บทที่ 6
การประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศแหล่งน้ำในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืช มหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา โดยใช้ Bayesian Network

โดย สันธิวัฒน์ พิทักษ์พล[1] สุธิดา โส๊ะบิน[2] และศิริลักษณ์ ตันเจริญ[1]
สำนักวิชาเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา อ. เมือง จ. พะเยา 56000[1]
ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพะเยา ต.เวียง อ.เมือง จ.พะเยา 56000[2]

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

มหาวิทยาลัยนเรศวรได้ตระหนักถึงความสำคัญของการกระจายโอกาส และการสร้างความเสมอภาคทางการศึกษา โดยพิจารณาแล้วเห็นว่า การจัดการศึกษาระดับอุดมศึกษายังไม่เอื้อต่อการขยับฐานะทางสังคม ผู้มีฐานะดียังคงได้เปรียบทางสังคม มีโอกาสในการศึกษามากกว่าในขณะที่ผู้ที่อยู่ห่างไกลยังด้อยโอกาสที่จะเข้าศึกษาในระดับอุดมศึกษา ประกอบกับมหาวิทยาลัยได้พิจารณาร่วมกับผู้ว่าราชการจังหวัดและสมาชิกผู้แทนราษฎรจังหวัดพะเยา รวมทั้งผู้แทนองค์การต่าง ๆ จากทั้งภาครัฐและเอกชนเห็นว่า จังหวัดพะเยาเป็นจังหวัดที่มีปัญหาด้านเศรษฐกิจ ประชากรมีรายได้เฉลี่ยต่ำสุดในเขตภาคเหนือและระดับการศึกษาของประชากรโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำ ปัญหาสังคมที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องยากที่จะทำการแก้ไข ปัญหาช่องว่างทางเศรษฐกิจ และสังคมดังกล่าวสามารถแก้ไขได้แบบยั่งยืนด้วยการใช้กลไกทางการศึกษาพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ การที่จะนำไปสู่การพัฒนาเศรษฐกิจอุตสาหกรรมและสังคม โดยการให้การศึกษาระดับสูงแก่ประชากรในจังหวัดพะเยา โดยเฉพาะการศึกษาระดับอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวรจึงได้จัดทำโครงการกระจายโอกาสทางการศึกษาสู่จังหวัดพะเยาขึ้น การจัดทำโครงการดังกล่าวสอดคล้องกับนโยบายของทบวงมหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนให้มหาวิทยาลัยขยายเขตการศึกษาออกไปสู่ภูมิภาค ทบวงมหาวิทยาลัยจึงได้พิจารณานำเสนอคณะรัฐมนตรีพิจารณาให้ความเห็นชอบในคราวประชุมเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน 2538 และต่อมาคณะรัฐมนตรีในคราวประชุมเมื่อวันที่ 8 ตุลาคม 2539 ได้มีมติให้ใช้ชื่อว่า วิทยาเขตสารสนเทศพะเยา

สำหรับสถานที่ตั้งถาวร มหาวิทยาลัยนเรศวรได้ร่วมกับจังหวัดพะเยาจัดหาสถานที่ตั้งและแผนการหาที่ตั้งและแผนการก่อสร้างอาคารสถานที่ให้สอดคล้องกับแผนการจัดการเรียนการสอน ณ บริเวณตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา ประกอบด้วยที่ดินจำนวน 5,727 ไร่ ซึ่งเป็นที่ดินสาธารณะประโยชน์ภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงมหาดไทย จำนวน 1,147 ไร่ และที่ป่าสงวนแห่งชาติภายใต้การกำกับดูแลของกรมป่าไม้ จำนวน 4,580 ไร่ ซึ่งขณะนี้ ได้รับอนุญาตให้มหาวิทยาลัยใช้ประโยชน์เรียบร้อยแล้ว สำหรับการพัฒนาพื้นที่ จังหวัดพะเยาได้มอบเงินจำนวน 2,000,000 บาท เป็นค่าทำถนนชั่วคราวความยาวประมาณ 3 กิโลเมตร เข้าพื้นที่ขณะเดียวกัน มหาวิทยาลัยก็ได้รับ

งบประมาณดำเนินการก่อสร้างอาคารสถานที่ประกอบด้วย อาคารเรียนรวม พื้นที่ประมาณ 20,000 ตร.ม. อาคารบริหาร และบริการ พื้นที่ประมาณ 8,150 ตร.ม. การติดตั้งระบบไฟฟ้าเข้าไปภายในบริเวณอาคารของหาวิทยาลัย การก่อสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำ ก่อสร้างถนนลาดยาง ความยาว 4 กิโลเมตร กว้าง 8 เมตร การก่อสร้างโรงกรองน้ำประปา ปัจจุบันการก่อสร้างอาคารสถานที่ดังกล่าวได้แล้วเสร็จ และได้ทำการเปิดสอนตั้งแต่ปีการศึกษา 2542 จนถึงปัจจุบัน หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาทั้งทางด้านวิชาการและด้านกายภาพ โดยในด้านกายภาพนั้นได้มีการก่อสร้างอาคารรวมถึงสถานที่สนับสนุนกิจกรรมของมหาวิทยาลัย เช่นหอพัก สนามกีฬา โรงงานปฏิบัติการ เพิ่มเติมอีกจำนวนหนึ่ง ทำให้สภาพแวดล้อมภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม

จากเหตุผลดังกล่าว คณะผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของการปกป้องทรัพยากรชีวภาพซึ่งมีความหลากหลายในพื้นที่มหาวิทยาลัย จึงได้จัดทำโครงการ ประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศแหล่งน้ำควบคู่กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำของลำน้ำและแหล่งน้ำภายในพื้นที่ของมหาวิทยาลัย ซึ่งผลของโครงการศึกษาครั้งนี้สามารถนำมาจัดทำเป็นแผนจัดการความเสี่ยงเพื่อปกป้องทรัพยากรชีวภาพเพื่อการอนุรักษ์ ตามโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาสยามบรมราชกุมารี และสามารถสร้างการรับรู้ของประชาคมในมหาวิทยาลัยในการปกป้องแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัย ทำให้นิสิตและประชาชนทั่วไปมีความตระหนักถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพต่อไป ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมได้แก่ การประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศ (ecological risk assessment) มาประยุกต์ใช้เพื่อจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารและผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดการแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยเพื่อให้สามารถใช้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดมาบริหารจัดการแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยาให้มีประสิทธิผลสูงสุด โดยในขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศจะมีการใช้ Bayesian network ซึ่งใช้หลักของความน่าจะเป็นมากำหนดความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลกระทบต่อระบบนิเวศ และสามารถพยากรณ์และทดสอบความน่าจะเป็นของสถานการณ์ในอนาคตที่จะเกิดขึ้นได้ ซึ่งการศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำให้สามารถทราบปัจจัยเสี่ยงของระบบนิเวศแหล่งน้ำและหาแนวทางการจัดการที่เหมาะสมได้

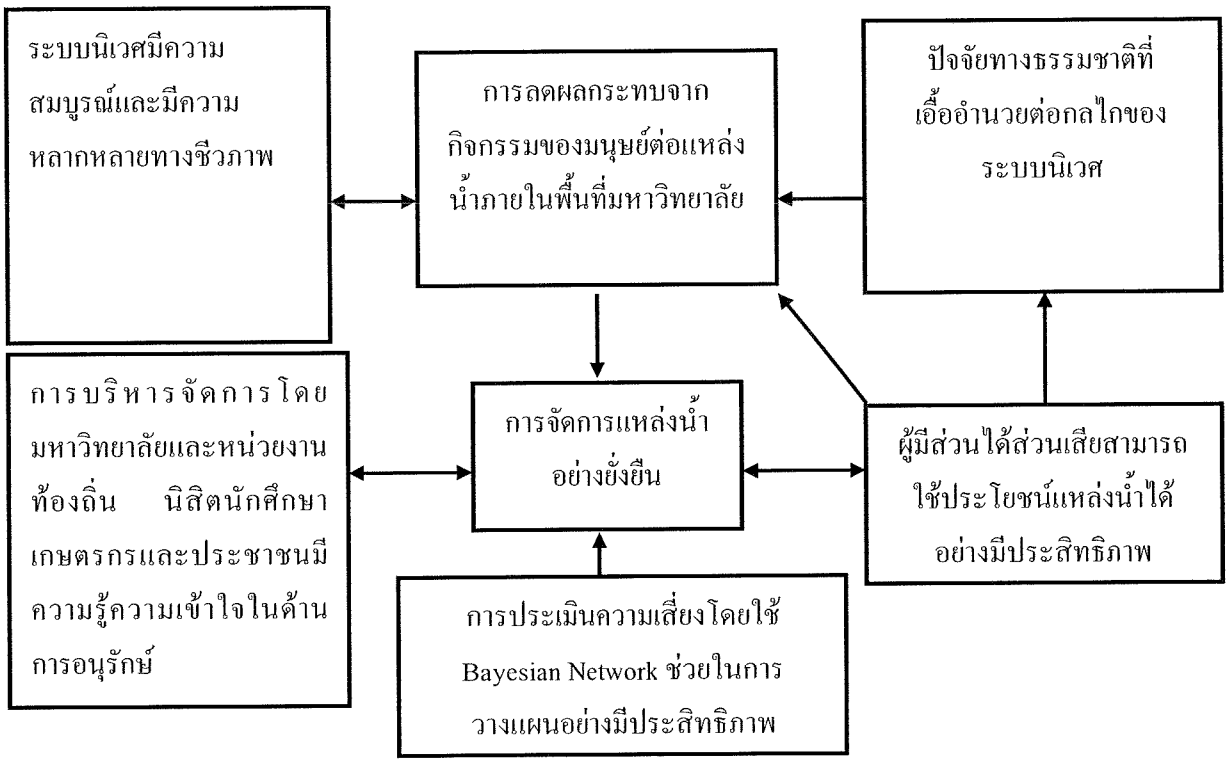
ขอบเขตการศึกษา

1. ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยเป็นระยะเวลา 1 ปี
2. ทำการประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยาโดยใช้ผู้เชี่ยวชาญจาก 4 สาขา ได้แก่ ด้านมลพิษทางน้ำและคุณภาพน้ำ ด้านชีววิทยาของปลา ด้านระบบนิเวศแหล่งน้ำ และด้านแบบจำลอง
3. ประยุกต์ใช้ Bayesian network จากแบบจำลองที่ผู้เชี่ยวชาญสร้างขึ้น เพื่อช่วยในการวางแผนของผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดการแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา

ขอบเขตระยะเวลา

ทำการประเมินความเสี่ยงโดยกำหนด สถานการณ์ในอนาคต (Future Scenarios Test) ในช่วงระยะเวลา 10 ปี ประกอบด้วย 3 สถานการณ์คือ สถานการณ์ที่ดีที่สุด สถานการณ์ปานกลางและสถานการณ์ที่แย่ที่สุด

กรอบแนวความคิดของการศึกษา (Conceptual model)



ภาพที่ 6.1 แสดงกรอบแนวความคิดของการศึกษา

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยาโดยการประยุกต์ใช้ Bayesian Network

การทบทวนวรรณกรรมและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศ

ความเสี่ยงของระบบนิเวศ (ecological risk) หมายถึง ผลร่วมของโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ใดๆ (likelihood) กับ ขนาดของผลกระทบที่จะเกิดขึ้นต่อระบบนิเวศ หากเกิดเหตุการณ์นั้นๆ (consequence) ดังนั้นในการที่จะประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศได้จึงต้องกำหนดคุณค่าทางนิเวศของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา (ecological value) และจะต้องบ่งชี้สิ่งอันตราย (hazard) หรือแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อม (stressor) ที่อาจจะทำลายคุณค่าของปัจจัยสิ่งแวดล้อมนั้นๆ นอกจากนั้นจะต้องกำหนดจุดหมายของการประเมิน (assessment endpoint) ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบทางนิเวศซึ่งต้องการการปกป้อง ยกตัวอย่างเช่น การประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศของหนองเล็งทรายอาจจะกำหนดจุดหมายของการประเมินเป็นความชุกชุมหรือปริมาณปลาหรือทรัพยากรทางการประมงอื่นๆ เช่น กุ้งฝอย ในหนองเล็งทราย ส่วนสิ่งอันตรายที่อาจจะมีผลต่อความชุกชุมของทรัพยากรประมงก็คือสารเคมีกำจัดศัตรูพืช น้ำเสียจากชุมชนที่ปล่อยลงสู่หนองเล็งทราย การทำลายแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ การจับสัตว์น้ำโดยผิดกฎหมาย เป็นต้น

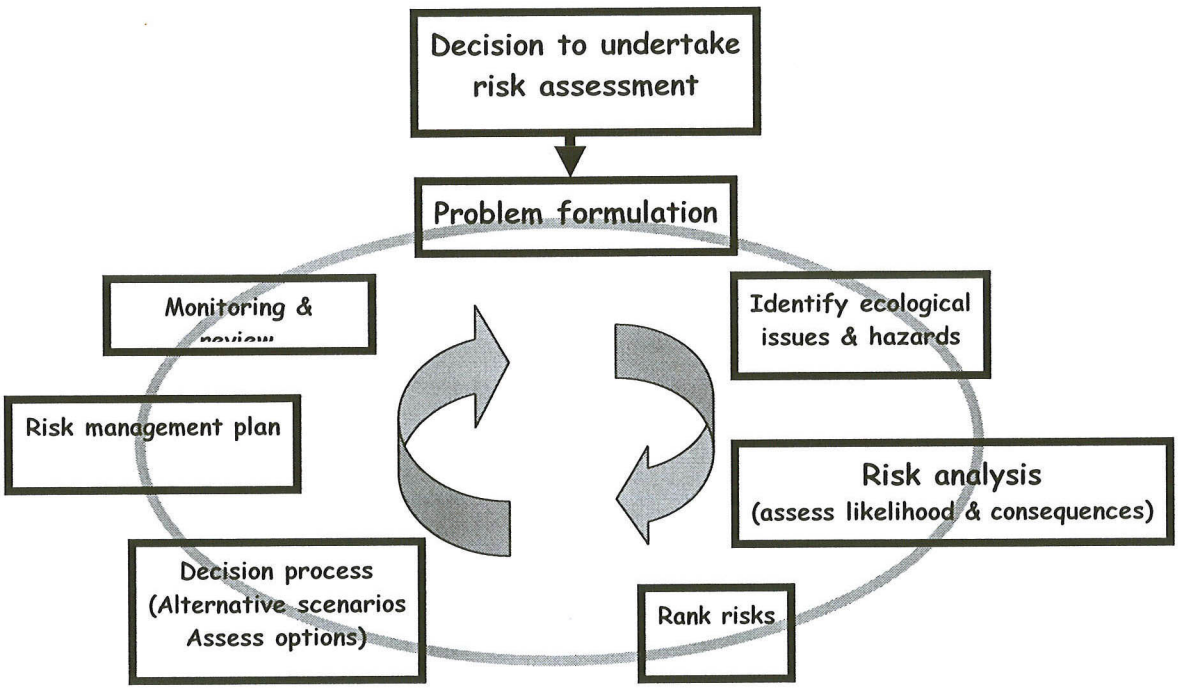
การประเมินความเสี่ยงเป็นกระบวนการในการประเมินโอกาสของแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นและขนาดของผลกระทบต่อระบบนิเวศหากแรงกดดันนั้นเกิดขึ้นจริง ซึ่งการประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศเป็นเครื่องมือที่สำคัญอันหนึ่งในการช่วยตัดสินใจและการพิจารณามาตรการต่างๆ เพื่อปกป้องระบบนิเวศ เนื่องจากระบบนิเวศเกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนของสิ่งมีชีวิตและสภาพแวดล้อมดังนั้นแรงกดดันต่อสิ่งที่ได้รับผลกระทบจึงมีความซับซ้อนตามไปด้วย

ขั้นตอนที่สำคัญในการประเมินความเสี่ยง (Hart, 2005)

ในการประเมินความเสี่ยงของระบบนิเวศนั้นมีขั้นตอนที่จะต้องดำเนินการที่คล้ายกับการประเมินความเสี่ยงในด้านอื่นๆ ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดประเด็นปัญหา เป็นกระบวนการที่จะพิจารณาขอบเขตของปัญหาตลอดจนพิจารณาแนวทางและรูปแบบที่จะนำมาใช้ในการประเมินระบบนิเวศแต่ละแห่ง
2. การกำหนดคุณค่าทางนิเวศของปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาและการกำหนดสิ่งอันตรายหรือสิ่งที่มาคุกคามคุณค่าทางนิเวศเหล่านั้น เป็นกระบวนการจัดลำดับความสำคัญของคุณค่าทางนิเวศและประเมินผลกระทบของสิ่งอันตรายและแรงกดดันต่างๆ ที่มีต่อคุณค่าทางนิเวศแต่ละปัจจัย
3. การวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อคุณค่าทางนิเวศ เป็นกระบวนการวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อนำมาซึ่งข้อมูลที่เพียงพอต่อการตัดสินใจของผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ ซึ่งการวิเคราะห์ความเสี่ยงสามารถทำได้ทั้งเชิงคุณภาพ เชิงปริมาณ หรือทั้งสองวิธี

4. การกำหนดลักษณะเฉพาะของความเสี่ยง เป็นกระบวนการกำหนดรายละเอียดเชิงเทคนิคของการวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องรวมถึงผู้มีอำนาจในการตัดสินใจตลอดจนผู้ประเมินความเสี่ยงมีความเข้าใจที่ตรงกัน ซึ่งจะทำให้การประเมินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความโปร่งใส
5. การตัดสินใจ เป็นกระบวนการคัดเลือกแนวทางการจัดการหรือยุทธศาสตร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อลดความเสี่ยงต่อระบบนิเวศ
6. การจัดการความเสี่ยง เป็นกระบวนการกำหนดแผนและมาตรการเพื่อลดสิ่งอันตรายที่มีความเสี่ยงสูงหรือมีความเสี่ยงเกินกว่าที่จะยอมรับได้



ภาพที่ 6.2 กรอบแนวความคิดของการประเมินความเสี่ยง ที่มา Hart et al. (2005)

การประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ มีองค์ประกอบ 4 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดปัญหา (Formulation problem) เป็นขั้นตอนที่อาจมีความสำคัญที่สุดในการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ สามารถระบุขอบเขตและจุดที่ควรสนใจสำหรับการประเมินความเสี่ยง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการกำหนดประเด็นปัญหา ถือว่าเป็นฐานของทั้งกระบวนการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ โดยปัญหาที่ได้ควรมาจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในโครงการหรือกิจกรรมเหล่านั้น ได้แก่ ประชาชนในท้องถิ่น (Local community) ผู้นำท้องถิ่น (Leader) หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น องค์การบริหารส่วนตำบล องค์การบริหารส่วนจังหวัด องค์กรพัฒนาเอกชน (NGO) หรือหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง การกำหนดปัญหาที่ดีทำให้เกิดประโยชน์ต่อการประเมินความเสี่ยง เนื่องจากเป็นโอกาสดีในการเป็นข้อมูลสื่อสารระหว่างนักจัดการสิ่งแวดล้อม และนักประเมินความเสี่ยงทำให้มีความมั่นใจในการประเมินความเสี่ยง จะสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ มุ่งให้เกิดการประเมินความเสี่ยงเกี่ยวกับการปนเปื้อน เส้นทางของการได้รับการสัมผัส และตัวรับผลกระทบ (Receptor) เปิดโอกาสให้สาธารณชนมีส่วนเกี่ยวข้อง โดยให้เกณฑ์ในการตัดสินใจที่ชัดเจนสำหรับการจัดการด้านต่าง ๆ และลดต้นทุนโดยรวมของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

