่เลือกมาต้องเป็นตัวที่มีการรับสัมผัสกับสารไดออกซินในน้ำ รวมทั้งในตะกอนและในอาหาร ซึ่งกลุ่มสิ่งมีชีวิต 3 กลุ่มที่เลือกมีความสำคัญทางสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจ คือ

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเป็นตัวรับผลกระทบที่สำคัญ เนื่องจากมีความสามารถในการเคลื่อนที่น้อย ทำให้ยากต่อการหลีกเลี่ยงสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม รวมทั้งสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมีการสัมผัสโดยตรงกับตะกอน และเป็นเส้นทางหลักในการเคลื่อนย้ายสาร

ไดออกซินจากตะกอนไปสู่ปลาและนก ถึงแม้ว่าสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมักจะไม่แสดงผลที่ได้รับจากสารไดออกซิน แต่ก็เป็นตัวแปรที่สำคัญในการตรวจติดตาม เนื่องจากสัตว์เหล่านี้เป็นตัววัดที่ดีเกี่ยวกับการรับสัมผัส โดยถ้าบริเวณหน้าดิน (คือ ที่ซึ่งเป็นฐานของระบบห่วงโซ่อาหารของระบบนิเวศทางน้ำ) มีการรับสัมผัสก็จะตั้งข้อสมมุติได้ว่าจะพบสารไดออกซินในเนื้อเยื่อของปลาหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในน้ำ

ปลา

ปลาสองชนิดพันธุ์ถูกเลือกให้เป็นตัวรับสัมผัส ปลาชนิดแรกคือ Giant catfish (*Pangasianodon gigas*) ซึ่งปลาชนิดนี้หากินกับพืชน้ำและสิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่เกาะอยู่กับรากพืชใต้น้ำ ทำให้อาจสัมผัสกับสารไดออกซินในตะกอนและน้ำในดินที่ปลาค้นหาอาหารตามท้องน้ำ นอกจากนั้น ปลาชนิดนี้ยังเป็นพันธุ์ปลาของเอเชียที่ใกล้สูญพันธุ์และการที่อยู่อาศัยในแม่น้ำโขงทำให้อาจได้รับอันตรายจากการเพิ่มขึ้นของน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมา ส่วนปลาชนิดที่สองคือ Shortbarbel pangasius (*Pangasius micronemus*) ซึ่งปลาชนิดนี้กินเศษกรวดและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเป็นอาหารและนับว่าเป็นแหล่งอาหารสำคัญของหมู่บ้านที่อยู่ใกล้เคียง รวมทั้งเป็นรายได้ของชาวประมงในการจับปลาเหล่านี้ไปขายที่ตลาดท้องถิ่น

นก

กลุ่มนี้จะใช้ตัวแทนคือ นก Black Crowned Night heron (*Nycticorax nycticorax*) นกชนิดนี้ทำรังเป็นฝูงอยู่ทางท้ายน้ำของโรงงานและออกลูกหลานอยู่บริเวณนี้ตลอดปี นกชนิดนี้สามารถพบได้ตามบริเวณที่น้ำตื้นของแม่น้ำโขง เป็นนกที่กินปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำเป็นอาหาร

เมื่อได้เลือกตัวรับผลกระทบแล้วจึงทำการเลือกจุดหมายการประเมิน ซึ่งหมายถึงคุณค่าทางสิ่งแวดล้อมที่ต้องการปกป้อง จุดหมายการประเมิน ได้แก่

- การมีชีวิตอยู่ได้ของชุมชีพสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน
- การมีชีวิตอยู่ได้ของประชากรปลา Shortbarbel pangasius และ ปลา Giant catfish ที่ใกล้สูญพันธุ์
- การมีชีวิตอยู่ได้ของฝูงนก Black Crowned Night heron

จากจุดหมายการประเมินที่ได้เลือกมาจะทำให้เลือกจุดหมายการวัดได้ โดยหมายถึงการตอบสนองต่อแรงกดดันที่สามารถวัดได้ซึ่งมีความเชื่อมโยงกับจุดหมายการประเมิน ซึ่งจุดหมายที่เลือกมาเพื่อวัดผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของน้ำทิ้งที่ปล่อยออกมา ได้แก่

- ความหลากหลายของชุมชีพสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน
- การรอดชีวิตและการขยายพันธุ์ของประชากรปลา Shortbarbel pangasius และปลา Giant catfish ทางท้ายน้ำ
- การขยายพันธุ์และพัฒนาการของฝูงนก Black Crowned Night heron ที่อาศัยอยู่ทางท้ายน้ำของโรงงาน

ตัวแบบกรอบแนวคิด

ตัวแบบกรอบแนวคิดเป็นการแสดงถึงว่าแรงกดดันจะส่งผลกระทบต่อตัวรับผลกระทบได้อย่างไรดังรูปที่ 1 ซึ่งจากตัวแบบได้แสดงการเคลื่อนย้ายของสารไดออกซินจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษเคแอลเข้าสู่สิ่งแวดล้อมทางน้ำที่เป็นตัวรองรับ และผลที่เกิดขึ้นตามมากับสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยสารไดออกซินสามารถพบได้ในบริเวณต่อไปนี้

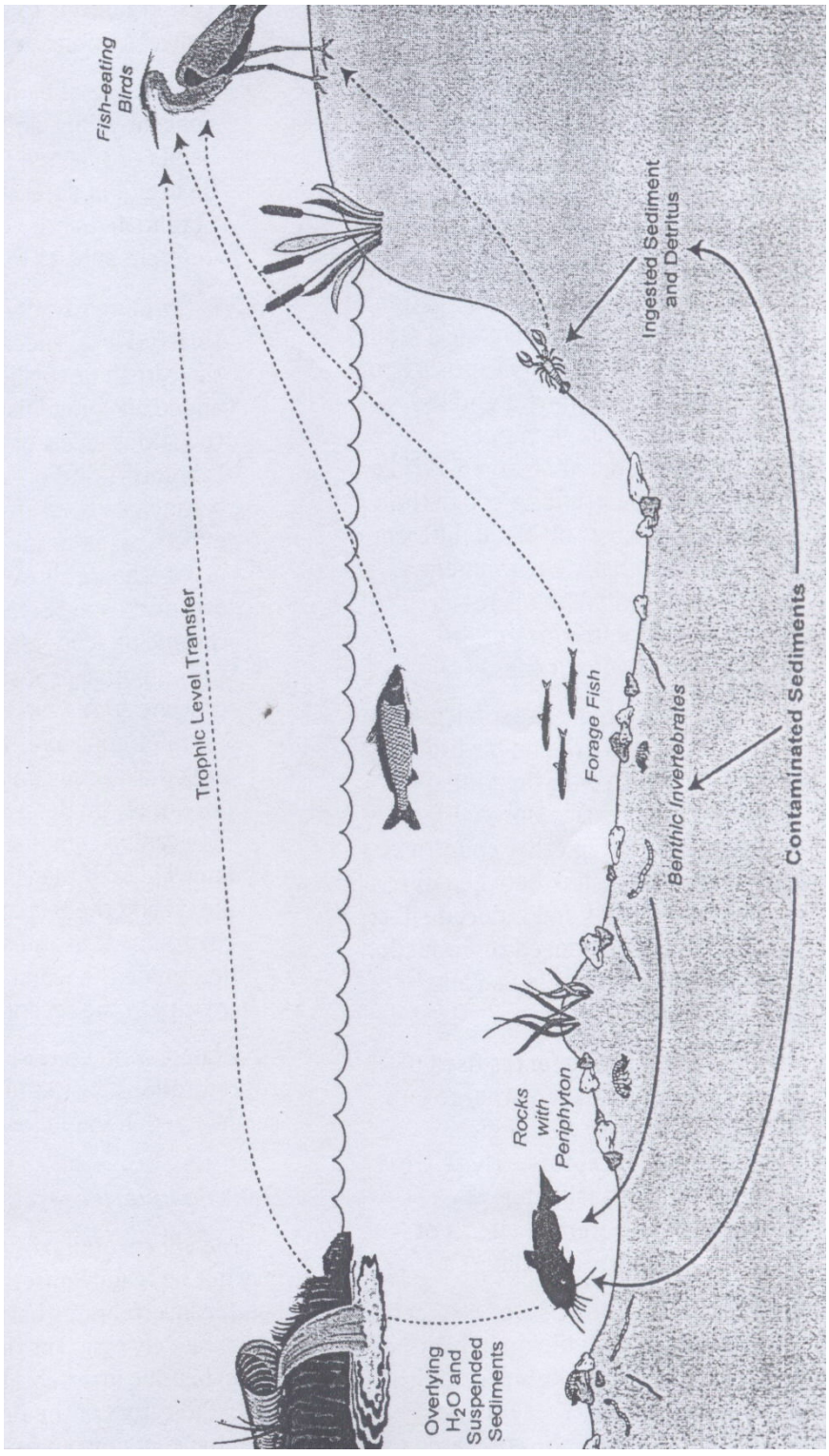
- บริเวณแม่น้ำ - โดยอาจพบสารไดออกซินได้ในน้ำและมีการเจือจางมากขึ้นเมื่อไกลจากโรงงาน
- ตะกอน – โดยสารไดออกซินอาจสะสมในตะกอนท้ายน้ำของการปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานและมีแนวโน้มว่าจะสะสมในตะกอน
- เนื้อเยื่อ - โดยสารไดออกซินจะมีการแพร่จากน้ำและตะกอนเข้าสู่สัตว์ในน้ำและมีการส่งผ่านตามห่วงโซ่อาหาร

