บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะทั่วไปของแม่น้ำลาว

แม่น้ำลาวเป็นลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำกก จังหวัดเชียงราย และแม่น้ำกกเป็นลุ่มน้ำสาขาของแม่น้ำโขง แม่น้ำลาวตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 19 องศา 00 ลิปดาเหนือ ถึง 19 องศา 50 ลิปดาเหนือ และลองติจูดที่ 99 องศา 15 ลิปดาตะวันออก ถึง 99 องศา 45 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่รับน้ำประมาณ 2,680.37 ตารางกิโลเมตรหรือ 1,675,229 ไร่ มีต้นกำเนิดจากดอยผีปันน้ำ ดอยมดและดอยสันยาว บริเวณรอยต่อระหว่างอำเภอดอยสะเก็ด อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ กับอำเภอเวียงป่าเป้า ไหลจากทิศใต้ขึ้นสู่ทิศเหนือผ่านอำเภอเวียงป่าเป้า อำเภอแม่สรวย อำเภอแม่ลาว อำเภอพาน อำเภอเมือง และอำเภอเวียงชัย ของจังหวัดเชียงราย รวมระยะทางประมาณ 117 กิโลเมตร สภาพภูมิอากาศ ฤดูฝนได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดผ่านพื้นที่ระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคมรวม 5 เดือน มีฝนตกชุกระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากพายุโซนร้อนหรือพายุดีเปรสชั่นเป็นครั้งคราว จึงประสบปัญหาอุทกภัยเป็นบางปี อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 26.2 องศาเซลเซียส ฤดูหนาวได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดผ่านพื้นที่ระหว่างกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ รวม 4 เดือน สภาพอากาศทั่วไปมีอากาศหนาวเย็น ระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมกราคมมีอากาศหนาวจัด อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดประมาณ 12.1 องศาเซลเซียส ฤดูร้อนอยู่ระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม รวม 3 เดือน สภาพอากาศทั่วไปมีอากาศร้อน อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 34.8 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดปีร้อยละ 76 เดือนสิงหาคมมีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 96 เดือนมีนาคมมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ยร้อยละ 31 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรวมตลอดทั้งปี 1,702.2 มิลลิเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2545)

นิยาม ความหมาย ความสำคัญของ ความหลากหลายทางชีวภาพ

ความหลากหลายทางชีวภาพ

การประชุมสุดยอดของโลกด้านความหลากหลายทางชีวภาพของโลก (Earth Summit: Convention on Biological Diversity) ในปี พุทธศักราช 2535 ขององค์การสหประชาชาติที่เมืองริโอเดจาเนโร ประเทศบราซิล ให้ความหมาย ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตจากทุกแหล่ง ครอบคลุมทั้งบนพื้นดิน มหาสมุทร และระบบนิเวศแหล่งน้ำอื่น รวมทั้งระบบนิเวศที่หลากหลายซับซ้อน ที่มนุษย์เป็นส่วนหนึ่งของระบบ ความหลากหลายทางชีวภาพดังกล่าวครอบคลุมทั้งความหลากหลายทางพันธุกรรม ความหลากหลายของชนิด และ ความหลากหลายทางระบบนิเวศ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547) ทั้งนี้การสัมมนาอนุสัญญาว่าด้วยความหลากหลายทางชีวภาพกับความพร้อมของประเทศไทยปี พุทธศักราช 2539 กล่าวถึงความหลากหลายทางชีวภาพ หมายถึง สิ่งมีชีวิตทุกรูปแบบทั้งสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ ทั้งที่อยู่บกและที่อยู่ในน้ำ เป็นแหล่งทรัพยากรชีวภาพที่เป็นประโยชน์ต่อการเกษตร การแพทย์ และสาธารณสุข อุตสาหกรรมและการพาณิชย์ (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2547) เมื่อศึกษาความหมายของความหลากหลายทางชีวภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่า ความหลากหลายทางชีวภาพนั้นมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตอย่างมาก ซึ่งเราจะเห็นได้ว่า ความแตกต่างกันของสิ่งมีชีวิตนั้น ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งไม่มีชีวิตซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงและมีการปรับตัวหรือ วิวัฒนาการเพื่อการดำรงชีวิต