การกำหนดปัญหา มีขั้นตอนดำเนินการคือ การรวบรวมข้อมูลที่เหมาะสม การอธิบายลักษณะของพื้นที่ศึกษา การระบุแรงกดดันและตัวรับผลกระทบ การอธิบายลักษณะของตัวรับผลกระทบและการสร้างตัวแบบกรอบแนวความคิด ทั้งนี้ในการทำให้การกำหนดปัญหามีความสมบูรณ์จำเป็นจะต้องมีการสื่อสารที่ดี และมีประสิทธิภาพระหว่างนักประเมินความเสี่ยงและนักจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อให้มั่นใจว่าการประเมินความเสี่ยงจะช่วยสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจ ทั้งนี้ก่อนที่จะมีการใช้ข้อมูล นักประเมินความเสี่ยงและนักจัดการสิ่งแวดล้อมจะต้องมีความเห็นตรงกันในเป้าหมาย ขอบเขต และช่วงเวลาของการประเมินความเสี่ยง

1.1 การรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ ต้องดำเนินการโดยรวบรวมข้อมูลที่เหมาะสมเกี่ยวกับแรงกดดัน ลักษณะเฉพาะและลักษณะของโอกาสในการรับสัมผัสของระบบนิเวศที่มีความเสี่ยง ซึ่งการประเมินข้างต้น เพื่อเตรียมไว้สำหรับการกำหนดกรอบแนวความคิด หรือระบุจุดหมายของการประเมิน (Assessment endpoint) หรือคุณค่าทางสิ่งแวดล้อมที่ต้องการปกป้องหรือคงไว้ (Environmental value)

1.2 การอธิบายลักษณะของพื้นที่ศึกษา นับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการกำหนดหรือระบุประเด็นปัญหาและทำให้นักประเมินความเสี่ยง มีโอกาสเรียนรู้เกี่ยวกับพื้นที่ศึกษาโดยจะรวบรวมการศึกษาที่หลากหลาย ที่ช่วยในการระบุขอบเขตของการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ เช่นการประเมินก่อนหน้า เพื่อหาประวัติ รวมถึงการอธิบายลักษณะโดยรอบของพื้นที่ เพื่อหาว่าพื้นที่อื่น ๆ สนับสนุนให้เกิดแรงกดดันมายังระบบนิเวศเพิ่มเติมหรือไม่

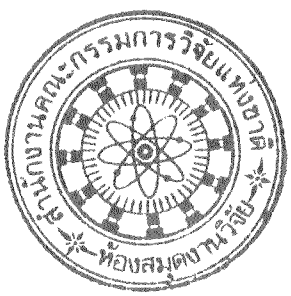
1.3 การระบุแรงกดดัน เป็นขั้นตอนที่ต่อจากการกำหนดปัญหาเป็นสิ่งต่างๆ ด้านกายภาพ เช่น ความรุนแรงของธรรมชาติ การสูญเสียที่อยู่อาศัย ด้านเคมี เช่น อนินทรีย์สารหรืออินทรีย์สารซึ่ง

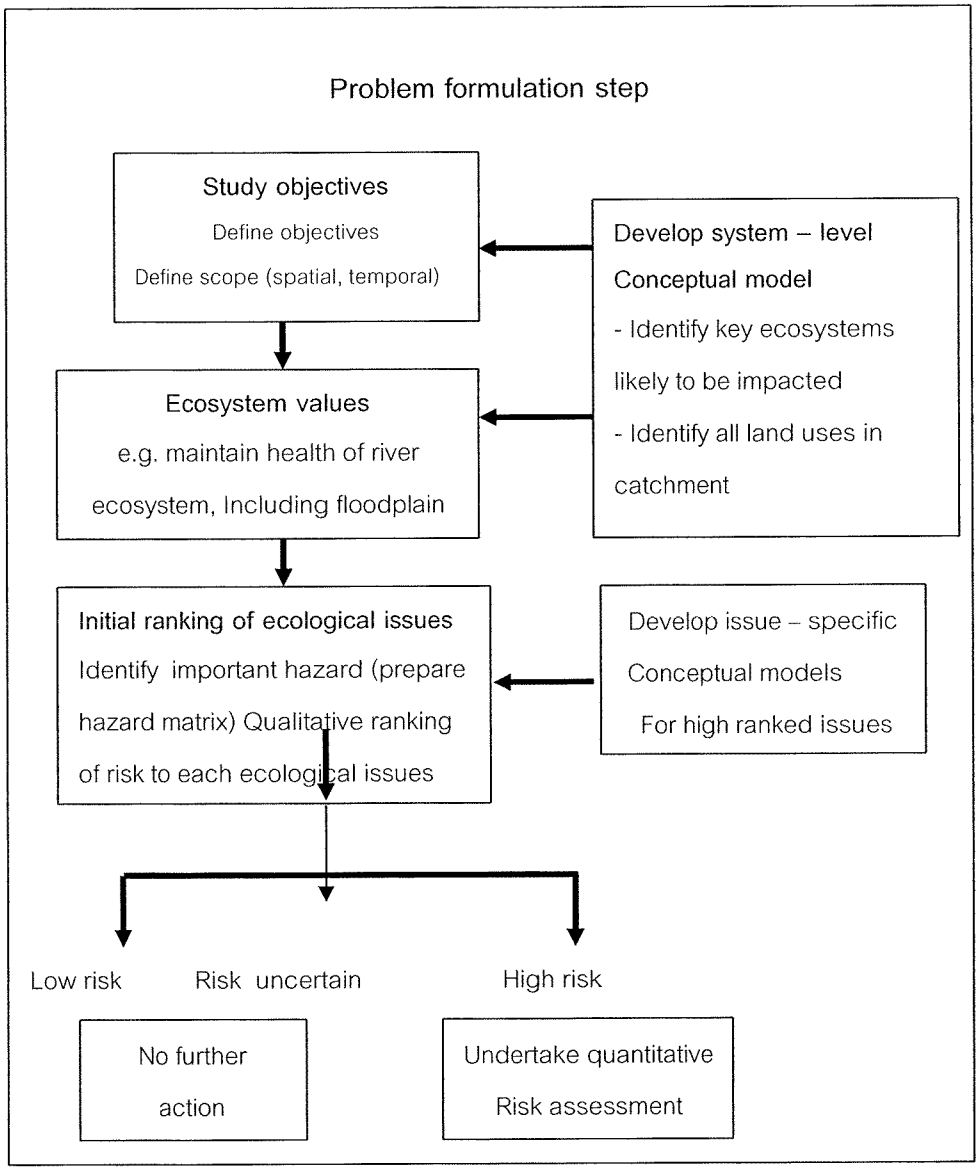
สามารถส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบทางนิเวศ ทั้งนี้แรงกดดันส่วนใหญ่เป็นแรงกดดันทางเคมี และเพื่อเป็นการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจึงต้องมีการพิจารณาแรงกดดันทางเคมี การระบุแรงกดดันและการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะทางสิ่งแวดล้อม จะเป็นการเลือกองค์ประกอบทางนิเวศ ที่อาจจะอยู่ในภาวะเสี่ยงทางนิเวศที่อาจเกิดขึ้น รวมถึงตัวกลางที่เกี่ยวข้อง เช่น อากาศ น้ำ ดิน น้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน

1.4 การระบุและอธิบายลักษณะของตัวรับผลกระทบ เป็นการอธิบายสิ่งที่คาดว่าจะเป็นตัวรับผลกระทบ โดยตัวรับผลกระทบเป็นองค์ประกอบทางนิเวศ เช่น ประชากร ชุมชน สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ หรือระบบนิเวศ ซึ่งอาจได้รับผลกระทบจากแรงกดดัน ทั้งนี้ตัวรับผลกระทบอาจจะเป็นประชากรสัตว์ในท้องถิ่น โดยการเลือกตัวรับผลกระทบควรขึ้นอยู่กับ องค์ประกอบด้านพื้นที่และระบบนิเวศที่คาบเกี่ยวกับแรงกดดัน ศักยภาพด้านความไวต่อแรงกดดัน (Sensitivity analysis) ภาวะของชนิดพันธุ์ที่ใกล้สูญพันธุ์ หรือถูกคุกคาม สิ่งมีชีวิตที่มีความชุกชุม ความสำคัญทางนิเวศ คุณค่าความงดงามหรือวัฒนธรรมของชุมชนในท้องถิ่น ความสำคัญทางด้านการพักผ่อนหย่อนใจ และการพานิชกรรม แหล่งอาศัยที่มีความอ่อนไหว หรือมีค่า

เมื่อเลือกตัวรับผลกระทบ (Receptor) ก็มีความเป็นไปได้ที่จะเลือกจุดหมายของการประเมิน ซึ่งจุดหมายการประเมินเป็นองค์ประกอบทางนิเวศหรือตัวรับผลกระทบที่ต้องการศึกษา หรือต้องการปกป้อง จุดหมายการวัดเป็นการเชื่อมโยงที่สำคัญระหว่างสภาพของพื้นที่ศึกษาและเป้าหมายการจัดการ ซึ่งตั้งขึ้นโดยจุดหมายการประเมิน จุดหมายการวัดควรวัดค่าจุดหมายการประเมินออกเป็นตัวเลข และใช้หาผลตอบสนองทางนิเวศต่อแรงกดดันหรือปัจจัย รวมทั้งสามารถโยงกลับไปยังคุณค่าขององค์ประกอบทางสิ่งแวดล้อม หรือระบุลักษณะของจุดหมายการประเมิน ทั้งนี้จุดหมายการวัดควรได้จากการสำรวจภาคสนามหรือภายในห้องปฏิบัติการรวมทั้งการวัดผลกระทบ

1.5 ตัวแบบกรอบแนวความคิด (Conceptual model) เป็นลักษณะการบรรยาย และแสดงให้เห็นภาพเพื่อพยากรณ์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางนิเวศ และแรงกดดันต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยการสร้างแผนภาพ เพื่อเสนอสมมุติฐานว่าแรงกดดันหรือปัจจัยมีผลกระทบต่อตัวรับผลกระทบอย่างไร ตัวแบบดังกล่าวเหล่านี้จะอธิบายถึงระบบนิเวศที่อาจจะอยู่ในภาวะเสี่ยง และความสัมพันธ์ระหว่างจุดหมายการประเมินและจุดหมายการวัด





ภาพที่ 6.3 แสดงกระบวนการกำหนดปัญหาในการประเมินความเสี่ยง ที่มา Hart and Pollino (2006)

ขั้นตอนที่ 2 การประเมินการรับสัมผัส ของการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศและเป็นขั้นตอนที่สำคัญมาก เนื่องจากถ้าไม่มีการรับสัมผัสก็จะไม่มีความเสี่ยง การรับสัมผัสเป็นเหตุการณ์ร่วมหรือการสัมผัสระหว่างแรงกดดันและตัวรับสัมผัส โดยการประเมินการรับสัมผัสจะเกี่ยวกับการอธิบายลักษณะของแรงกดดัน และพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ เช่น แหล่งกำเนิด ขนาด ความถี่ ช่วงระยะเวลา และเส้นทางการรับสัมผัส ทั้งนี้องค์ประกอบหลักของการประเมินการรับสัมผัสรวมถึง แหล่งกำเนิด การปนเปื้อนและลักษณะการปล่อยสารพิษของแหล่งกำเนิด (Point source) การเคลื่อนย้ายของสารปนเปื้อนและกลไกในการย้ายรวมถึงกระบวนการเกิดความเสียหาย เส้นทางการรับสัมผัส เป็นเส้นทางการระบุการรับสัมผัสที่เป็นไปได้ในแต่ละแรงกดดันและตัวรับผลกระทบ โดยต้องระบุองค์ประกอบของเส้นทางการรับทั้งสี่ประการให้ครบ เช่น แหล่งกำเนิดหรือแรงกดดัน การเคลื่อนย้ายไปจุดสัมผัส การสัมผัส และการดูดซับโดยตัวรับผลกระทบ ปริมาณการรับสัมผัสเป็นปริมาณการรับสัมผัสของตัวรับผลกระทบซึ่งมักแสดงเป็นปริมาณต่อหน่วยเป้าหมายของการประเมินการรับสัมผัสคือการประมาณความเข้มข้นของสิ่งแวดล้อมหรือการกระจายความเข้มข้นของสารปนเปื้อนแต่ละชนิดในตัวกลางที่มีผลต่อตัวรับผลกระทบแต่ละตัวที่เกี่ยวข้องกับการรับสัมผัส

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินผลกระทบ เป็นขั้นตอนซึ่งหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดดันและตัวรับผลกระทบ กล่าวคือการบรรยายเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากแรงกดดันหรือปัจจัย เพื่อเชื่อมโยงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับจุดหมายการประเมิน และประเมินว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงตามระดับของแรงกดดันอย่างไร ซึ่งการเชื่อมโยงนี้มักหาได้จากการค้นคว้าทางเอกสารและการศึกษาข้อมูลที่มีอยู่ จากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง หรือข้อมูลภายในห้องปฏิบัติการ เป้าหมายของการประเมินผลกระทบ คือการหาความเข้มข้นการรับสัมผัสที่สูงสุด หรือการกระจายของความเข้มข้นของการรับสัมผัสที่สูงสุด สำหรับการปนเปื้อนแต่ละตัวที่จะไม่ทำให้เกิดผลกระทบทางนิเวศที่ยอมรับไม่ได้ตัวต่อรับผลกระทบ

ขั้นตอนที่ 4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ และทำให้นักประเมินความเสี่ยงสามารถอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดดัน ผลกระทบและสิ่งต่าง ๆ ทางนิเวศ จะทำให้ทราบเหตุการณ์ของการรับสัมผัสและความเสียหายจากผลกระทบที่คาดการณ์ไว้ การอธิบายลักษณะของความเสี่ยงเป็นการรวมผลลัพธ์ของการประเมินการรับสัมผัส และการประเมินผลกระทบเพื่อหาความเป็นไปได้ที่ผลกระทบทางลบจะเกิดขึ้น เนื่องจากการรับสัมผัสจากแรงกดดัน และขนาดผลกระทบ ซึ่งการอธิบายลักษณะของความเสี่ยงมี 3 ขั้นตอน คือ

1. การประมาณความเสี่ยง สามารถคำนวณได้หลายวิธีและหลายเทคนิค โดยเทคนิคหนึ่งที่นิยมใช้คือเทคนิควิธีการหาร (Quotien Method) ซึ่งเป็นวิธีสำหรับสารปนเปื้อนชนิดหนึ่งและเส้นทางการรับสัมผัสเพียงทางเดียวที่เข้าตัวรับผลกระทบ วิธีการนี้สามารถใช้ระบุถึงความเสี่ยงที่มีแต่ไม่สามารถหาขนาดหรือความน่าจะเป็นได้

2.การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainly) เป็นขั้นตอนที่สองของการอธิบายความเสี่ยง โดยการวิเคราะห์ความไม่แน่นอน ทำให้สามารถระบุและหาขนาดความไม่แน่นอน ในการกำหนดปัญหา การประเมินการรับสัมผัสและผลกระทบ และการอธิบายลักษณะของความเสี่ยง รวมทั้งให้นักจัดการสิ่งแวดล้อมทราบถึงจุดอ่อนและจุดแข็งของการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศ ทั้งนี้ในการกำหนดเกณฑ์อ้างอิงที่ยอมรับได้ที่ต่ำไปมีผลมาจากการขาดความรู้และแหล่งข้อมูล (Knowledge gap) ที่สำคัญ ส่งผลให้องค์ประกอบทางนิเวศไม่ถูกปกป้อง ในทางกลับกันหากมีข้อมูลที่มากพอ เกณฑ์การอ้างอิงอาจถูกกำหนดให้เน้นการป้องกันจนเกินไป

3.การแปลความสำคัญทางนิเวศของการประเมินความเสี่ยง ทำให้การตัดสินใจมีความเชื่อมั่นมากขึ้น และแสดงถึงการเชื่อมโยงที่สำคัญระหว่างการประมาณความเสี่ยงกับการสื่อสารของผลลัพธ์การประเมิน ซึ่งการแปลความหมายทางนิเวศนี้ควรอธิบายถึงธรรมชาติและขนาดของผลกระทบรูปแบบทางพื้นที่และทางระบบนิเวศของผลกระทบ และศักยภาพในการฟื้นคืนได้ เมื่อมีการนำแรงกดดันออกไป โดยสามารถตอบคำถามเหล่านี้ได้คือ ชนิดพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตที่มีความเสี่ยงสูงที่สุด ช่วงของปีที่ความเสี่ยงจะเกิดขึ้น ความเสี่ยงเกิดขึ้นทั่วไปหรือเฉพาะพื้นที่ที่มีความเสี่ยงทราบอะไรบ้างเกี่ยวกับนิเวศวิทยา ชีววิทยา หรือพฤติกรรมของชนิดพันธุ์ที่อยู่ในภาวะเสี่ยง ซึ่งส่งผลต่อความเสี่ยงเหล่านี้ หรือการทำให้บรรเทาหรือเพิ่มขึ้น ชนิดพันธุ์ชนิดใดที่ต้องเป็นกังวล เนื่องจากชนิดพันธุ์เหล่านี้เป็นปัจจัยในการสร้างที่อยู่อาศัยหรือเป็นแหล่งอาหารสำหรับชนิดพันธุ์วิกฤตที่น่าเป็นห่วง

การจัดการความเสี่ยง (Risk Management)

เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศแล้ว นักจัดการสิ่งแวดล้อมและหน่วยงานของภาครัฐที่มีอำนาจตัดสินใจต้องมีการตัดสินใจถึงความเสี่ยงทางนิเวศที่มีโดยในการตัดสินใจจะต้องอยู่บนพื้นฐานขององค์ประกอบทางนิเวศที่มีความเสี่ยง มูลค่าทางนิเวศและต้นทุนทั้งที่เป็นตัวเงินหรือผลประโยชน์อื่นๆ ในการปกป้องหรือต้นทุนที่มี ถ้าไม่ปกป้องทรัพยากรซึ่งเมื่อมีการหาข้อสรุปออกมานักจัดการสิ่งแวดล้อมไม่เพียงพิจารณาผลลัพธ์จากการประเมินความเสี่ยง แต่ต้องพิจารณาถึงประเด็นทางด้านสังคม เศรษฐกิจและการเมือง และเพื่อเป็นการช่วยตัดสินใจ ควรจะต้องมีการจัดการเตรียมข้อมูล ได้แก่ เป้าหมายของการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศความเกี่ยวข้องระหว่างจุดหมายการประเมินและจุดหมายการวัด ขนาดและขอบเขตผลกระทบ ซึ่งมักจะเป็นประเด็นสำคัญของความขัดแย้ง ระหว่างนักจัดการทรัพยากรธรรมชาติและนักจัดการสิ่งแวดล้อม โดยข้อมูลเกี่ยวกับมูลค่าทางนิเวศต้องเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำมาใช้ได้ โดยรวมการบรรยาย ด้านพื้นที่และระบบนิเวศและถ้าเป็นไปได้ควรรวมถึงศักยภาพการฟื้นคืน ข้อสมมุติและความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นระหว่างการประเมินความเสี่ยง สรุปภาพรวมของระดับความเสี่ยงพร้อมกับการวิเคราะห์น้ำหนักระหว่างเหตุการณ์ ศักยภาพของความเสี่ยงที่จะมีการเพิ่มขึ้นหรือเสริมเข้ามาจากแรงกดดันอื่น