การประเมินการรับสัมผัส

หลังจากได้มีการกำหนดปัญหาแล้วจะสามารถทำการประเมินการรับสัมผัสเพื่อหาการติดต่อระหว่างแรงกดดันและตัวรับผลกระทบ โดยขั้นแรกต้องพิจารณาหาแหล่งกำเนิด สถานที่พบและสถานที่ปล่อยสารปนเปื้อน ซึ่งเป็นการปล่อยน้ำทิ้งที่เข้มข้นของโรงงานในแต่ละวันลงสู่แม่น้ำโขง ทั้งนี้น้ำทิ้งจะประกอบไปด้วยสารไดออกซินที่ความเข้มข้นวัดเป็นปริมาณส่วนในล้านล้านส่วน โดยคิดเป็นสารไดออกซินที่ปล่อยออกมาในแต่ละปีประมาณ 100 ถึง 150 กรัม ซึ่งปริมาณสารไดออกซินคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามการขยายโรงงาน

ในขั้นตอนต่อมาจะตรวจสอบการเคลื่อนย้ายและผลร้ายของสารไดออกซินรวมทั้งการประเมินลักษณะทางเคมีและกายภาพของสารไดออกซิน ซึ่งลักษณะเหล่านี้มีอิทธิพลต่อตัวรับผลกระทบ กล่าวคือ เมื่อมีการปล่อยน้ำเสียออกมา สารไดออกซินซึ่งละลายน้ำได้น้อยมีแนวโน้มที่จะสะสมในตะกอนซึ่งเป็นแหล่งรองรับสำคัญสำหรับสารไดออกซิน และเมื่อเข้าไปอยู่ในตะกอน

รูปที่ 1 เส้นทางการรับสัมผัสที่อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนในแม่น้ำโขงตอนล่าง



สารไดออกซินจะมีการลดปริมาณลงช้ามาก สารไดออกซินจะเคลื่อนย้ายจากน้ำเข้าสู่สิ่งมีชีวิตในน้ำและสะสมมากขึ้นเรื่อยๆ ตามห่วงโซ่อาหาร

ในขั้นสุดท้ายจะทำการประเมินศักยภาพของเส้นทางการรับสัมผัสของสารไดออกซินจากของเสียที่ปล่อยออกมาไปสู่ตัวรับผลกระทบ ซึ่งสามารถสรุปเส้นทางการรับสัมผัสได้ดังนี้