การใช้สิ่งมีชีวิตในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ

การตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีวภาพ (biological monitoring) เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำโดยการใช้การตอบสนองทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตเพื่อที่ประเมิน การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม (Matthews, 1982) นอกเหนือจากวิธีทางกายภาพและทางเคมีซึ่งมีการศึกษาครั้งแรกในทวีปยุโรปในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 (David and Vincent, 1992) การปรากฏตัวของสิ่งมีชีวิต สภาพของสิ่งมีชีวิต และจำนวนของสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชน้ำชนิดต่างๆหรือสัตว์น้ำ เช่น ปลา สัตว์หน้าดิน หรือ ไบรโอซัว สามารถที่จะบอกถึงความสัมพันธ์ และเป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ได้ (Abel, 1989) ดังนั้นเรา จึงเรียกสิ่งมีชีวิตเหล่านี้ว่า "ตัวชี้วัดทางชีวภาพ หรือ Bioindicator" ดังนั้นหากมีการเก็บตัวอย่างทางชีวภาพและมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการที่เหมาะสม ก็สามารถที่จะบ่งชี้ปัญหาหรือการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำรวมถึงปัญหาการปนเปื้อนสารพิษ ในแหล่งน้ำได้สิ่งมีชีวิตที่มีการนำมาใช้เป็นตัวประเมินคุณภาพน้ำนั้นแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มของพืชน้ำ (aquatic flora) เช่น แพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) กลุ่มของสาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) และกลุ่มของสัตว์น้ำ (aquatic fauna) เช่น ปลา (fish) สัตว์หน้าดิน (benthos) และ ไบรโอซัว (bryozoa)

สัตว์หน้าดิน (benthic fauna)