นอกเหนือจากที่ได้พิจารณาแล้วการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศสามารถเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญมากในการรวบรวมการจัดการสิ่งแวดล้อม เข้ากับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม หากได้นำมาใช้อย่างเหมาะสม เนื่องจากทำให้ได้วิธีการที่ได้มาตรฐาน และกรอบแนวความคิดในการวิเคราะห์ทั้งระบบนิเวศรวมทั้งการระบุความไม่แน่นอนที่มี ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศเป็นประโยชน์สำหรับคนที่ตัดสินใจ เพราะสามารถช่วยแก้ปัญหา ซึ่งได้แก่ปัญหาความสมบูรณ์ของทรัพยากรที่ยอมแลกกับผลประโยชน์ทางสังคมและเศรษฐกิจที่คาดว่าจะมีในการดำเนินโครงการหรือกิจกรรมนั้น ๆ

การประเมินความเสี่ยง (Risk analysis) มี 3 ระดับคือ

1. การประเมินความเสี่ยงในระดับ คุณภาพ (Qualitative risk analysis)

2. การประเมินความเสี่ยงในระดับกึ่งปริมาณและกึ่งคุณภาพ (Semi-quantitative risk analysis)

3. การประเมินความเสี่ยงในระดับปริมาณ (Quantitative risk analysis)

3.1. การประเมินความเสี่ยงในระดับคุณภาพ สามารถใช้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การอธิบายขนาดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นและความน่าจะเป็นที่จะเกิด

3.2. การประเมินความเสี่ยงในระดับปริมาณ สามารถใช้ตัวเลขในการประเมินขนาดผลกระทบ และความน่าจะเป็นที่จะเกิดซึ่งมีหลายวิธีการด้วยกันเช่น

3.2.1 Risk calculator

3.2.2 Decision/logic tree

3.2.3 Probabilistic method

3.2.4 Predictive model

3.2.5 Bayesian Networks

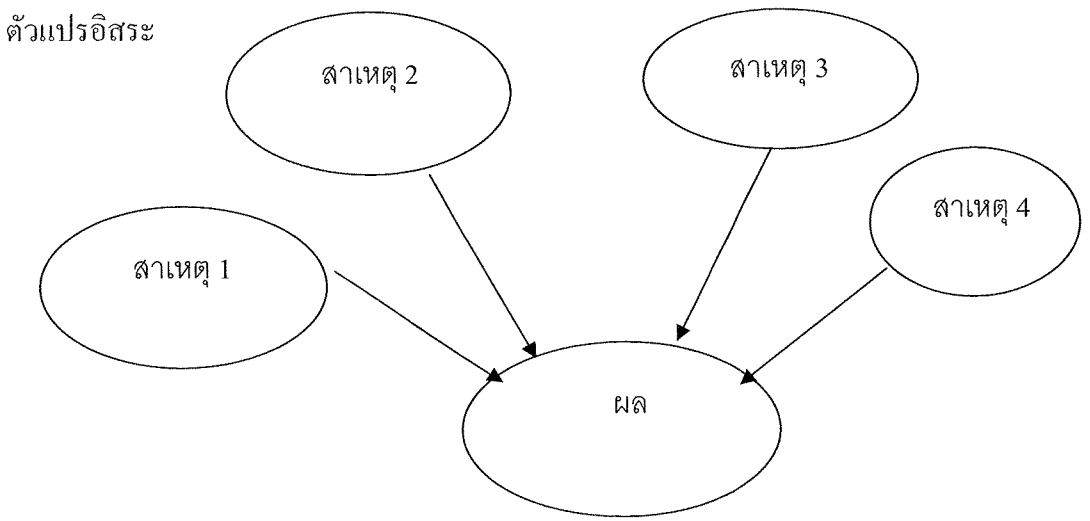
การประเมินความเสี่ยงจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ขนาดผลกระทบที่เกิดขึ้น และความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะเกิดขึ้น ตามสูตรดังนี้

ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น = ขนาดผลกระทบที่เกิดขึ้น x โอกาสที่จะเกิดขึ้น

ดังนั้นสรุปได้ว่า การประเมินความเสี่ยงคือการประเมินความเป็นไปได้และขนาดของผลกระทบทางนิเวศ จากปัจจัยหรือแรงกดดันที่จะทำให้เกิดปัจจัยต่าง ๆ ดังนั้นหากมีปัจจัยหรือแรงกดดันมากก็จะทำให้เกิดโอกาสความเสี่ยงเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

Bayesian Networks

เป็นโครงข่ายของโอกาสความน่าจะเป็น โดยอาศัยทฤษฎีของเบส์ (Baye's Theroem) เป็นหนึ่งในสาขาวิชา Artificial Intelligence ที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาช่วยในการตัดสินใจของมนุษย์ นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินปัจจัยความเสี่ยงทางนิเวศ สามารถใช้ในการวิเคราะห์ทรัพยากรหรือระบบนิเวศที่มีความสลับซับซ้อน เช่น การประเมินทรัพยากรด้านแหล่งน้ำ ทรัพยากรป่าไม้ โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น (Barry and Carmel, 2006) มีข้อดี คือใช้ข้อมูลเชิงปริมาณหรือเชิงตัวเลข ร่วมกับข้อมูลเชิงคุณภาพหรือร่วมกับการแสดงความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ สามารถปรับปรุงข้อมูลได้ตลอดเวลา ใช้ข้อมูลร่วมกับข้อมูลจากการคำนวณของโมเดลอื่น ๆ หรือข้อมูลจากการตรวจสอบและติดตาม (Monitoring) ข้อมูลที่ได้มีความโปร่งใส ตรวจสอบได้ นอกจากนี้สามารถใช้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจ และสามารถบอกได้ว่าขาดข้อมูลอะไรบ้าง และต้องการข้อมูลใดเพิ่มเติมหรือช่องว่างของข้อมูล (Knowledge gap) โดยจะแสดงความสัมพันธ์จากเหตุไปสู่ผล ดังแสดงในภาพที่ 6.4 มีข้อจำกัดคือไม่สามารถเชื่อมโยงจากผล (End point) ไปสู่เหตุได้ ซึ่งระบบนิเวศในธรรมชาติอาจมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากผลไปเหตุได้ตลอดเวลา



ภาพที่ 6.4 แสดงโครงสร้าง (Structure) ของ Bayesian Networks

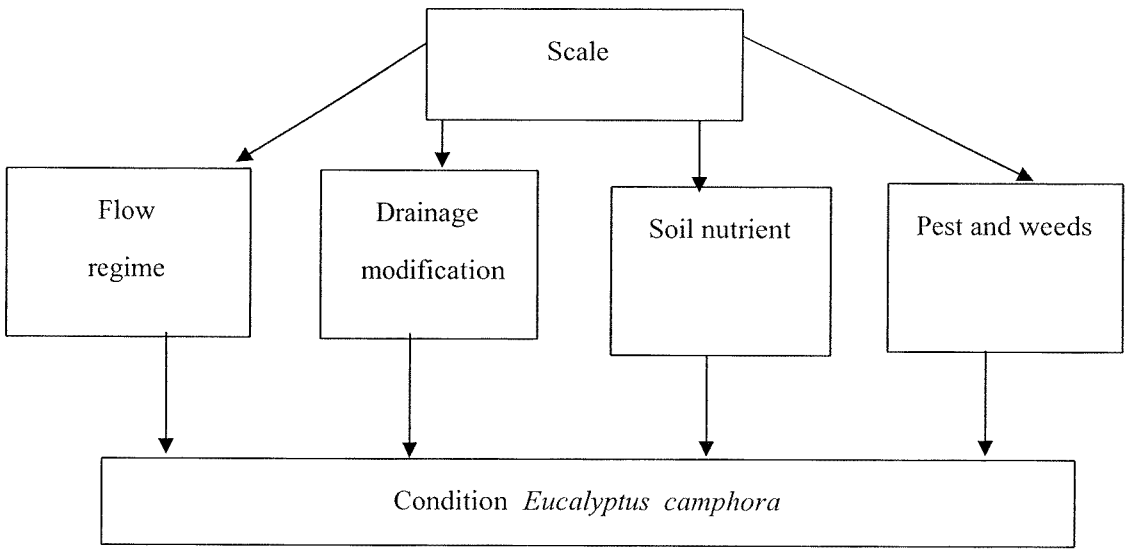
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Varis and Kuikka (1999) รายงานว่ามีการประยุกต์ใช้ Bayesian Networks ในการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศในทะเลสาบเขตอบอุ่นของประเทศฟินแลนด์ การจัดการทรัพยากรประมง

ปลาแซลมอนในทะเลบอลติก

Yung, E.W.et al. (2005) ศึกษาการใช้ Bayesian Networks ในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติในทะเลสาบ Wimera โดยคุณค่าทางนิเวศที่ต้องการปกป้องคือความชุกชุมของปลาน้ำจืดกลุ่ม Catfish กำหนดตัวแปรที่มีผลต่อความชุกชุมของปลาน้ำจืดตระกูล Catfish คือ การทดแทนของประชากรปลาวัยรุ่น (Juvenile) การทดแทนของปลาวัยอ่อน (Recruitment of Larvae) ถิ่นที่อยู่อาศัย (Habitat) และคุณภาพน้ำได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) ความลึก (Depth) และความเค็ม (Salinity) มีผลต่อถิ่นที่อยู่อาศัยของปลา พื้นที่วางไข่ ความเร็วของกระแสน้ำ (Velocity)

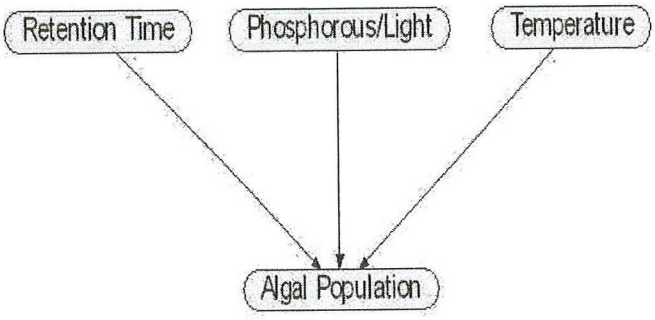
Pollino and White (2005) ทำการศึกษาและประยุกต์ Bayesian Networks เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ โดยทรัพยากรในการปกป้องคือ *Eucalyptus camphora* ศึกษาในพื้นที่ 272 ตารางกิโลเมตรของแม่น้ำ Yarra ในลุ่มน้ำ Woori Yallock ประเทศออสเตรเลีย พื้นที่ประมาณ 80 % ใช้ในการทำการเกษตร โดยใช้หลักการประเมินความเสี่ยงตามขั้นตอนคือการกำหนดระบุปัญหา ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อทรัพยากร *Eucalyptus camphora* คือ soil nutrient สารอาหารในดิน (Soil cation) ประจุบวกในดิน (Soil cation) และ ยาฆ่าแมลง (Pesticide) หรือโรค (Disease) โดยกำหนดโมเดลดังภาพที่ 6.5



ภาพที่ 6.5 แสดงโมเดลของ *Eucalyptus camphora*
ที่มา Pollino and White (2005)

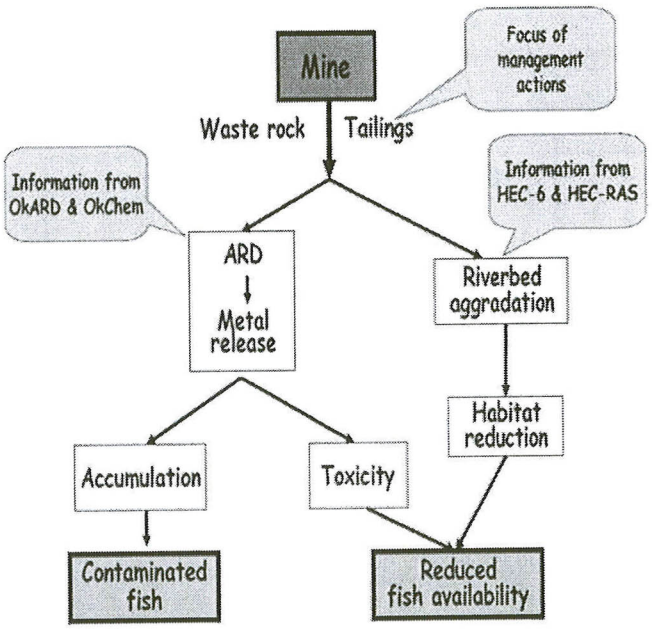
Hart and Pollino (2006) ได้กำหนดโมเดล Bayesian Network และปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสาหร่าย โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ ปริมาณฟอสฟอรัส แสงสว่าง อุณหภูมิ ระยะเวลา

ดังแสดงในภาพ 6.6



ภาพที่ 6.6 แสดงโมเดลปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของประชากรสาหร่าย
ที่มา Hart and Pollino (2006)

Hart and Pollino (2006) ได้กำหนดโมเดล Bayesian Network ในการพยากรณ์การปนเปื้อนของโลหะหนักจากการทำเหมืองแร่ในตัวปลาและสาเหตุของการลดลงของประชากรปลา โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังแสดงในภาพที่ 6.7



ภาพที่ 6.7 แสดงโมเดลการปนเปื้อนของโลหะหนักในปลาและการลดลงของประชากรปลา
ที่มา Barry and Pollino (2006)

Mark and et al. (2006) ศึกษาการประเมินการลดลงของประชากรปลา Brown trout *(Salmon trutta)* ในแม่น้ำ Swiss โดยการประยุกต์ใช้ Baynesian Networks ซึ่งทดลองทำใน 12 จุดสำรวจ 4 ลำน้ำ โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนประชากรของปลา Brown trout ในรุ่น Juvenile และ Adult และมีการใช้ปัจจัยหลายตัวแปรในการประเมินการลดลงของประชากร ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดลงของประชากรทั้งปัจจัยการเปลี่ยนแปลงธรรมชาติ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวได้แก่ 1.พื้นทรายที่เป็นแหล่งที่อยู่อาศัย (Gravel bed) 2. คุณภาพน้ำ (Water quality) 3. อัตราการเกิดโรค (Disease rate) 4. อุณหภูมิของน้ำ (Water temperature) 5. จำนวนพ่อแม่พันธุ์ (Stock practice) 6. คนจับปลา (Angler catch) และ 7. ความถี่ในการเกิดน้ำท่วม (Flood frequency) ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลในภาคสนาม การทบทวนวรรณกรรม และความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งได้ทำการประยุกต์ใช้โมเดลใน 12 จุดสำรวจ 4 ลำน้ำ ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการลดลงของจำนวนประชากรของปลา Brown trout ในรุ่น Juvenile และ Adult คือ แหล่งที่อยู่อาศัย แต่อย่างไรก็ตามมีปัจจัยหลายตัวที่ส่งผลกระทบเช่นเดียวกัน

Gile (2007) ประยุกต์ใช้ Bayesian Networks ในการประเมินแนวโน้มผลกระทบการตกตะกอนและการปล่อยของเสียลงสู่น้ำทะเลที่ส่งผลกระทบต่อฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ ความหนาแน่นของปลา (Fish density) อัตราการแลกเนื้อ (Food Conversion Rate) พื้นที่ฟาร์ม (Farm volume) ความลึกระดับน้ำ (Water depth) ปริมาณตะกอน (Sediment mud) ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณสารพิษต่าง ๆ จะส่งผลกระทบต่อฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในระยะทางรัศมี 40-70 เมตร รอบพื้นที่ฟาร์ม

นอกจากนี้ยังมีผู้ประยุกต์ใช้ Bayesian Networks ในการศึกษาด้านต่าง ๆ เช่น Cruz-Ramierz et al. (2007) นำ Bayesian Networks มาใช้ในการวินิจฉัยโอกาสในการเกิดโรคมะเร็งเต้านม ของผู้ป่วยในประเทศเม็กซิโก Ticehurst et al. (2007) นำ Bayesian Networks มาใช้ในการประเมินความยั่งยืนของระบบนิเวศบริเวณทะเลสาบชายฝั่งของรัฐนิวเซาท์เวลล์ ประเทศออสเตรเลีย Borsuk et al. (2004) ประยุกต์ใช้ Bayesian Networks ในการพยากรณ์การเกิด Eutrophication ในแหล่งน้ำที่ได้รับสารอาหารและทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว Borsuk et al. (2006) นำ Bayesian Networks มาใช้ในการประเมินการลดลงของประชากรปลา brown trout ในแม่น้ำ Swiss ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ Hamilton et al. (2003) ประยุกต์ใช้ Bayesian Networks ในการประเมินสาเหตุของการบลูมของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินสกุล *Lyngbya* ใน Moreton ประเทศออสเตรเลีย ส่วนการศึกษาในประเทศไทยมีการประยุกต์ใช้ Bayesian Networks ในการประเมินความเสี่ยงระบบนิเวศของประชากรปลาบึกในแม่น้ำโขง บริเวณจังหวัดเชียงรายและแขวงบ่อแก้ว ของประเทศลาว โดยเฉพาะการลดลงของประชากรปลาบึกในแม่น้ำโขง และ Sangpradub, Pithakpol and Phommakone (2007) ประยุกต์ใช้ Bayesian Networks ในการประเมินความเสี่ยงจากการสร้างเขื่อนในประเทศจีน ข้ามพรมแดนไทย-ลาว โดยใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำ ปริมาณน้ำเสียจากชุมชน มลพิษจากประเทศจีน การขนส่งทางน้ำ ปริมาณเรือ ขนาดของเรือในท่าเรืออำเภอเชียงแสน และท่าเรือในประเทศจีน นอกจากนี้สันธิวัฒน์ (2550) ได้ประยุกต์ใช้ Bayesian Networks ในการพยากรณ์ผลการประเมินคุณภาพการศึกษาของสำนักวิชาการเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาเขตสารสนเทศพะเยา เป็นต้น

วิธีการศึกษาวิจัย

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี ทุก 1 เดือน จากแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัยจำนวน 4 แห่ง โดยใช้ขวดเก็บน้ำแบบมาตรฐาน ขนาด 1.5 ลิตร โดยเก็บที่ระดับผิวน้ำลึก 30 เซนติเมตร ให้เต็มขวด ปิดฝา เก็บรักษาตัวอย่างน้ำโดยการแช่น้ำแข็ง นำมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ก๊าซที่ละลายในน้ำเก็บตัวอย่างด้วยขวด BOD ที่ความลึก 30 เซนติเมตร วิเคราะห์ทันทีหลังจากเก็บตัวอย่าง ในการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ในพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.1 ค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำและปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ศึกษา