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินอาจได้รับสัมผัสสารไดออกซินผ่านการสัมผัสโดยตรงและการกินอนุภาคตะกอนหรือน้ำในดินเข้าไป หรือโดยการกินอาหารที่ปนเปื้อน (เช่น สิ่งมีชีวิตต่างๆ ที่เกาะอยู่กับรากพืชใต้น้ำ และ/หรือ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินชนิดอื่นๆ)

ปลา

ปลา Giant catfish และ Shortbarbel pangasius อาจได้รับสารไดออกซินผ่านการสัมผัสโดยตรงกับน้ำที่ปนเปื้อน สัมผัสและกินอนุภาคตะกอน และได้รับจากน้ำในดิน หรือ การกินอาหารที่ปนเปื้อน (เช่น พืช สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน หรือปลาอื่นๆ)

นก

นก Black Crowned Night heron อาจได้รับสารไดออกซินผ่านการกินน้ำในแม่น้ำที่ปนเปื้อน กินเหยื่อ (เช่น ปลา สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน หรือสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ) และ/หรือกินและสัมผัสโดยตรงกับตะกอนและน้ำในดินระหว่างการค้นหาเหยื่อ

การประเมินผลกระทบ

เมื่อมีการหาการสัมผัสระหว่างแรงกดดันและตัวรับผลกระทบแล้วจะสามารถประมาณหาปริมาณของการรับสัมผัสได้ กล่าวคือ สามารถใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการหาปริมาณการรับสัมผัสที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมที่รองรับและตัวรับผลกระทบได้ โดยใช้ค่าความเข้มข้นของสารไดออกซินในน้ำทิ้งรวมทั้งการเจือจางและการสะสมในสิ่งมีชีวิตของสารปนเปื้อน ซึ่งตัวอย่างของตัวแบบมีรายละเอียดในบทที่ 6 โดยแม้ว่าตัวแบบจะมีประโยชน์ในการวัดปริมาณสารไดออกซินที่มีในตัวกลางที่ต่างกันของสิ่งแวดล้อมทางน้ำ แต่ตัวอย่างเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตก็มีความจำเป็นเช่นกันเพื่อใช้หาความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในสิ่งมีชีวิตทางน้ำ

ในปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความเป็นพิษของสารไดออกซินที่มีต่อปลาและนกชนิดต่างๆ ในลุ่มแม่น้ำโขง อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่สมบูรณ์ในประเทศอื่นๆ สามารถนำมาหาความ

เชื่อมโยงกับระดับความเข้มข้นของสารไดออกซินได้และทำให้ทราบผลกระทบ เช่น การมีชีวิตการลดลงของการขยายพันธุ์ หรือ การทำให้เสียลักษณะทางกายภาพของปลาและสัตว์ป่าริมฝั่งได้

การประเมินผลกระทบใช้ในการเชื่อมโยงผลกระทบของสารไดออกซินที่ปล่อยออกสู่แม่น้ำโขงกับการตอบสนองทางชีวภาพในตัวรับผลกระทบ ซึ่งมีหลายวิธีการสำหรับหาศักยภาพของผลกระทบจากสารไดออกซินบนตัวรับผลกระทบ รวมถึง