Parameter	Unit	Equipments / Methods
Sampling Station	UTM	GPS (Garmin Map 76s)
Weather Condition	-	Observation
Air Temperature	^{o}C	Thermometer
Water Depth	m	Secchi disc
Water Transparency	m	Secchi disc
Water Temperature	^{o}C	Multi Probes Water Analyzer (YSI 556 mps)
Turbidity	NTU	Turbidity Meter (WTW)
Dissolved Oxygen	mg/l	Iodometric Method - Azide Modification (APHA, AWWA, WEF, 1995)
Biochemical Oxygen Demand	mg/l	Iodometric Method - Azide Modification (APHA, AWWA, WEF, 1995)
Free CO_2	mg/l	Titration Method (APHA, AWWA, WEF, 1995)
pH	-	Multi Probes Water Analyzer (YSI 556 mps)

ตารางที่ 6.1 ค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำและปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ศึกษา

Parameter	Unit	Equipments / Methods
Electro Conductivity	µS/cm	Multi Probes Water Analyzer (YSI 556 mps)
Total Dissolved Solid	mg/l	Multi Probes Water Analyzer (YSI 556 mps)
Total Suspended Solid	mg/l	Dried at 103-105 ^{o}C (APHA, AWWA, WEF, 1995)
Alkalinity	mg/l as $CaCO_3$	Titration Method (APHA, AWWA, WEF, 1995)
Hardness	mg/l as $CaCO_3$	Titration Method (APHA, AWWA, WEF, 1995)
Nitrate- Nitrogen	mg/l	Colorimetric Method (Hach Company)
Ammonia- Nitrogen	mg/l	Colorimetric Method (Hach Company)
Total Phosphorus	mg/l	Persulfate Oxidation, Ascorbic Acid Method (APHA, AWWA, WEF, 1995)
Phosphate-Phosphorus	mg/l	Colorimetric Method (Hach Company)
Chlorophyll a	mg/l	Spectrophotometric Method – Acetone Extraction (APHA, AWWA, WEF, 1995)

ระหว่างดำเนินการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำจะมีการประเมินความเสี่ยงควบคู่ไปด้วย โดยมีขั้นตอนดังนี้

การประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 1

การประชุมเชิงปฏิบัติการของผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (ได้แก่ตัวแทนผู้บริหารมหาวิทยาลัย ตัวแทนนิสิต ตัวแทนเจ้าหน้าที่ ตัวแทนอาจารย์ ตัวแทนชุมชนที่ใช้น้ำจากแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัย และอื่นๆ) ครั้งที่ 1 เพื่อกำหนดขอบเขตของสถานที่และเวลาในการศึกษา (spatial and temporal scoping) กำหนดประเด็นปัญหา (problem formulation) กำหนดจุดหมายสุดท้ายของระบบ (end points) กำหนดคุณค่าของระบบนิเวศที่จะประเมิน (ecological value) จัดระดับประเด็นที่จะศึกษา (issue ranking) และจัดทำตัวแบบกรอบแนวคิด (cause-effect conceptual model) รวมถึงพิจารณาข้อมูล/ความรู้ที่ยังไม่เพียงพอและที่ต้องการใช้ (assessment of knowledge gap, data needed) เพื่อเตรียมข้อมูลในการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2

การประชุมเชิงปฏิบัติการ ครั้งที่ 2

ในการประชุมเชิงปฏิบัติการของผู้เชี่ยวชาญครั้งที่ 2 จะมีการพิจารณาซ้ำตัวแบบกรอบแนวคิด (review on conceptual model) เพื่อพิจารณาอย่างรอบคอบถึงปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความรุนแรงของปัญหาในระบบนิเวศ การระบุระดับของตัวแปร (state definition) ว่าระดับใดคือมาก หรือน้อย ดี หรือไม่ดี เป็นต้น จากนั้นจะมีการพิจารณาข้อมูลที่รวบรวมมาได้เพื่อนำมาใช้ในการจัดระดับของตัวแปร

การนำตัวแบบกรอบแนวคิดเข้าสู่ Bayesian network และการนำข้อมูลที่มีเข้าสู่ Bayesian network

ทำการนำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมและความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญมาเข้าสู่ Bayesian Network โดยใช้โปรแกรม Netica™ โดยจะเป็นการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (variables) ซึ่งเป็นเหตุ กับ จุดสุดท้าย (end point) ซึ่งเป็นผล

การประชุมเชิงปฏิบัติการของผู้เชี่ยวชาญ ครั้งที่ 3

การประชุมเชิงปฏิบัติการของผู้เชี่ยวชาญครั้งที่ 3 จะเป็นการพิจารณา Bayesian network และการสร้าง probability table ของตัวแปรต่างๆ โดยใช้ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ (expert opinion) ในกรณีตัวแปรที่ไม่มีข้อมูล หรือข้อมูลไม่เพียงพอ และเป็นการให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินตัวแบบจำลอง และให้ผู้เชี่ยวชาญกำหนด future scenario ที่จะทำการทดสอบ ซึ่งหากตัวแปรใดที่มีข้อมูลเพียงพอก็จะใช้ข้อมูลจากการติดตามตรวจสอบ เช่นข้อมูลคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ย้อนหลัง

การทดสอบความอ่อนไหวของตัวแปร (sensitivity analysis) และการทดสอบเหตุการณ์ในอนาคต (future scenario testing)

ในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยจะทำทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา และจำลองข้อมูลตัวแปรต่างๆ โดยใช้แนวโน้มเหตุการณ์ที่จะเปลี่ยนแปลงในอนาคตเพื่อทดสอบการทำนายผลของ Network ที่สร้างขึ้น

ประชุมเชิงปฏิบัติการของผู้เชี่ยวชาญครั้งที่ 4 ประเมินตัวแบบที่สร้างขึ้น (model evaluation) และเสนอแนะแนวการจัดการ

การประชุมเชิงปฏิบัติการของผู้เชี่ยวชาญครั้งที่ 4 จะเป็นการประเมินตัวแบบ ที่สร้างขึ้น (model evaluation) และเสนอแนะแนวการจัดการปัญหาของแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยาตลอดจนพิจารณาข้อจำกัดของตัวแบบ และข้อจำกัดด้านความรู้ในการศึกษาเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะ

ประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อนำเสนอผลการศึกษาต่อ stake holder

เป็นการนำเสนอผลการศึกษาต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสียและผู้สนใจทั่วไปเพื่อรับฟังความคิดเห็นเพิ่มเติมและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

ขั้นตอนการกำหนดประเด็นปัญหา (Problem formulation)

1. กำหนดผู้เข้าร่วมกำหนดหรือระบุปัญหา โดยกำหนดหัวข้อ (Ecological issue) จุดหมายของการประเมิน คือทรัพยากรแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยาที่กลุ่มที่มีส่วนได้ส่วนเสียต้องการจะฟื้นฟู และปกป้องหรือคงไว้ทางนิเวศ

2. การจัดอันดับ (Rating) หรือให้คะแนนทรัพยากรแหล่งน้ำที่ต้องการจะฟื้นฟู ปกป้องหรือคงไว้ทางนิเวศ โดยกลุ่มที่มีส่วนได้ส่วนเสียซึ่งกำหนดระดับคะแนน 5 ระดับ ดังนี้

ขนาดผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุด	ระดับคะแนน	5 คะแนน
ขนาดผลกระทบที่เกิดขึ้นมาก	ระดับคะแนน	4 คะแนน
ขนาดผลกระทบที่เกิดขึ้นปานกลาง	ระดับคะแนน	3 คะแนน
ขนาดผลกระทบที่เกิดขึ้นน้อย	ระดับคะแนน	2 คะแนน
ขนาดผลกระทบที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด	ระดับคะแนน	1 คะแนน
โอกาสที่จะเกิดขึ้นมากที่สุด	ระดับคะแนน	5 คะแนน
โอกาสที่จะเกิดขึ้นมาก	ระดับคะแนน	4 คะแนน
โอกาสที่จะเกิดขึ้นปานกลาง	ระดับคะแนน	3 คะแนน
โอกาสที่จะเกิดขึ้นน้อย	ระดับคะแนน	2 คะแนน
โอกาสที่จะเกิดขึ้นน้อยที่สุด	ระดับคะแนน	1 คะแนน

3. การคำนวณค่าความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น (Risk) ดังนี้

ความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น (Risk) = ขนาดผลกระทบ (Consequence) X โอกาสที่จะเกิด (Likelihood) และนำคะแนนที่ได้แต่ละกลุ่ม มาหาค่าเฉลี่ย สรุปคะแนน หากทรัพยากรใดที่มีค่าคะแนนเท่ากันให้กลุ่มที่มีส่วนได้ส่วนเสีย ลงคะแนนอีกครั้ง จากนั้นจัดลำดับความเสี่ยง ตามลำดับคะแนนจากมากไปน้อย

4. สร้างตัวแบบกรอบแนวความคิด (Conceptual model) จากข้อมูลที่ค้นคว้าจากเอกสาร และนำตัวแบบกรอบแนวความคิดและผู้วิจัยตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้งหนึ่ง

5. กำหนดค่ามาตรฐานหรือกำหนดระดับของตัวแปร (Variable) หรือแรงกดดันแต่ละตัวที่มีผลต่อความเสี่ยงของทรัพยากรแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา หากตัวแปรใดไม่มีค่าดัชนี

เชิงปริมาณหรือเชิงตัวเลขให้อธิบายเชิงพรรณนาหรือใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เพื่อพิจารณาพร้อมระบุเหตุผล

6. นำตัวแบบกรอบแนวความคิดเข้าสู่ Bayesian Network โดยใช้โปรแกรม Netica™ Version 3.17 ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในโมเดล มี 3 รูปแบบคือ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม ข้อมูลทุติยภูมิและข้อมูลที่ได้จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

7. ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร (Sensitivity analysis) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรที่มีผลต่อคุณภาพน้ำ ในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จังหวัดพะเยา

8. ทำการประเมินความเสี่ยงของสถานการณ์จำลองที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตข้างหน้า (Future Scenario Testing) จำนวน 3 สถานการณ์ในขอบเขตระยะเวลา 10 ปี ได้แก่สถานการณ์ที่แย่ที่สุด สถานการณ์ที่ดีที่สุด และ สถานการณ์ปานกลาง

9. กำหนดมาตรการในการจัดการระบบนิเวศของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จากอันดับความสำคัญของตัวแปรที่มีความอ่อนไหวสูง

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มี 3 ประเภทคือ

1. ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) โดยเก็บรวบรวมในภาคสนาม ได้แก่ การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยเดือนละ 1 ครั้ง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2552 – เดือนธันวาคม 2552

2. ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) ได้แก่ ข้อมูลคุณภาพน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าความเป็นด่าง ค่าความกระด้าง อุณหภูมิน้ำ ค่าความโปร่งแสง ปริมาณแอมโมเนียรวม ปริมาณไนเตรท ปริมาณไนไตรท์ ค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ ค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร ปริมาณฟอสฟอรัสรวม ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ ปริมาณพันธุ์ไม้น้ำ เป็นต้น ในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ทำการรวบรวมจากงานวิจัยภายในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยนเรศวรพะเยา

3. ข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเชิงปริมาณสำหรับตัวแปร

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ วิธีการวิเคราะห์ และค่าระดับที่เหมาะสมของคุณภาพน้ำ และเอกสารหรือแหล่งอ้างอิง

ลำดับที่	ค่าพารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ค่าระดับที่เหมาะสม	เอกสาร/อ้างอิง
1	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีการไตเตรท Azide midification	มากกว่า 3.0	กรมประมง (2528)
2	ความเป็นกรดหรือด่าง (pH)	pH meter ยี่ห้อ Hanna รุ่น RI 02895	7.0-8.5	กรมประมง (2528)

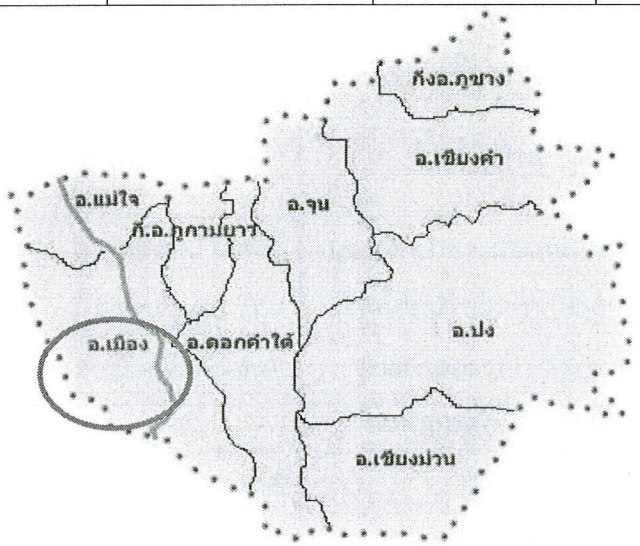
3	ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีการไตเตรต	100-150	(APHA, 1992)

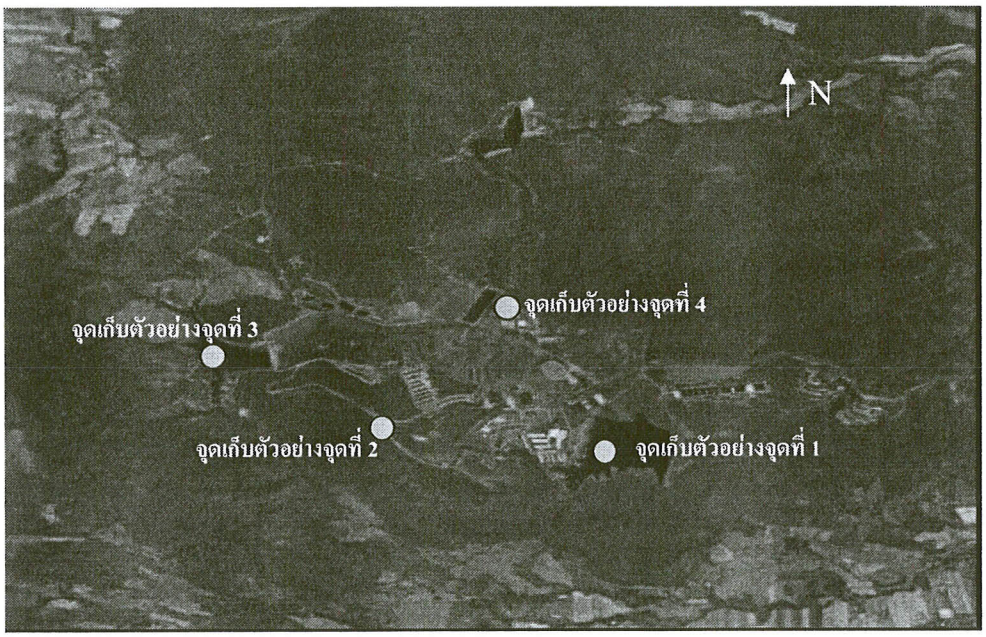
ตารางที่ 6.2 แสดงค่าพารามิเตอร์ วิธีการวิเคราะห์ และค่าระดับที่เหมาะสมของคุณภาพน้ำเอกสาร/อ้างอิง ในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จังหวัดพะเยา (ต่อ)

ลำดับที่	พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ค่าระดับที่เหมาะสม	เอกสาร/อ้างอิง
4	ค่าความกระด้าง (Hardness) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีการไตเตรต E.D.T.A method	100-150	(APHA, 1992)
5	อุณหภูมิน้ำ (Temperature) หน่วยเป็นองศาเซลเซียส	เทอร์โมมิเตอร์	25.0-32.0	กรมประมง (2528)
6	ค่าความโปร่งใส (Transparency) หน่วยเป็นเซนติเมตร	Secchi disk	30-60	กรมประมง (2528)
7	ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia) หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร	วิธี Distillation Nesslerization Spectro photometer รุ่น DR 2800	ไม่เกิน 0.5	กรมประมง (2528)
8	ปริมาณไนเตรท (NO_3^-) หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร	วิธี Cadmium reduction Spectro photometer รุ่น DR 2800	ไม่เกิน 5.0	กรมประมง (2528)
9	ปริมาณไนไตร์ท (NO_2^-) หน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อลิตร	วิธี Cadmium reduction Spectro photometer รุ่น DR 2800	ไม่เกิน 0.2	กรมประมง (2528)
10	ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (CO_2) หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร	วิธีการไตเตรต	ไม่มากกว่า 5.0	กรมประมง (2528)
11	ค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร (BOD) หน่วยเป็น	วิธีการไตเตรต Azide midification	ไม่มากกว่า 1.5	กรมส่งเสริมคุณภาพ

	มิลลิกรัมต่อลิตร			สิ่งแวดล้อม (2537)

จังหวัดพะเยา





ภาพที่ 6.8 แสดงบริเวณศึกษาในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จังหวัดพะเยา จุดที่ 1 อ่างเก็บน้ำแห่งที่ 1 จุดที่ 2 แหล่งน้ำสำหรับผลิตประปา จุดที่ 3 อ่างเก็บน้ำแห่งที่ 2 จุดที่ 4 บ่อพักน้ำหน้าหอพักเวียงพะเยา

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์โอกาสความน่าจะเป็นของปัจจัยความเสี่ยงที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำ ในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จังหวัดพะเยา ที่ได้จากโมเดล Bayesian Networks โดยใช้ โปรแกรม Netica™ Version 3.17

ผลการศึกษาวิจัย

การกำหนดประเด็นปัญหา (Problem formulation)

จากการประชุมผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในการระบุประเด็นปัญหาของทรัพยากรแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จังหวัดพะเยา โดยกำหนดหัวข้อ (Ecological issue) จุดหมายของการประเมินคือทรัพยากรชนิดใดในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยาที่กลุ่มที่มีส่วนได้ส่วนเสีย ต้องการจะปกป้องหรือคงไว้ทางนิเวศ และต้องการจะฟื้นฟู จากนั้นจัดอันดับ (Rating) หรือให้คะแนนทรัพยากรที่ต้องการจะปกป้องหรือคงไว้ทางนิเวศ

ผลการศึกษาพบว่าทรัพยากรที่ต้องการปกป้องหรือฟื้นฟูได้แก่คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำภายในมหาวิทยาลัย ทรัพยากรป่าไม้ และสภาพภูมิทัศน์ของมหาวิทยาลัย ซึ่งที่ประชุมพบว่าหากมีปัจจัยดังกล่าวที่เสียหายไปจะทำให้เกิดผลกระทบอย่างสูงโดยเฉพาะประเด็นด้านคุณภาพน้ำ และทรัพยากรป่าไม้

ผลการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 1 ของกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย มีรายละเอียดคือ

1. มีการเพิ่มจำนวนประชากรภายในมหาวิทยาลัย โดยเฉพาะจำนวนนิสิตและบุคลากร ซึ่งมีผลต่อปริมาณขยะ ปริมาณน้ำเสีย และปริมาณน้ำใช้ภายในมหาวิทยาลัย

2. มีการก่อสร้างอาคารเรียนเพิ่มเติมเป็นจำนวนมาก รวมถึงสาธารณูปโภคต่างๆ เช่นสถานีไฟฟ้าย่อย การทำถนน และการตัดถางต้นไม้ในพื้นที่เพื่อก่อสร้างอาคารเรียน

3. คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม มีทั้งการเน่าเสียตามธรรมชาติ และ การกระทำของมนุษย์ เช่น การปล่อยของเสียจากหอพัก อาคารเรียน โดยเฉพาะบริเวณหน้าหอพักเวียงพะเยา ซึ่งเชื่อมต่อกับอ่างเก็บน้ำแห่งที่ 3 ของมหาวิทยาลัย

4. การเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ เช่น ฝนไม่ตกตามฤดูกาล ทำให้ส่งผลต่อระดับและปริมาณน้ำ และแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา

5. ระบบนิเวศในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

จากการค้นคว้าเอกสารหรือการทบทวนวรรณกรรม และข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ พบว่าปัจจัยหรือแรงกดดัน (Stressor) ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา มี 2 ปัจจัยหลัก คือ (1) ปัจจัยที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ (Natural factors) และ (2) ปัจจัยที่เกิด

จากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic factors) ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนี้สามารถส่งผลกระทบทั้งด้านบวกและด้านลบ ดังรายละเอียดคือ

ปัจจัยที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ (Natural factors)

การเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติของแหล่งน้ำขึ้นกับฤดูกาล ซึ่งส่งผลต่อปริมาณและระดับเก็บกักน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา และส่งผลต่อคุณภาพน้ำ การใช้น้ำ และแหล่งที่อยู่อาศัย(Habitat) ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น หากฝนตกลงมาทำให้เกิดการชะล้างตะกอนดินจากพื้นที่ก่อสร้าง สามารถวัดในรูปปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (Total Suspended Solid) หรือ TSS และค่าปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดที่ละลายในน้ำ จะส่งผลต่อค่าความโปร่งแสงของน้ำ (Transparency) ทำให้บดบังแสงสว่าง ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ดังนั้นหากปริมาณตะกอนดินถูกชะล้างลงมาปริมาณมาก ก็จะส่งผลต่อค่าความโปร่งแสงของน้ำทำให้ค่าลดลง ซึ่งจะกระทบเป็นห่วงโซ่ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติของระบบนิเวศในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำ (Temperature) และ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เพราะมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยามีที่ตั้งในเขตภาคเหนือตอนบน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำในช่วงกว้างและมีความแตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล

ปัจจัยที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ (Anthropogenic factors)

1. ปัญหาการน้ำทิ้งจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆ เช่นการเรียนการสอน โรงอาหาร ห้องปฏิบัติการ ซึ่งสารเคมีมีองค์ประกอบของแร่ธาตุจำพวกไนโตรเจน และฟอสฟอรัส หากแพร่กระจายลงแหล่งน้ำ จะส่งผลต่อคุณภาพน้ำ คือ ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) ปริมาณไนเตรท (Nitrate) ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia) ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus) เรียกรวมว่าสารอาหาร (Nutrient) ปกติสารอาหารเหล่านี้มีความจำเป็นและเป็นแหล่งอาหาร ใช้ในการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช แต่หากพบปริมาณมากเกินไปก็จะส่งกระทบต่อคุณภาพน้ำ เช่นเดียวกัน ทำให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนหลายชนิดและอาจทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนได้

2. ปัญหาการปล่อยน้ำเสียจากหอพัก ร้านค้า สามารถวัดค่าในรูปความสกปรกของอินทรีย์สาร (Biological Oxygen Demand) หรือค่า BOD ซึ่งค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สารนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) หากแหล่งน้ำมีค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สารปริมาณสูง มักทำให้ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีค่าน้อย โดยปริมาณออกซิเจนละลายน้ำมีผลต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

3. ปัญหาการเปิดพื้นที่เพื่อก่อสร้างอาคาร ทำให้มีการตัดถางพืชปกคลุมดิน มีการขนส่งวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เกิดความสกปรกจากดินที่จะถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้แหล่งน้ำมีปริมาณสาร

แขวนลอยที่สูง และส่งผลต่อปริมาณแสงที่ส่องผ่านลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้ผู้ผลิตขั้นต้นลดลงและมีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา แล้วจากนั้นนำข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ข้อมูลการสำรวจภาคสนาม และภายในห้องปฏิบัติการ เช่น ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ข้อมูลจากการทบทวนเอกสาร ข้อคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญ (Expert openion) หรือกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย จากนั้นนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาพัฒนาตัวแบบกรอบแนวคิด (Conceptual model) และนำเข้าในรูป Baynesian Networks โดยใช้โปรแกรม Netica ™ Version 3.17 ในการวิเคราะห์ต่อไป

ผลการพัฒนาตัวกรอบแนวคิด และนำเข้าข้อมูลในรูปของ Baynesian Networks โดยใช้โปรแกรม Netica™ Version 3.17 พบว่าโครงสร้างของ Baynesian Networks ในการประเมินความเสี่ยงของทรัพยากรแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ประกอบด้วย 30 Nodes 40 Links ดังภาพที่ 6.9 ปัจจัยหลักหรือแรงกดดันที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา มี 4 ปัจจัย คือ (1) ปัญหาจากการเพิ่มจำนวนนิสิตและบุคลากร (2) ปัญหาจากการระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ (3) ปัญหาการตัดถางพืชคลุมดินเพื่อก่อสร้างอาคาร และ (4) การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนี้ จะปรากฏด้านบนของโมเดล และเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Primary parent node) ไปยังตัวแปรอื่นๆ ด้วยลูกศร 6

จากนั้นทำการแบ่งสถานะภาพของตัวแปรแต่ละตัวแปร โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของกรมประมง (2528) เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 2 และ 4 ของกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2537) จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity analysis) หรือความน่าจะเป็นของตัวแปรอิสระที่ส่งผลกระทบตัวแปรตาม โดยใส่ข้อมูลโอกาสความน่าจะเป็นในตาราง CPT (Conditional Probability Table) ของทุกตัวแปร ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหาร Nutrient ปริมาณสารพิษ (Toxic substance) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ค่าความโปร่งแสง (Transparency) ปริมาณอาหาร (Food Source) แหล่งที่อยู่อาศัย (Habitat) ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll a) ปริมาณแพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton), ปริมาณไนเตรท (Nitrate) ปริมาณไนไตรท์ (Nitrite) ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia) และคุณภาพน้ำ (Water quality) จากนั้นใส่ข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ แต่ละปัจจัยในตาราง Excel และนำเข้าข้อมูลของตัวแปรจากโปรแกรม Excel สู่โปรแกรม Netica ™ Version 3.17

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
จำนวนนิสิต (Students)	ไนไตรท์ (Nitrite)	น้ำเสียจากการใช้ในชีวิตประจำวันของนิสิต ซึ่งประกอบด้วยสารจำพวกกลุ่มไนโตรเจน เมื่อเกิดการชะล้าง ลงสู่แหล่งน้ำ และปฏิกิริยาแตกตัวจะเปลี่ยนสารประกอบโตรเจนเป็นไนไตรท์ (NO^-_2)
จำนวนนิสิต (Students)	ไนเตรท (Nitrate)	น้ำเสียจากการใช้ในชีวิตประจำวันของนิสิต ซึ่งประกอบด้วยสารจำพวกกลุ่มไนโตรเจน เมื่อเกิดการชะล้าง ลงสู่แหล่งน้ำ และปฏิกิริยาแตกตัวจะเปลี่ยนสารประกอบโตรเจนเป็น ไนเตรท (NO^-_3)
จำนวนนิสิต (Students)	ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia)	น้ำเสียจากการใช้ในชีวิตประจำวันของนิสิต ซึ่งประกอบด้วยสารจำพวกกลุ่มไนโตรเจน เมื่อเกิดการชะล้าง ลงสู่แหล่งน้ำ และปฏิกิริยาแตกตัวจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย (Total ammonia)
จำนวนนิสิต (Students)	สารเคมี (Chemicals)	การใช้สารเคมีเช่นน้ำยาล้างห้องน้ำ สารฆ่าแมลง ซึ่งสามารถแพร่กระจายลงแหล่งน้ำโดยการชะล้าง เมื่อปนเปื้อนลงแหล่งน้ำอาจทำให้เกิดความเป็นพิษเรื้อรังและความผิดปกติของสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำได้

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
จำนวนนิสิต (Students)	ค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร (Biological Oxygen Demand)	กิจกรรมของนิสิตอาจปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำ สามารถวัดได้ในค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร เช่นขยะ หรือของเสียจากโรงอาหาร
จำนวนนิสิต (Students)	ปริมาณฟอสเฟตทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic Phosphate)	กิจกรรมการทำเกษตร มีการใช้ปุ๋ย สารเคมี ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มไนโตรเจนและฟอสเฟต เมื่อเกิดการชะล้างหน้าดินหรือระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ เมื่อทำปฏิกิริยาแตกตัวจะเปลี่ยนเป็นสารประกอบกลุ่มฟอสเฟต
ไนไตรท์ (Nitrite)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic Nitrogen)	ปริมาณไนไตรท์ เมื่อละลายลงแหล่งน้ำ จะแตกตัวเป็นสารละลายกลุ่มไนโตรเจนทั้งหมด ที่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ
ไนเตรท (Nitrate)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic Nitrogen)	ปริมาณไนเตรท เมื่อละลายลงแหล่งน้ำ จะเกิดการแตกตัวเป็นสารละลายกลุ่มไนโตรเจนทั้งหมดที่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ
ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic Nitrogen)	ปริมาณแอมโมเนียรวม เมื่อลงสู่แหล่งน้ำจะเกิดการแตกตัวเป็นสารละลายกลุ่มไนโตรเจนทั้งหมดที่ละลายน้ำ หากพบในปริมาณมาก จะเป็นพิษต่อสัตว์น้ำและสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำได้

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ละลายน้ำ (Dissolved inorganic Nitrogen)	ปริมาณธาตุอาหาร (Nutrient)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่ละลายน้ำ บางส่วนมีการทำปฏิกริยา และแตกตัว ในรูปไนไตรเจน ซึ่งเป็นแหล่งสารอาหารที่สำคัญในการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ แบคทีเรียหรือสาหร่ายบางชนิด
ปริมาณธาตุอาหาร (Nutrient)	แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)	ปริมาณธาตุอาหารในน้ำ เช่น ไนโตรเจน และฟอสเฟต มีความจำเป็นต่อขบวนการสังเคราะห์ของแพลงก์ตอนพืช แต่หากมีในปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการบลูมของแพลงก์ตอนพืชได้ อาจเกิดการขาดแคลนออกซิเจน และภาวะ (Eutrophication) ได้
แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)	แพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton)	เมื่อปริมาณแพลงก์ตอนพืชในน้ำลดลง จะทำให้ปริมาณอาหารธรรมชาติของสัตว์น้ำลดลงตามด้วย ทำให้ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคในห่วงโซ่อาหาร เช่น แพลงก์ตอนสัตว์ สัตว์น้ำ เป็นต้น
แพลงก์ตอนสัตว์ (Zooplankton)	ปริมาณอาหาร (Food source)	พันธุ์ไม้น้ำและแพลงก์ตอนพืชสามารถใช้สารอินทรีย์ จากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้เกิดผลผลิตขั้นต้นในแหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อผู้บริโภคในระดับห่วงโซ่อาหาร เนื่องจากแพลงก์ตอนพืชและพันธุ์ไม้น้ำเป็นอาหารของแพลงก์ตอนสัตว์ และสัตว์น้ำ ต่อไป

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
การก่อสร้างอาคาร	ปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal)	การก่อสร้างมีการระบายน้ำทิ้งมักจะประกอบด้วยสารโลหะหนักหลายชนิดรวมกัน ดังนั้นสารพิษเหล่านี้จึงมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายของสัตว์น้ำได้
การก่อสร้างอาคาร	ค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร (Biochemical Oxygen Demand)	การก่อสร้างอาคารมีคนงานเป็นจำนวนมาก เป็นแหล่งกำเนินขยะและน้ำเสียในรูปของอินทรีย์สาร
สารเคมี (Chemicals)	ปริมาณสารพิษ (Toxic substance)	สารเคมีที่มีการใช้งานในห้องปฏิบัติการบางชนิด เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม คือหากมีการสะสมในสิ่งมีชีวิตและแหล่งน้ำ
ปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal)	ปริมาณสารพิษ (Toxic substance)	ปริมาณโลหะหนักประกอบด้วยสารพิษหลายชนิด หากลงสู่แหล่งน้ำ จึงมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายสัตว์น้ำได้ ซึ่งการสะสมของโลหะหนัก ส่วนใหญ่สัตว์น้ำได้รับด้วยวิธีการกินอาหาร การสะสมของโลหะหนักจะเพิ่มขึ้นตามลำดับการบริโภค

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
ปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia)	ปริมาณสารพิษ (Toxic substance)	แอมโมเนียเป็นสารประกอบไนโตรเจน หากมีการแตกตัวในรูปแอมโมเนียอิสระจะไม่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์และสัตว์น้ำโดยตรง แต่หากพบปริมาณที่มาก อาจทำให้สัตว์น้ำตายได้
น้ำเสีย (Waste water)	ค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร (BOD)	กิจกรรมของนิสิต และบุคลากรตลอดจนการเรียนการสอนของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จะมีการปล่อยน้ำทิ้งจากการอุปโภคและบริโภค เช่น น้ำจากการซักล้างและการทำครัว น้ำทิ้งที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำผิวดินและน้ำทิ้งเหล่านั้นทำให้เกิดการเน่าเสียได้ ซึ่งนิยมวัดเป็นค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร (BOD)
ค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร (BOD)	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)	ค่า BOD คือปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายในภาวะที่มีออกซิเจนเป็นดัชนีที่ชี้วัดความสกปรกของแหล่งน้ำ น้ำที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ค่า BOD สูง เพราะแบคทีเรียต้องใช้ออกซิเจนในขบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ อาจส่งผลให้ขาดแคลนออกซิเจนในน้ำได้ แต่บางครั้งสารอินทรีย์ที่ละลายในน้ำพอเหมาะ อาจทำให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายหรือแพลงก์ตอนพืช

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (Season)	อุณหภูมิน้ำ (Temperature)	ปกติในแหล่งน้ำธรรมชาติจะมีการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติที่เกิดขึ้น เช่น อุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ จึงจำเป็นที่ต้องตรวจสอบเพื่อหาความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นระยะในแหล่งน้ำ อุณหภูมิของน้ำจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูงและสภาพภูมิประเทศ ความเข้มของแสงสว่าง กระแสลม ปริมาณสารแขวนลอยที่ลายในน้ำ นอกจากนี้อุณหภูมิน้ำยังมีผลต่อการอพยพย้ายถิ่น การวางไข่ การฟักเป็นตัวของสัตว์น้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำ ยังมีผลทำให้พืชน้ำมีการเจริญเติบโต และเพิ่มจำนวนในปริมาณแตกต่างกัน
การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (Season)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	ความเป็นกรดเป็นด่าง เป็นเครื่องแสดงให้ทราบว่าแหล่งน้ำ มีคุณสมบัติเป็นกรดหรือเป็นด่าง เป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (Hydrogen ion concentration) ที่อยู่ในน้ำ ความแตกต่างของค่า pH ขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น ลักษณะพื้นดิน และหิน ปริมาณน้ำฝนตลอดจนการใช้ที่ดิน

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล (Season)	ปริมาณน้ำ (Water level)	ในแต่ละฤดูกาลจะมีการเปลี่ยนปลงของปริมาณน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงตามธรรมชาติ
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (Total suspended solid)	ค่าความโปร่งแสง (Transparency)	ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ แสดงถึงปริมาณสิ่งเจือปนทั้งหมดในน้ำว่ามีมากน้อยเพียงใด ซึ่งปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำมีความสำคัญยิ่งต่อการควบคุมคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำ เป็นตัวบดบังปริมาณแสงสว่างที่ส่องผ่านลงในแหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความโปร่งแสง หากแหล่งน้ำมีปริมาณสารแขวนลอยปริมาณมาก ก็จะทำให้ค่าความโปร่งแสงค่อนข้างน้อย และส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืชต่อไป
ปริมาณและระดับน้ำ (Water level)	ที่อยู่อาศัย (Habitat)	ปริมาณน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ส่งผลต่อแหล่งที่อยู่อาศัย นั่นคือสัตว์น้ำที่อาศัย จะมีพื้นที่ในการว่ายน้ำ สืบพันธุ์ และการดำรงชีวิต ทำให้มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น

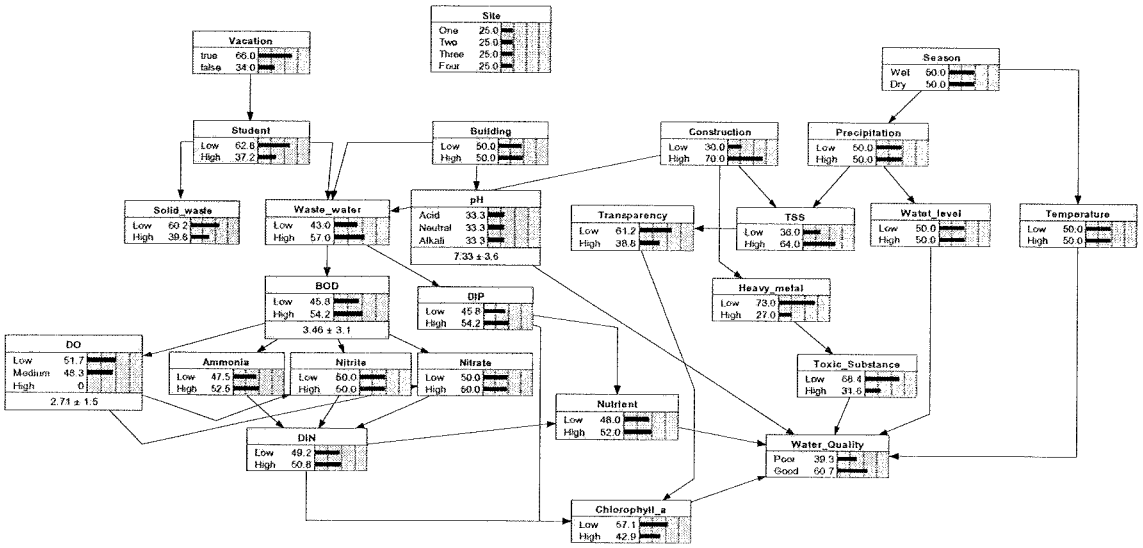
ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
อุณหภูมิน้ำ (Temperature)	คุณภาพน้ำ (Water quality descriptor)	อุณหภูมิน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำทางกายภาพ ประเทศไทย กองอนามัยสิ่งแวดล้อม รายงานว่าอุณหภูมิน้ำมีค่าระหว่าง 23.6-31.4 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำก่อให้เกิดปัญหาต่อผลผลิตทางการประมง เช่น ส่งผลต่อชนิด ปริมาณ สัดส่วนของสิ่งมีชีวิตและความสมดุลของระบบนิเวศในแหล่งน้ำ (สิทธิชัย, มปป)
ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)	คุณภาพน้ำ (Water quality descriptor)	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำขึ้นกับกิจกรรมต่าง ๆ ในน้ำ ค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 6.5-9.0 ทำให้สัตว์น้ำเจริญเติบโตได้ดี นอกจากนี้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างยังขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะพื้นดินและหิน ปริมาณน้ำฝน
ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	คุณภาพน้ำ (Water quality descriptor)	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เป็นค่าทีมีความสำคัญบ่งบอกถึงการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ เป็นตัวควบคุมกระบวนการใช้พลังงานของแหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตในน้ำต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจ ดังนั้นจึงมีผลต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ กรมควบคุมมลพิษ (2544) กำหนดปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่เหมาะสม ควรอยู่ระหว่าง 4-6 มิลลิกรัมต่อลิตร