- การหาความเข้มข้นของสารไดออกซินในเนื้อเยื่อร่างกายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินรวมทั้งปลาและนกชนิดที่เลือกไว้ ซึ่งความเข้มข้นในเนื้อเยื่อสามารถนำมาเปรียบเทียบกับการศึกษาในอดีตซึ่งได้มีการหาค่าความเป็นพิษที่รุนแรงและไม่รุนแรงจากการรับสัมผัสสารไดออกซินของสิ่งมีชีวิตที่ทดสอบในระดับความเข้มข้นต่างๆ
- ความรู้เกี่ยวกับการสะสมในเนื้อเยื่อของสัตว์หน้าดิน และนิสัยการหาอาหารของปลาชนิดที่เลือกไว้สามารถนำมาเป็นประโยชน์ในการหาปริมาณสารไดออกซินที่ปลาแต่ละชนิดอาจกินเข้าไปได้
- การทดสอบความเป็นพิษในชนิดพันธุ์ท้องถิ่น (เช่น ปลาดุกหรือปลาขนาดเล็กที่มีอยู่มากกว่า) ที่ได้รับสารไดออกซินในระดับต่างๆ กัน การทดสอบความเป็นพิษในห้องปฏิบัติการหรือในพื้นที่จะเป็นประโยชน์สำหรับการหาระดับความเข้มข้นของสารไดออกซินในเนื้อเยื่อที่จะก่อให้เกิดผลกระทบ หรือ การกำหนดค่าต่ำสุดของสารไดออกซิน ซึ่งหากสิ่งมีชีวิตได้รับมากกว่าค่าที่กำหนดนี้ก็อาจจะได้รับผลกระทบเฉียบพลันหรือเรื้อรัง ทั้งนี้สามารถหาความเข้มข้นการรับสัมผัสที่รุนแรงและไม่รุนแรงได้ โดยจากการทดสอบความเป็นพิษอาจจะทำให้ทราบความเข้มข้นในเนื้อเยื่อที่อยู่ในระดับที่มีความรุนแรงและไม่รุนแรง นอกจากนี้ข้อมูลความเป็นพิษผนวกกับความรู้เกี่ยวกับลักษณะของสารไดออกซินและสภาพแวดล้อมที่รองรับ ทำให้สามารถหาความเป็นพิษของสารไดออกซินในกรณีที่ร้ายแรงที่สุดต่อตัวรับผลกระทบ

ตัวอย่างของความเข้มข้นของสารไดออกซินที่สะสมในเนื้อเยื่อแล้วเกิดผลกระทบสรุปได้ดังนี้

สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

ผลกระทบของสารไดออกซินต่อสิ่งมีชีวิตหน้าดินอาจไม่สามารถสังเกตได้ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินจะมีความต้านทานต่อสารไดออกซินได้ดี และมักใช้เป็นตัวชี้วัดที่มีประโยชน์ในการแสดงศักยภาพของสารปนเปื้อนในบางระบบนิเวศ รวมทั้งการตรวจติดตามสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินเป็นสิ่งที่ทำได้ง่ายและมีราคาถูก ซึ่งหากเนื้อเยื่อของสัตว์หน้าดินแสดงการรับสัมผัสกับ

สารไดออกซินก็จะทำให้นักวิทยาศาสตร์ทราบว่าควรทำการทดสอบในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระดับห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้นไป เช่น ปลา นกน้ำ หรือ มนุษย์ เป็นต้น

ปลา

การศึกษาในปัจจุบันพบว่า “ระดับความเข้มข้นที่ไม่พบผลกระทบ (no observed effects concentration)” (คือปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่มีผลกระทบทางลบ) สำหรับปลา Rainbow trout (เช่น การเจริญเติบโต การรอดชีวิต และพฤติกรรม) เท่ากับ 0.00004 ไมโครกรัมต่อลิตร ของ 2,3,7,8-TCDD (คือ ประเภทของสารไดออกซินที่มีความเป็นพิษมากที่สุด) ส่วนการศึกษาอื่นๆ พบว่าปลาหลายชนิด เช่น ปลา carp จะได้รับผลกระทบเกี่ยวกับการขยายพันธุ์เมื่อได้รับความเข้มข้นของสาร 2,3,7,8-TCDD ในปริมาณ 0.00006 ถึง 0.00023 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งผลจากการวิจัยในปัจจุบันได้แนะนำให้ความเข้มข้นของสารไดออกซินในน้ำไม่ควรเกิน 0.01 ส่วนในพันส่วน เพื่อป้องกันสิ่งมีชีวิตในน้ำ

นก

ข้อมูลจากการศึกษาความเป็นพิษแสดงให้เห็นว่าโดยทั่วไปค่า “ระดับความเข้มข้นที่ไม่พบผลกระทบ” ของนกคือ 4 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม โดยผลการศึกษาที่แตกต่างกันรายงานว่านกจะได้รับผลกระทบจากสารไดออกซินเมื่อได้กินสาร 2,3,7,8-TCDD เข้าไปในปริมาณ 15 ถึง 810 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์