ตารางที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ Cause (Parent node) และตัวแปรตาม Effect (Child node) และคำอธิบาย (Definition) ของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ Cause (Parent node)	ตัวแปรตาม Effect (Child node)	คำอธิบาย (Definition)
ปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำ (Total suspended solid)	แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)	แหล่งน้ำที่มีปริมาณสารแขวนลอยทั้งหมดในน้ำปริมาณมาก ทำให้เกิดความขุ่นมาก แสงสว่างส่องลงไปได้น้อย และปริมาณสารแขวนลอยก็จะขัดขวางหรือการสังเคราะห์แสงของพืช ทำให้กำลังการผลิตขั้นต้น ในแหล่งน้ำลดลง
แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)	ปริมาณอาหาร (Food source)	แพลงก์ตอนพืชสามารถสังเคราะห์สารอินทรีย์ จากคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ทำให้เกิดผลผลิตขั้นต้นขึ้นในแหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อผลผลิตในระดับห่วงโซ่อาหารที่สูงขึ้นไป เนื่องจากมวลของแพลงก์ตอนพืชจะเป็นอาหารของสัตว์น้ำหรือสัตว์อื่นๆ ที่เป็นอาหารสัตว์น้ำต่อไป
ค่าความโปร่งแสง (Transparency)	แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)	ค่าความโปร่งใส เป็นค่าที่บอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำได้ดี ดังนั้นหากแหล่งน้ำใดมีค่าความโปร่งใสมากกว่า 60 เซนติเมตร หมายถึงมีความใสค่อนข้างมาก แสดงไม่มีอาหารธรรมชาติ หรือมีปริมาณแพลงก์ตอนพืชจำนวนน้อย นั่นคือแหล่งน้ำไม่มีความอุดมสมบูรณ์เท่าที่ควร
อุณหภูมิน้ำ (Temperature)	แพลงก์ตอนพืช (Phytoplankton)	อุณหภูมิของน้ำมีความผันแปรตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแสง ซึ่งจะส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช

จากนั้นทำการ run model จะได้ผลการศึกษาคือค่าความน่าจะเป็นของตัวแปร ดังนี้



ภาพที่ 6.9 ปัจจัยที่มีผลต่อความเสี่ยงของคุณภาพน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา

การทดสอบสถานการณ์ทั้ง 3 สถานการณ์ในอนาคต 10 ปีข้างหน้า

1. การกำหนดสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต 3 สถานการณ์ คือสถานการณ์ที่ดีที่สุด สถานการณ์ที่แย่ที่สุด สถานการณ์ปานกลาง กำหนดสถานการณ์ที่ดีที่สุดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต 10 ปีข้างหน้า (Best case future Scenario) คือ หากมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา มีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียให้สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีระบบรวบรวมน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐาน มีการรวบรวมระบบน้ำเสียและผ่านการบำบัดในถังดักตะกอนไขมันก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ มีการทำแนวดักตะกอนและมีการปลูกพืชคลุมดินทดแทนบริเวณก่อสร้าง มีการจัดการขยะและน้ำเสียจากขยะที่ได้มาตรฐาน จากนั้นทำการทดสอบสถานการณ์ที่ดีที่สุด โดยกำหนดปัจจัยต่าง ๆ พบว่าความน่าจะเป็นที่แหล่งน้ำที่กลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต้องการฟื้นฟูหรือปกป้องให้คงอยู่ในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา จังหวัดพะเยา คิดเป็นร้อยละ 65.3 มีระดับความเสี่ยงที่คุณภาพน้ำจะเสื่อมโทรมในระดับต่ำ

2. กำหนดสถานการณ์แย่ที่สุด (Worst case future Scenario) ในอนาคต 10 ปีข้างหน้า คือ หากจำนวนนิสิตและบุคลากรในมหาวิทยาลัยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการปล่อยของเสีย และสิ่งปฏิกูลลงแหล่งน้ำ มหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา มีการก่อสร้างอาคารโรงพยาบาลและอาคารเรียนที่ไม่มีการจัดทำระบบการบำบัดน้ำเสีย และไม่มีมาตรการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ไม่มีการรวบรวมระบบน้ำเสียและผ่านการบำบัดในถังดักตะกอนไขมัน มีการปล่อยน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการลงสู่แหล่งน้ำ ผลการทดสอบพบว่าความน่าจะเป็นที่แหล่งน้ำที่กลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต้องการฟื้นฟูหรือปกป้องให้คงอยู่

ในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา คิดเป็นร้อยละ 56.4 มีความเสี่ยงที่ทรัพยากรแหล่งน้ำจะเสื่อมโทรมลงในระดับปานกลาง

แผนการจัดการความเสี่ยงในการปกป้องแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา

แหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยาส่วนใหญ่เป็นแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้นจากเดิมที่เป็นทางน้ำและมีการก่อสร้างเขื่อนเพื่อเก็บกักน้ำไว้ใช้ในกิจกรรมของมหาวิทยาลัย เช่น การผลิตประปา การเรียนการสอนด้านการเกษตร การประมง และเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจของนิสิต บุคลากร และประชาชนทั่วไป รวมทั้งเกษตรกรที่อาศัยบริเวณโดยรอบมหาวิทยาลัยที่มีลำน้ำที่รองรับน้ำจากมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ซึ่งจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ไม่ว่าจะเป็นแหล่งรองรับน้ำเสีย และการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร จึงเห็นสมควรที่จะมีจัดแผนการจัดการความเสี่ยงเพื่อพัฒนาปรับปรุง ดูแล ปกป้องสิ่งแวดล้อมของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยาให้คงอยู่สภาพเดิม

แผนการจัดการความเสี่ยง

มาตรการรักษาคุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ให้อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ จากผลการวิเคราะห์จากโมเดล พบว่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำ คือ แร่ธาตุอาหาร โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ค่าความสกปรกในรูปอินทรีย์สาร หรือค่า (BOD) ซึ่งสาเหตุหลักมาจากหอพักและกิจกรรมของนิสิต มีการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำ ดังนั้นมาตรการป้องกันควรเริ่มที่สาเหตุโดยตรง คือ

1. การจัดการระบบบำบัดน้ำเสียของหอพักเวียงพะเยา ซึ่งพบว่าบริเวณแหล่งน้ำหน้าหอพักเวียงพะเยาเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพเสื่อมโทรม และเป็นแหล่งน้ำที่ต่อเนื่องกับอ่างเก็บน้ำแห่งที่ 3 ดังนั้นจึงควรมีมาตรการบำบัดคุณภาพน้ำที่มีประสิทธิภาพ และการเพิ่มออกซิเจนลงในแหล่งน้ำดังกล่าว

2. มาตรการควบคุมกิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ เช่นการจัดการขยะและน้ำทิ้งจากหอพัก และการรณรงค์ลดปริมาณการใช้น้ำและการปล่อยน้ำเสีย

3. มาตรการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา โดยอาศัยความร่วมมือจากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง

4. มาตรการรณรงค์และให้ความรู้แก่นิสิต บุคลากร เจ้าหน้าที่ ตลอดจนคนงานที่ปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่มหาวิทยาลัย ในการจัดการคุณภาพน้ำที่ถูกต้อง ก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำ และการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำอย่างง่าย เพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมของทุกๆ คนในมหาวิทยาลัย

สรุปผลการศึกษา

คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำของมหาวิทยาลัยพะเยาที่ทำการศึกษา 4 แห่ง ได้แก่ อ่างเก็บน้ำแห่งที่หนึ่ง แหล่งน้ำสำหรับผลิตประปา อ่างเก็บน้ำแห่งที่ 2 และบ่อน้ำหน้าหอพักนิสิตเวียงพะเยา พบว่าแหล่งน้ำที่มีความเสี่ยงสูงที่สุดที่เกิดความเสื่อมโทรมคือบ่อน้ำหน้าหอพักนิสิตเวียงพะเยา เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำที่ตั้งอยู่ใกล้กับหอพักขนาดใหญ่ซึ่งมีนิสิตอาศัยอยู่ประมาณ 2,700 คน นอกจากนั้นยังอยู่ใกล้พื้นที่ที่มีการก่อสร้างอาคารปฏิบัติการต่างๆ ทำให้มีคุณภาพน้ำในหลายปัจจัยที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน เช่นปริมาณบีโอดี และโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เป็นต้น ซึ่งแหล่งน้ำนี้เป็นแหล่งน้ำที่เชื่อมต่อกับอ่างเก็บน้ำแห่งที่ 3 ของมหาวิทยาลัย ดังนั้นหากแหล่งน้ำนี้มีคุณภาพเสื่อมโทรม ก็จะทำให้คุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำแห่งที่ 3 มีความเสื่อมโทรมตามไปด้วย ส่วนแหล่งน้ำอื่นๆ ภายในมหาวิทยาลัยยังจัดว่าเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีถึงปานกลาง เนื่องจากไม่ได้รับของเสียจากกิจกรรมภายในมหาวิทยาลัยมากนัก

โครงสร้างของ Baynesian Networks ในการประเมินความเสี่ยงของแหล่งน้ำในพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา ประกอบด้วย 26 Nodes 36 Links 348 Conditional Probabilities โดยมีปัจจัยหลักหรือแรงกดดันที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำได้แก่จำนวนนิสิตและบุคลากร น้ำทิ้งจากกิจกรรมการเรียนการสอนและห้องปฏิบัติการในอาคารต่างๆ การเปิดพื้นที่ป่าเพื่อสร้างอาคาร และปัจจัยจากธรรมชาติเช่นการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนตามฤดูกาล ซึ่งจากการประเมินความเสี่ยงพบว่าแหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา มีความเสี่ยงต่อปัญหาคุณภาพน้ำอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากปัจจุบันมีมาตรการในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำและแหล่งน้ำที่ศึกษาส่วนใหญ่มีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับดีถึงปานกลาง ยกเว้นบ่อน้ำบริเวณหน้าหอพักเวียงพะเยาที่มีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับเสื่อมโทรมและมีความเสี่ยงสูงที่จะมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงไปอีกเนื่องจากอยู่ใกล้บริเวณหอพักนิสิตซึ่งมีประชากรอยู่อย่างหนาแน่น และอยู่ใกล้พื้นที่ก่อสร้างอาคารเรียนทำให้ได้รับผลกระทบได้ง่าย

การวิเคราะห์ค่าความอ่อนไหวหรือไวต่อการเปลี่ยนแปลง (Sensitivity analysis) ของ คุณภาพน้ำ เรียงตามความสำคัญ คือ ปริมาณแร่ธาตุที่ละลายในน้ำโดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ลงสู่แหล่งน้ำ ปริมาณน้ำเสีย และปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ ซึ่งปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คือปัจจัยที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ นั่นคือการลดปริมาณของเสียอินทรีย์ที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งเมื่อนำมาจัดทำแผนการจัดการความเสี่ยงพบว่าควรมีมาตรการดำเนินงานดังนี้

1. การจัดการระบบบำบัดน้ำเสียของหอพักเวียงพะเยา ซึ่งพบว่าบริเวณแหล่งน้ำหน้าหอพักเวียงพะเยาเป็นแหล่งน้ำที่มีคุณภาพเสื่อมโทรม และเป็นแหล่งน้ำที่ต่อเนื่องกับอ่างเก็บน้ำแห่งที่ 3 ดังนั้นจึงควรมีมาตรการบำบัดคุณภาพน้ำที่มีประสิทธิภาพ และการเพิ่มออกซิเจนลงในแหล่งน้ำดังกล่าว

2. มาตรการควบคุมกิจกรรมที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ เช่นการจัดการขยะและน้ำทิ้งจากหอพัก และการรณรงค์ลดปริมาณการใช้น้ำและการปล่อยน้ำเสีย

3. มาตรการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำในมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา โดยอาศัยความร่วมมือจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4. มาตรการรณรงค์และให้ความรู้แก่นิสิต บุคลากร เจ้าหน้าที่ ตลอดจนคนงานที่ปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่มหาวิทยาลัย ในการจัดการคุณภาพน้ำที่ถูกต้อง ก่อนระบายออกสู่แหล่งน้ำ และการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำอย่างง่าย เพื่อส่งเสริมการมีส่วนร่วมของทุกๆ คนในมหาวิทยาลัย

<u>เอกสารอ้างอิง</u>

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2544). การสำรวจและติดตามตรวจสอบสาหร่ายพิษในแหล่งน้ำดิบเพื่อการประปา. หน้า 254-319.

กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2528). มาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. 180 หน้า

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2537). กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับปี 2535. (ไม่ปรากฏวัน เดือน ปีที่เผยแพร่). ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2551. จาก http://www.pcd.go.th .

จิรภรณ์ คชเสนี. (2544). หลักนิเวศวิทยา : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.หน้า 66.

ทรงธิศักดิ์ ทิพย์คำ. (2551). รายงานการประชุมเชิงปฏิบัติการครั้งที่ 2 ณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพะเยา. เมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2551.

รัฐภูมิ พรหมณะ. (2545). การกระจายของสาหร่ายพิษและคุณภาพน้ำในกว๊านพะเยา จังหวัดพะเยา ในปี 2543-2543. วิทยานิพนธ์ วทม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สันธิวัฒน์ พิทักษ์พล. (2550). การประยุกต์ใช้ Bayesian network ในการพยากรณ์ผลการประเมินคุณภาพการศึกษาของสำนักวิชาเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวรพะเยา. การประชุมวิชาการนเรศวร วิจัยครั้งที่ 3. 28-29 กรกฎาคม 2550.

สิทธิชัย ตันธนะสฤษดิ์. (มปป). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณภาพน้ำ. ภาควิชาอนุรักษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 238 หน้า.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (1 ธันวาคม 2548). พื้นที่ชุ่มน้ำในประเทศไทย : กว๊านพะเยา. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ.2551.จาก http://www.wildlifefund.or.th/wetland.

APHA, AWWA, WPCE. (1992). Standard Method for Examination of Water and Waste Water. American Public Health Association, Washington DC.

Barry, T. & P,Camel. (2006). Ecological risk assesment and Bayesian modelling. Water Studies Centre, Monash University, Melbourne. 1-5 p.

Borsuk, M.E., Reichert, P. Peter, Schager, A. E. & Burkhardt, P. (2006). Assessing the decline of brown trout (Salmo trutta) in Swiss river using a Bayesian probability network. Ecological Modelling 192, 224-244

Borsuk, M.E., Stow, C.A. & Reckhow, K.H. (2004). A Bayesian network of eutrophication models for synthesis, prediction and uncertainty analysis. Ecological Modelling 173, 219-239.

Cruz-Ramirez, N., Mesa, Calvet,Fernandez & Matinez. (2007). Diagnosis of breast cancer using Bayesian network: A case study. Computer in Biology and Medicine (in press).

Gile, H. (2007). Bayesian Network Analysis Exploring the Benthic Carrying Capacity for Finfish Farming Within the Firth of Thames.Environment Waikato.Box 4010 Hamilton East 3247.

Hamilton G., C. Alston T., Abal E., Hart B., & Mengersen K. 2003. Integrating science Through Bayesian belief networks: case study of Lyngbya in Moreton Bay. Proceeding of the Conference on modeling and simulation. Townsville, July 2003. pp. 392-399.

Jeremy, C. (2001). Planning improvement in natural resources management. Centre for ecology and hydrology. Crowmash Gifford, Walling ford, Oxon.

Mark E. Borsuk, Peter Reichert, Armin Peter, Eva Schager & Patricia Burkhardt-Holm. (2006). Assessing the decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Swiss rivers using a Bayesian probability network .Department of Systems Analysis, Integrated Assessment, and Modelling, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag), P.O. Box 611, 8600 Dübendorf, Switzerland

Narumon Sangpradub, Santiwat Phitakphol & Souvany Phommakone. (2007). The protection of fish population with the focus on the Mekong giant catfish (*Pangasinodon gigas*) : Ecological Risk Assessment Chiang Rai/BokeoTeam I Final Report.. February 5-7 2007.

Pollino, C.A. & White, A.K. (2005) Development and application of a Bayesian decision support Tool to assist in the management of an endaged species. 2089-2095 p.

Scott, W. (2003). Bayesian belief Networks. Australian Institute of Marine Science.

Swingle, H.S.,(1950). Relationships and dynamics of Balanced and Unbalanced fish population. Bulletin No.274; Agricultural Experiment Station of the Alabama Polytechnic Institute Auburn., Alabama . U.S.A. p. 14-15 .

The Thai-Japan LSIFS Consortium SCI, A&R, SEATEC, TESCO & TCEC., (1985). Large Swamp Inland Fisheries Project (LSIFP), Main Report. Department of Fisheries, Thailand., pp 30-50.

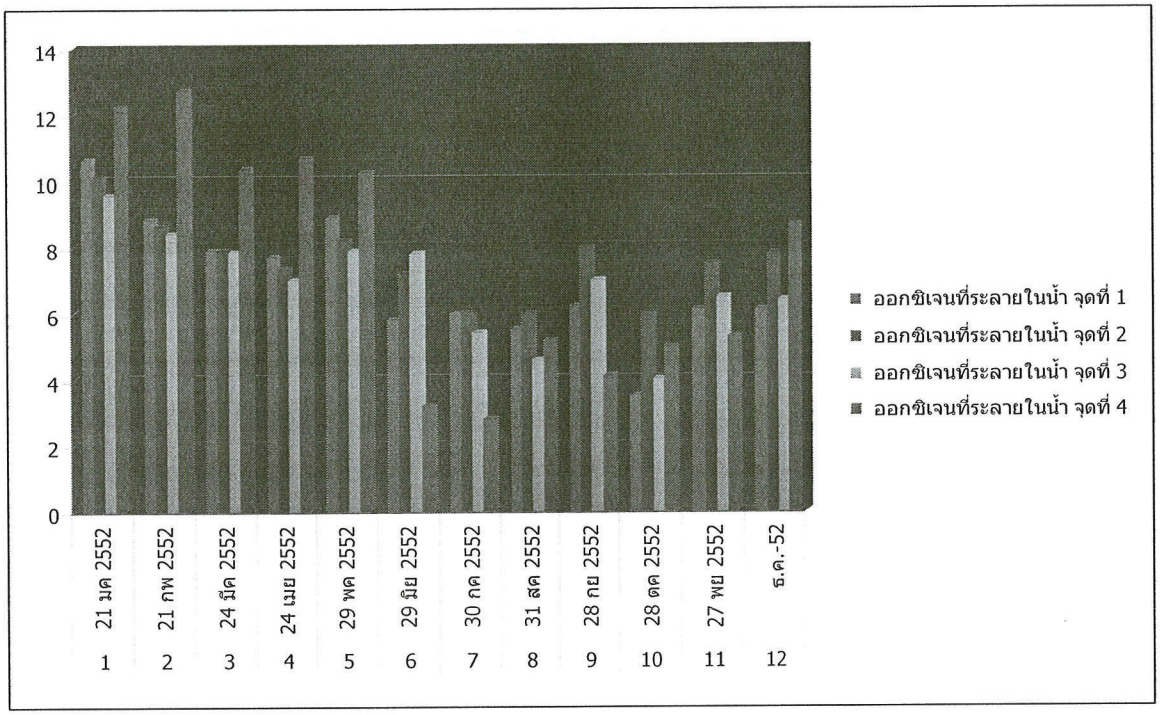
Ticehurst, J.L., Ne wham, T.H., Rissik, D.Letcher, R.A. & jaKeman, J. (2007). A Bayesian Network approach for assessing the sustainability of coastal lakes

Tupwongse, V., Parkpian, P., Watcharasit, P. & Satayavivad, J. (2007). Determination of level of Mn, As, and other metals in water, sediment, and biota from Phayao Lake, Nothern Thailand and assesment of dietary exposure. Journal of Environmental Science and Heath Part A, (42), 1029-1041.

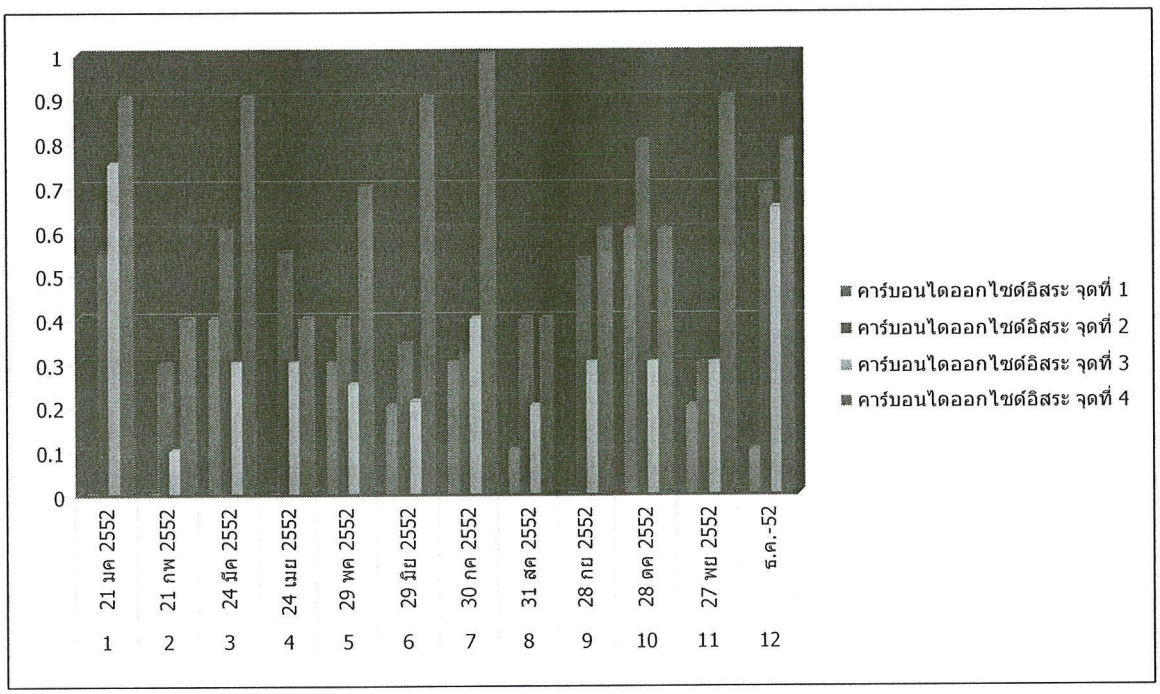
Varis, O. & Kuikka, S. (1999). Learning Bayesian decision analysis by doing : lesson from environmental and natural resources management. Ecological Modelling. 119, 177-195. in New South Waless, Australia. Environmental Modelling and Software. 22, 1129-1139.

Yung, E.W., Mark, B. & Jan, C. (2005). Use of a Bayesian network decision tool to manage environmental flows in the Wimmera River, Victoria University of Melbourne.

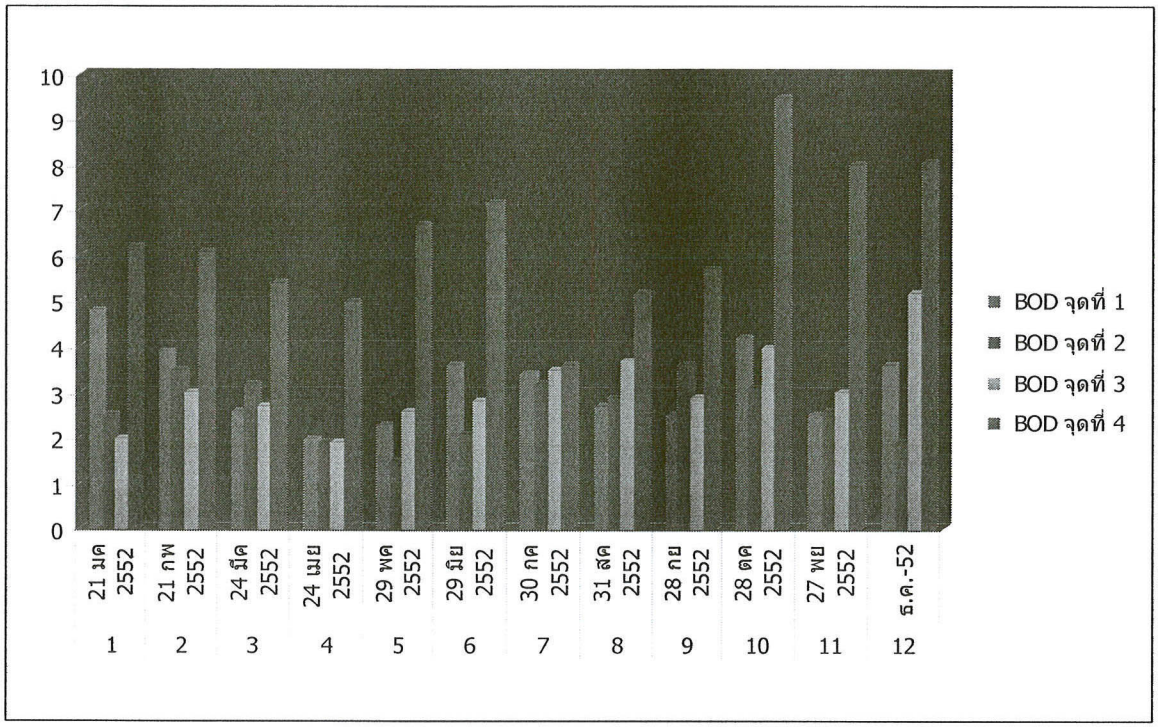
ภาคผนวก



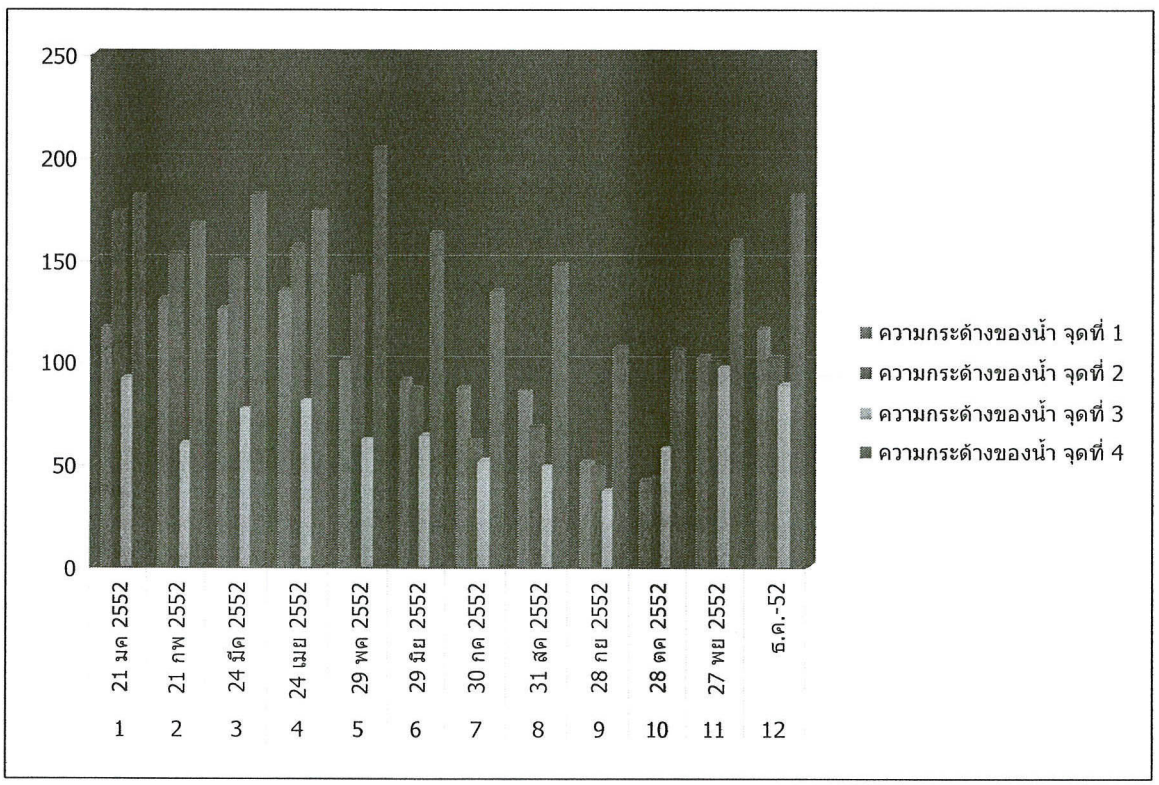
ภาพผนวกที่ 1 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (มก./ลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



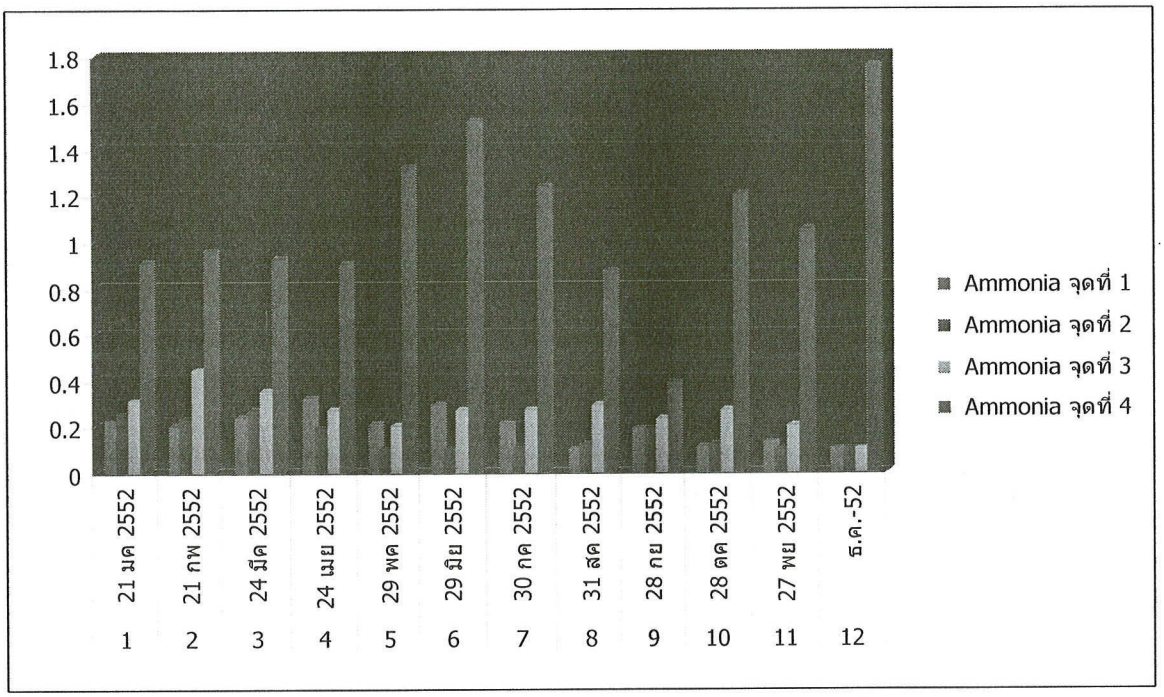
ภาพผนวกที่ 2 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์อิสระที่ละลายในน้ำ (มก./ลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



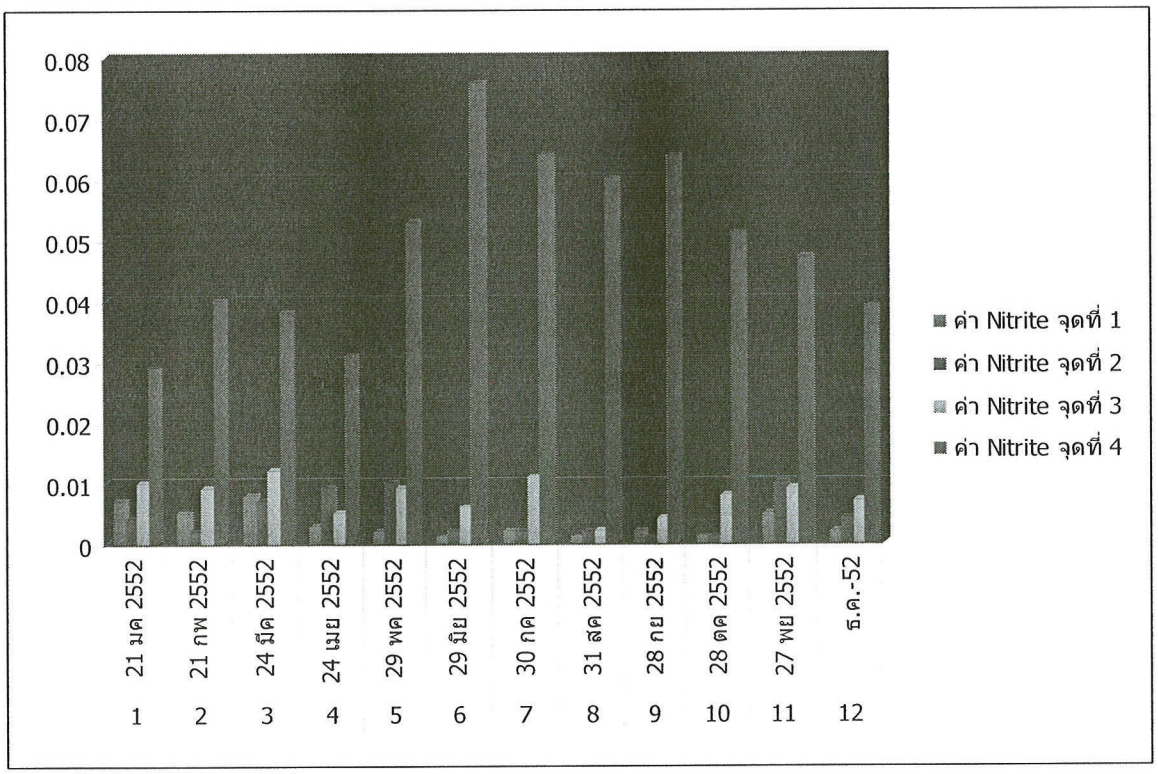
ภาพผนวกที่ 3 ปริมาณบีโอดี (มก./ลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



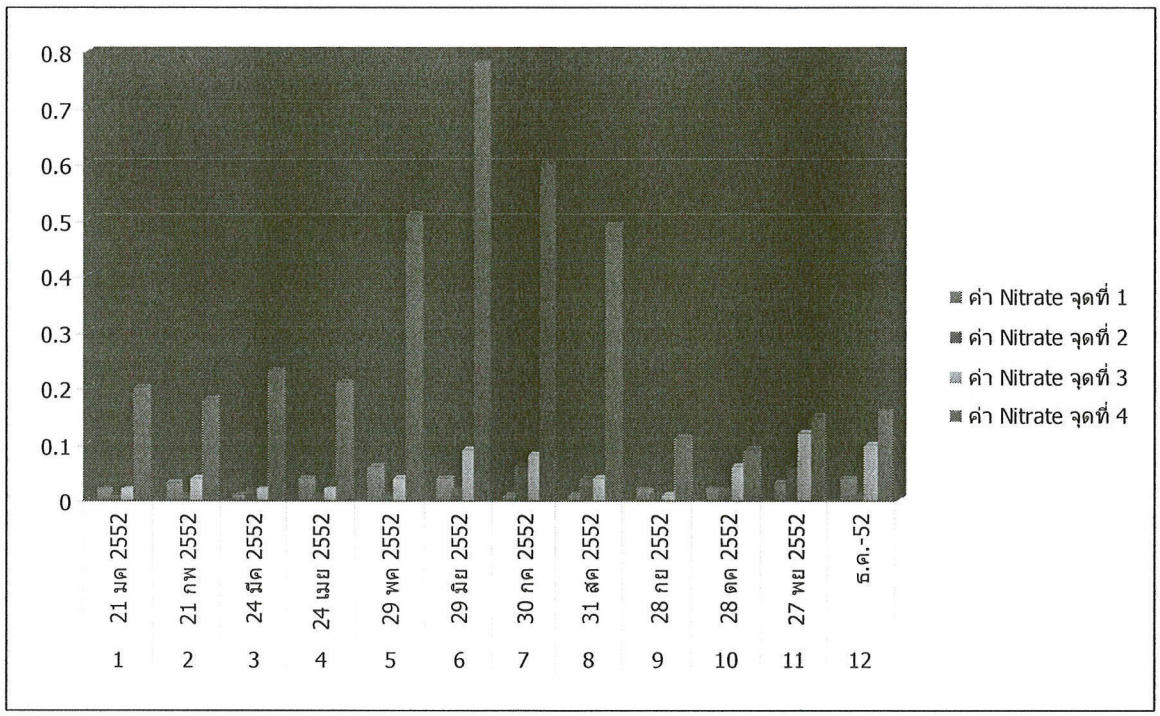
ภาพผนวกที่ 4 ความกระด้างของน้ำ (มก./ลิตร ของแคลเซียมคาร์บอเนต) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