การอธิบายลักษณะของความเสี่ยง

ขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศคือการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง โดยขั้นตอนนี้รวมผลลัพธ์จากการประเมินการรับสัมผัสและการประเมินผลกระทบเพื่อหาผลกระทบทางลบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการรับสัมผัสจากแรงกดดันรวมทั้งหาขนาดของผลกระทบ

การประมาณความเสี่ยงสามารถคำนวณตามตัวรับผลกระทบแต่ละตัวโดยใช้วิธีการหารความอันตราย (hazard quotient method : HQ) ที่แตกต่างกัน โดยใช้ผลลัพธ์ของตัวแบบและการทดสอบเนื้อเยื่อในเบื้องต้นและนำค่าคาดหวังของความเข้มข้นในสิ่งแวดล้อม (expected environmental concentration : EEC) สำหรับตัวรับผลกระทบแต่ละชนิดมาหารด้วยค่าความเข้มข้นอ้างอิง (benchmark concentration : BC) ของแต่ละตัวรับผลกระทบ ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนสำหรับสารไดออกซินในลุ่มแม่น้ำโขง จึงใช้ค่า “ระดับความเข้มข้นที่ไม่พบผลกระทบ” ที่ได้จากการประเมินผลกระทบมาเป็นค่าอ้างอิง

โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$HQ = \frac{EEC}{BC}$$

สำหรับสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน

$$HQ = \frac{0.00002\ \mu g}{0.00004\ \mu g} = 0.5 = \text{มีความเสี่ยงต่ำ}$$

ปลา

$$HQ = \frac{0.0063\ \mu g}{0.00004\ \mu g} = 15.75 = \text{มีความเสี่ยงสูง}$$

นก

$$HQ = \frac{50\ \mu g}{4\ \mu g} = 12.5 = \text{มีความเสี่ยงต่ำ}$$

จากการคำนวณดังกล่าวพบว่าความเสี่ยงของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามความเสี่ยงของปลาดุกยักษ์และปลา Shortbarbel pangasius รวมทั้งนก Black Crowned Night heron มีค่าสูง ดังนั้นควรมีการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ให้ลึกซึ้งขึ้น

การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน

แหล่งสำคัญของความไม่แน่นอนในการประเมินความเสี่ยงมีดังนี้

<u>การระบุแรงกดดัน</u> – เนื่องจากไม่มีข้อมูลในอดีตที่นำมาใช้ได้ระหว่างช่วงการกำหนดปัญหาเพื่อช่วยระบุสารปนเปื้อน จึงเป็นไปได้ว่าอาจมีแรงกดดันที่มีศักยภาพอื่นๆ เช่น ของเสียจากการทำฟาร์มปลาเหนือน้ำ (เช่น สารปฏิชีวนะ หรือ ค่าบีโอดีที่สูง) ซึ่งสำหรับการประเมินความเสี่ยงนี้ได้ตั้งข้อสมมุติว่าฟาร์มปลาไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมท้ายน้ำ อย่างไรก็ตาม ข้อสมมุติดังกล่าวอาจไม่ถูกต้อง เนื่องจากของเสียจากฟาร์มปลาสามารถเป็นตัวหนุนให้คุณภาพน้ำในช่วงท้ายน้ำเสื่อมลงได้

<u>การระบุตัวรับผลกระทบ</u> – เนื่องจากตัวรับผลกระทบทั้งทางน้ำและทางบกในแม่น้ำโขงมีหลากหลาย การเลือกตัวรับผลกระทบเพียงสามตัวให้เป็นตัวแทนของความสำคัญทางนิเวศที่เกี่ยวข้องกับประเด็นทางสิ่งแวดล้อมของพื้นที่โรงงานนั้น ตัวรับผลกระทบดังกล่าวอาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของชนิดพันธุ์ที่มีความอ่อนไหวที่สุดในสภาพแวดล้อมได้