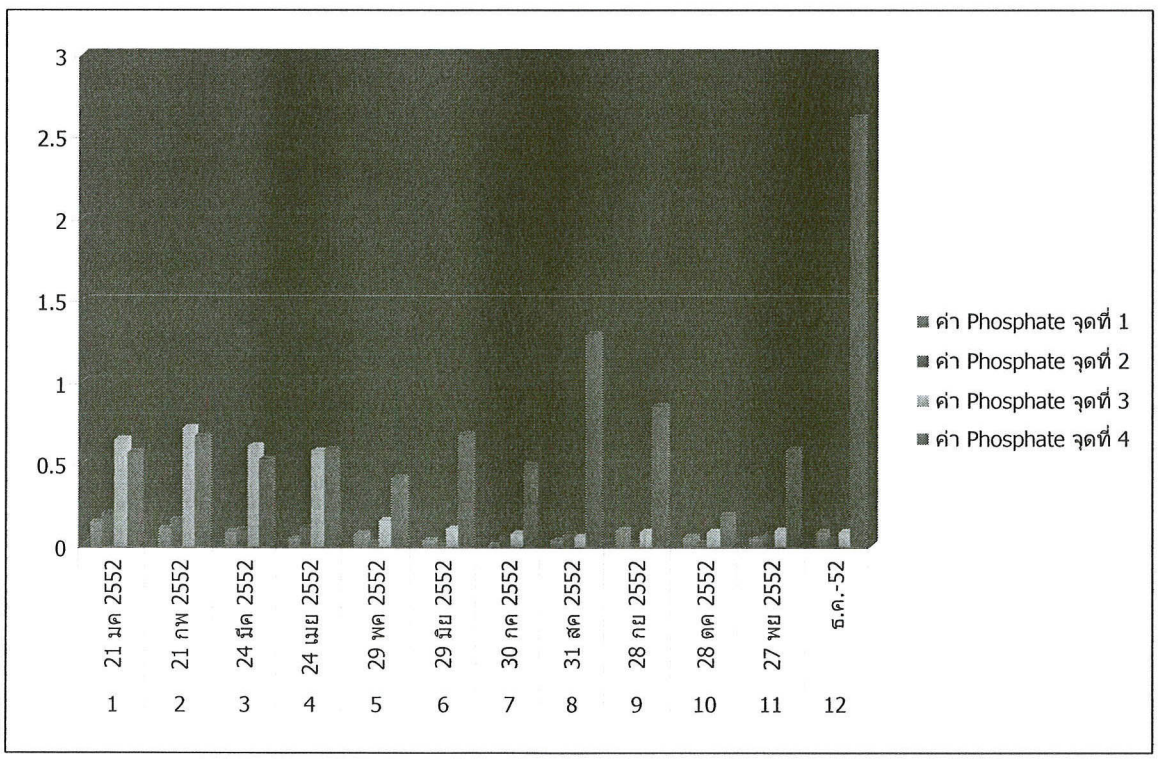
ภาพผนวกที่ 5 ปริมาณแอมโมเนีย (มก./ลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



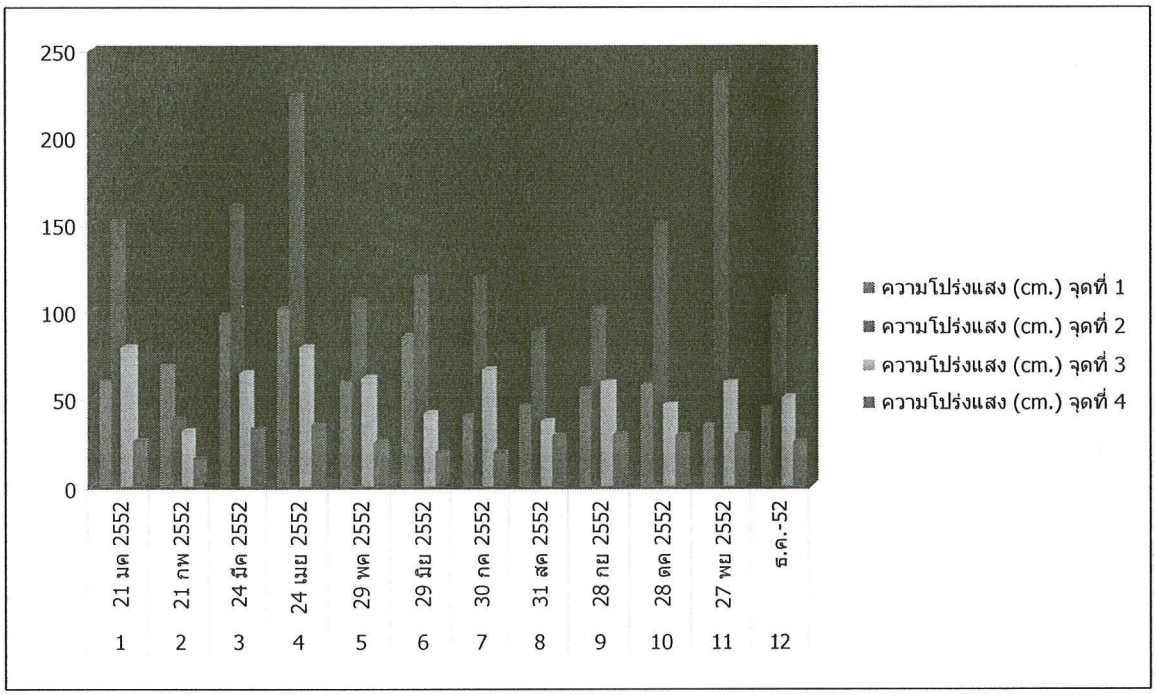
ภาพผนวกที่ 6 ปริมาณไนไตรท์ (มก./ลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



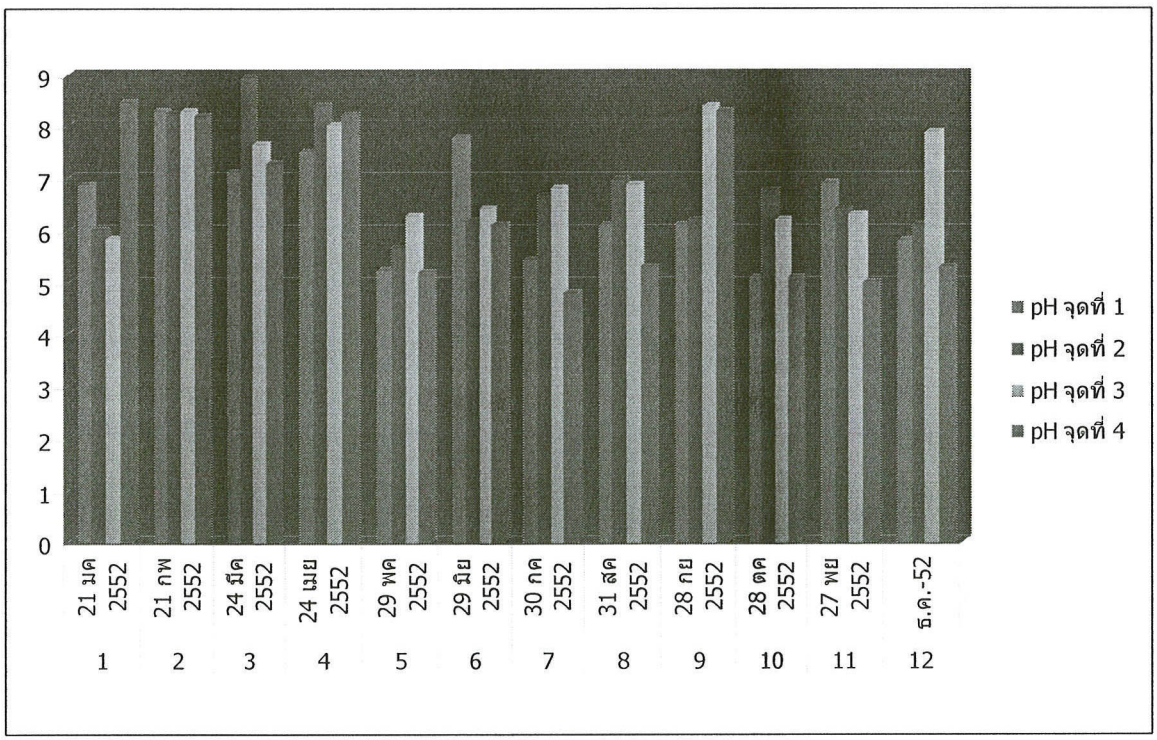
ภาพผนวกที่ 7 ปริมาณไนเตรท (มก./ลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



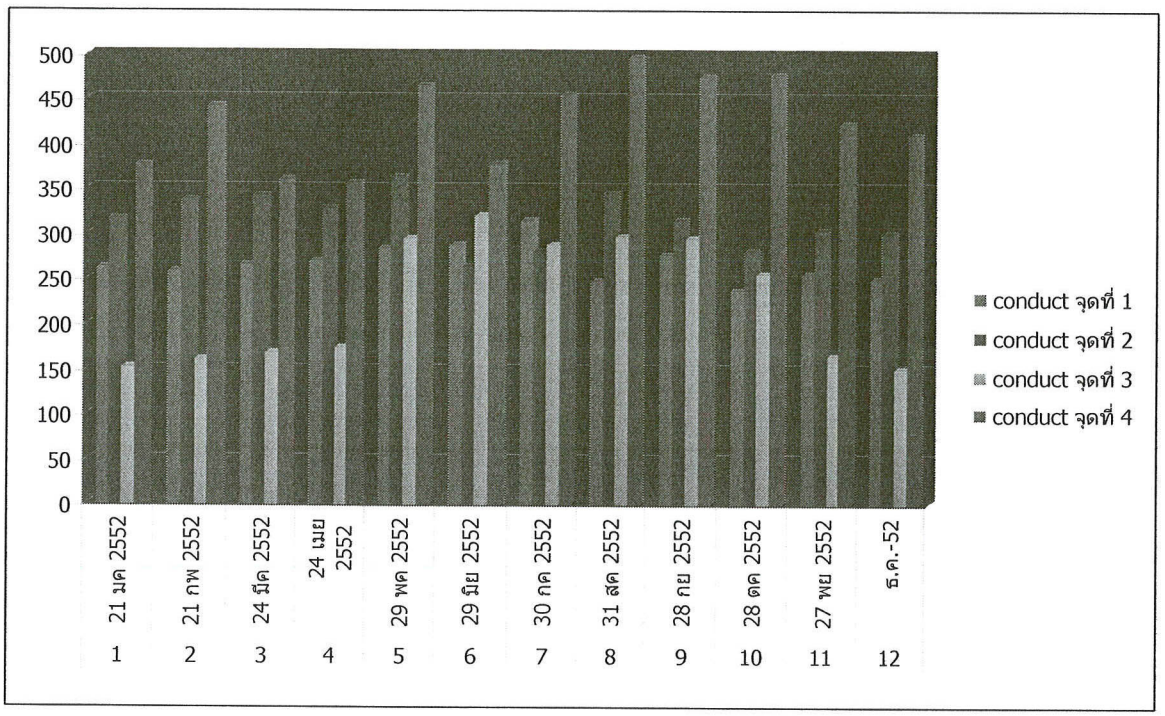
ภาพผนวกที่ 8 ปริมาณฟอสเฟต (มก./ลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



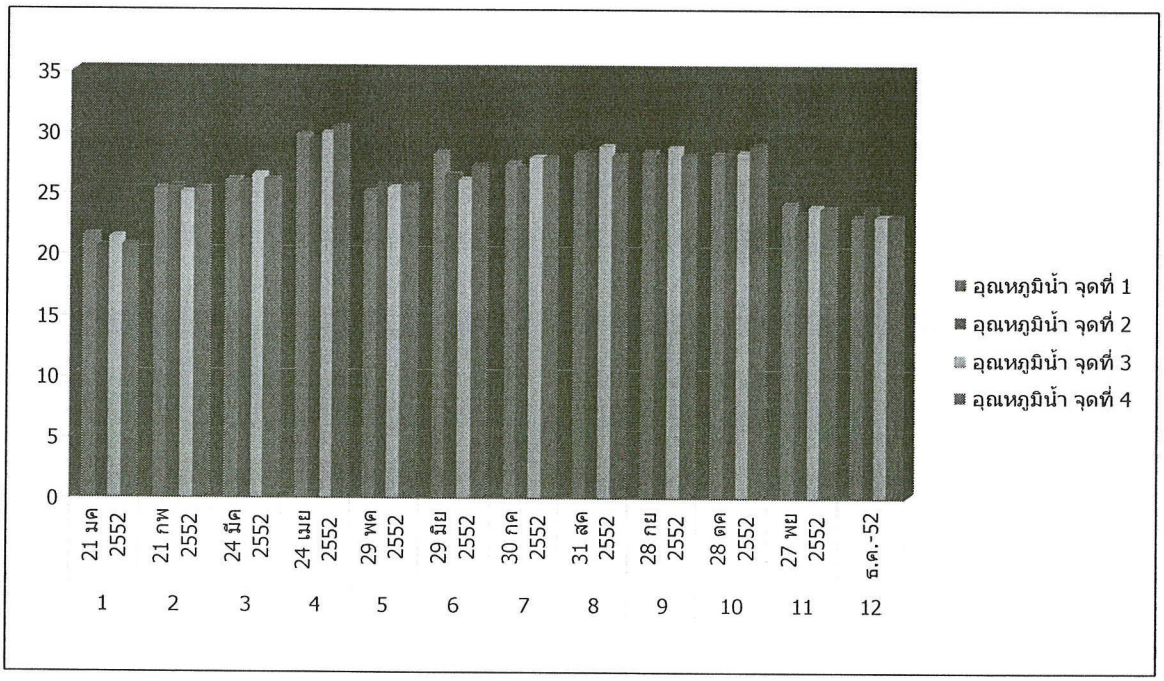
ภาพผนวกที่ 9 ความโปร่งแสงของน้ำ (เซนติเมรต) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



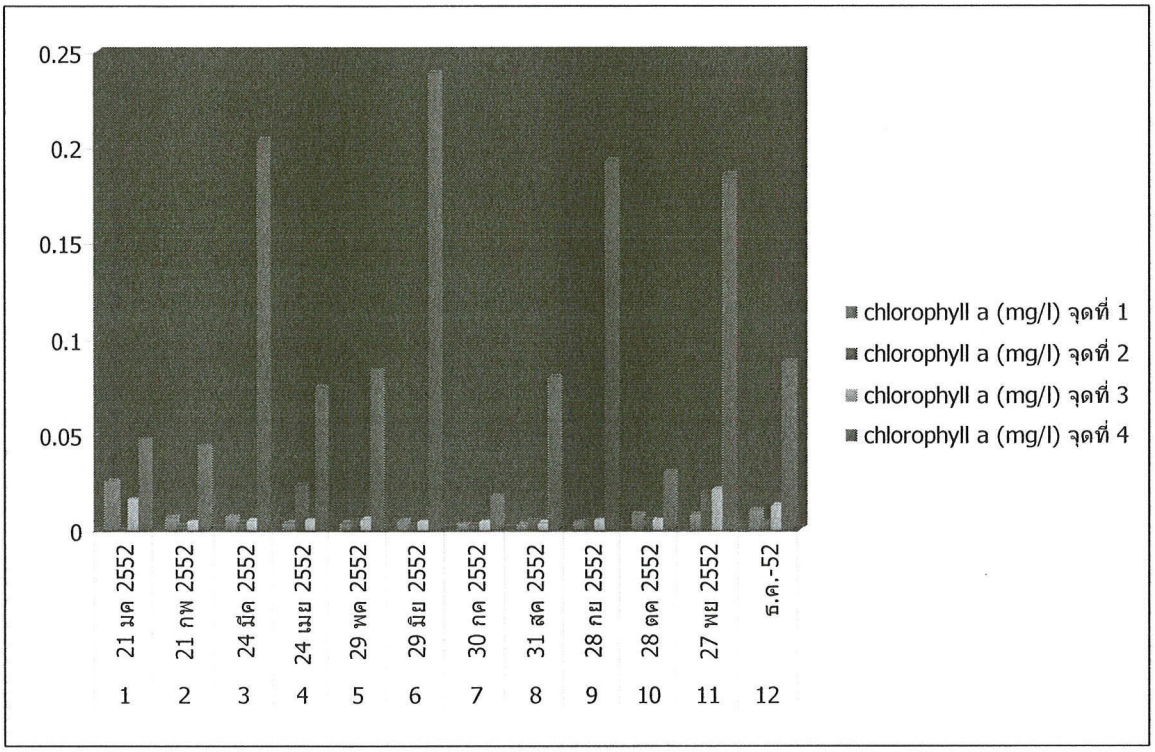
ภาพผนวกที่ 10 ความเป็นกรดด่างของน้ำ ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



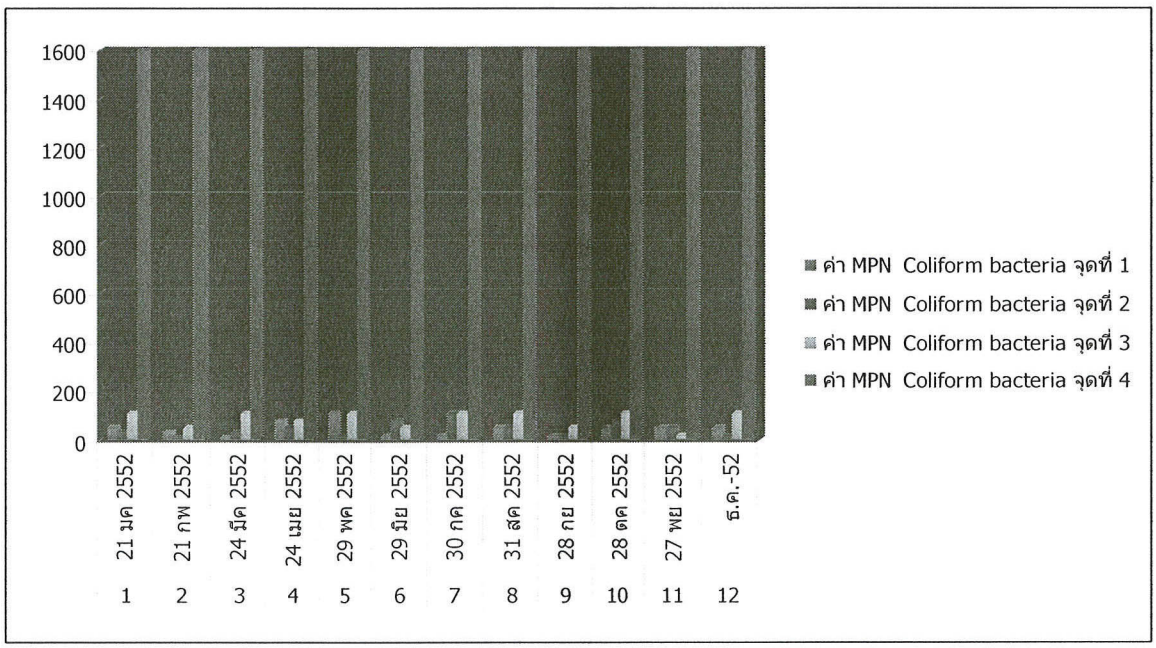
ภาพผนวกที่ 11 การนำไฟฟ้าของน้ำ (ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



ภาพผนวกที่ 12 อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



ภาพผนวกที่ 13 ปริมาณคลอโรฟิลล์เอ (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา



ภาพผนวกที่ 14 ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย (เอ็มพีเอ็นต่อ100 มิลลิลิตร) ของจุดเก็บตัวอย่างในแหล่งน้ำ 4 แห่งของมหาวิทยาลัยนเรศวร พะเยา