<u>การประมาณความเข้มข้นการรับสัมผัส</u> – การประเมินการรับสัมผัสได้จากตัวแบบการหาความเข้มข้นของสารไดออกซินในน้ำทิ้ง อย่างไรก็ตามตัวแบบเหล่านี้อาจไม่ใช่ตัวแทนของความเข้มข้นในกรณีที่เลวที่สุด ดังนั้นต้องมีการเก็บข้อมูลตัวอย่างของพื้นที่ศึกษาเฉพาะในระยะยาวด้วย

<u>การประเมินผลกระทบจากข้อมูลที่มี</u> – การประเมินผลกระทบโดยใช้ข้อมูลความเป็นพิษของสาร 2,3,7,8-TCDD อันเป็นองค์ประกอบสารไดออกซินที่มีพิษที่สุด วิธีนี้เป็นการประเมิน

สำหรับกรณีที่เลวที่สุดซึ่งอาจไม่สะท้อนความเป็นพิษที่แท้จริงของสารไดออกซิน นอกจากนี้ ข้อมูลความเป็นพิษที่นำมาใช้ก็ไม่ได้อยู่บนพื้นฐานของชนิดพันธุ์ตัวรับผลกระทบ กล่าวคือ ชนิดพันธุ์ที่นำมาทดสอบอาจไม่สะท้อนความอ่อนไหวของตัวรับผลกระทบที่มีอยู่จริง ดังนั้นอาจต้องมีการพิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ เพื่อให้สามารถใช้ข้อมูลความเป็นพิษกับตัวรับผลกระทบทั้งสามชนิดพันธุ์ที่กำหนดขึ้น โดยทั่วไปแล้วการใช้ปัจจัยอื่นมาช่วยในการประเมินนับเป็นแนวทางดั้งเดิมสำหรับการแก้ปัญหาความไม่แน่นอนดังกล่าว ซึ่งแนวทางนี้มักมีการปรับการประมาณค่าความเป็นพิษที่ทราบสำหรับสิ่งมีชีวิตบางประเภทที่นำมาทดสอบ โดยการใช้ปัจจัยที่เลือกมาเพื่อประมาณความเข้มข้นที่ยอมรับได้

ความสำคัญทางนิเวศ

ผลลัพธ์จากการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศของการขยายโรงงานผลิตเยื่อกระดาษเคแอลแสดงว่ามีความเสี่ยงสูงต่อตัวรับผลกระทบที่เป็นปลาและนก เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของระดับสารไดออกซินในสิ่งแวดล้อมทางน้ำที่รองรับ ซึ่งปรากฏว่านก Black Crowned Night heron และปลาทั้งสองชนิดค่อนข้างอยู่ในความเสี่ยงเนื่องจากมีโอกาสได้รับสารไดออกซินและสะสมมากขึ้นตามห่วงโซ่อาหาร ในขณะที่ความเสี่ยงจะเกิดขึ้นตลอดทั้งปีเนื่องจากการปล่อยน้ำทิ้งอย่างต่อเนื่องนั้น ความเสี่ยงอาจน้อยที่สุดในช่วงน้ำหลากเพราะทำให้น้ำเสียเจือจาง ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างน้ำในระยะยาวจะช่วยในการหารูปแบบหรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไดออกซินในแต่ละปีได้

การจัดการความเสี่ยง

เมื่อประเมินความเสี่ยงทางนิเวศเสร็จเรียบร้อยแล้วได้มีการนำเสนอผลการศึกษาต่อหน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบการจัดการโรงงานเคแอล และมีการทบทวนเป้าหมายของการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ โดยพิจารณาความเชื่อมโยงระหว่างจุดหมายการวัดและจุดหมายการประเมิน มีการอธิบายขนาดและขอบเขตของผลกระทบที่มีต่อตัวรับผลกระทบจากข้อสมมุติต่างๆ และความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นระหว่างการประเมินความเสี่ยง จากผลการศึกษาเหล่านี้หน่วยงานภาครัฐที่รับผิดชอบการจัดการโรงงานจะสามารถตัดสินใจเกี่ยวกับศักยภาพของความเสี่ยงทางนิเวศที่เกิดจากการขยายโรงงานที่เสนอมาได้