สัตว์หน้าดิน (benthic fauna หรือ benthos) หมายถึง สัตว์กลุ่มที่ไม่มีกระดูกสันหลัง (invertebrate) ที่อาศัยคืบคลานและหากินตามพื้นผิวหน้าดินบริเวณพื้นท้องน้ำในแหล่งน้ำทะเลสาบหรือทะเล พบได้ตั้งแต่แนวชายฝั่งน้ำจนถึงระดับน้ำลึกที่สุด นอกจากนั้นยังรวมถึงสัตว์กลุ่มที่เกาะหรืออาศัยอยู่ตามกองหิน โขดหิน หรือขอนไม้ในน้ำการใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของแหล่งน้ำเริ่มมีการศึกษากันมาตั้งแต่ช่วงต้นศตวรรษที่ 20 ซึ่งเหตุผลที่นิยมใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำก็เนื่องมาจากสัตว์หน้าดินส่วนใหญ่เป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยเฉพาะประจำที่หรือยึดเกาะอยู่กับที่และมีการเคลื่อนย้ายในบริเวณที่จำกัด ดังนั้นเวลาต้องการตรวจวัดคุณภาพน้ำก็จะสามารถพบสิ่งมีชีวิตเหล่านี้อยู่ ณ สภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งไม่เหมือนกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ที่เมื่อคุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไป สิ่งมีชีวิตชนิดนั้นๆ ก็จะอพยพหรือเคลื่อนย้ายไปสู่แหล่งที่อยู่อาศัยใหม่ที่มีความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมมากกว่า เหตุผลสำคัญอีกประการหนึ่งที่มีการใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำก็เนื่องมาจากสัตว์หน้าดินแต่ละชนิดมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้แตกต่างกัน ตั้งแต่สัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ในน้ำสะอาดไปจนถึงสัตว์หน้าดินที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในน้ำที่สกปรกมากๆ ดังนั้น ความหลากหลายของสัตว์ดินที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันจึงเป็นเสมือนตัวแทนที่บ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างสัตว์หน้าดินที่สามารถนำใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพ เช่น ตัวอ่อนแมลงเกาะหิน ตัวอ่อนชีปะขาวหัวโต และหัวเหลี่ยม ที่สามารถพบได้ในแหล่งน้ำที่มีความสะอาดสูงมากและมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่สูง (รัฐชา ชัยชนะ, 2546) สิ่งมีชีวิตในกลุ่มหนอนแมลงวันดอกไม้ หนอนริ้นน้ำจืดหรือไส้เดือนน้ำ สัตว์เหล่านี้เป็นกลุ่มที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้เกือบทุกอย่าง เนื่องจากมีการปรับที่ดีจนสามารถดำรงอยู่ในแหล่งน้ำที่มีความสกปรกสูงได้ เช่น หนอนริ้นน้ำจืด ลำตัวมักจะเป็นสีแดงเนื่องจากมีสารคล้ายฮีโมโกลบินหรือเม็ดเลือดแดงซึ่งสามารถเก็บออกซิเจนได้ดี หรือหนอนแมลงวันดอกไม้ที่ลำปล้องสุดท้ายนั้นวิวัฒนาการเปลี่ยนไปเป็นหางที่มีลักษณะกลวงและสามารถปรับความยาวได้ให้ขึ้นไปหายใจบริเวณผิวน้ำได้เพื่อรับออกซิเจน (สรณรัชฎ์ กาญจนะวณิชย์ และ สตีเฟน ทิลลิง, 2543) ข้อจำกัดอีกข้อหนึ่งของการใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำก็คือ ชนิด การแพร่กระจาย และความชุกชุมของสัตว์หน้าดินในแหล่งน้ำนั้นมิได้ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ผลของปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมอื่นก็มีอิทธิพลต่อชนิด ปริมาณและการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินด้วยเช่นกันเช่น ลักษณะของแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์หน้าดินความเร็วและแรงของกระแสน้ำการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลระดับความลึกของแหล่งน้ำ เป็นต้น (รัฐชา ชัยชนะ, 2546)

แมลงน้ำ (aquatic insects)

แมลงน้ำ เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในน้ำ โดยบางชนิดจะอาศัยอยู่ในน้ำตลอดชีวิต บางชนิดมีช่วงของการเจริญเติบโตที่อาศัยอยู่ในน้ำส่วนมากจะเป็นไข่ ตัวอ่อน และดักแด้ ตัวเต็มวัยจะอยู่บนบก แมลงน้ำมีความหลากหลายและจำนวนประชากรมากที่สุดในบรรดาสัตว์ที่มีอยู่บนโลก และพบได้ทุกสถานที่ที่มีสิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ได้ (ชิตชล ผลารักษ์, 2538)

การใช้แมลงน้ำในการประเมินคุณภาพน้ำมีความสำคัญและมีความสัมพันธ์กับคุณภาพน้ำ แมลงน้ำถูกนำมาใช้ประเมินผลกระทบ ติดตามคุณภาพน้ำและตรวจวัดมลพิษทางน้ำอย่างกว้างขวางเนื่องจาก แมลงน้ำส่วนมากมีอายุขัยยาวนานประมาณ 1 ปี ดังนั้น จึงสามารถแสดงผลลัพธ์ของการสะสม (cumulating) ของสภาพแวดล้อมเป็นระยะเวลายาวนานได้ โดยวิธีการเก็บตัวอย่างมีการพัฒนาจนได้เป็นวิธีการมาตรฐาน และความรู้ด้านอนุกรมวิธานมีการศึกษาเป็นอย่างดีแล้วในแมลงหลายกลุ่ม แมลงน้ำบางชนิดมีความไวต้อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมและมีการฟื้นตัวช้าทำให้ยังสามารถเห็นร่องรอยของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ แมลงน้ำ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเชื่อมโยงระหว่างผลผลิตปฐมภูมิกับลำดับขั้นการกินอาหารที่สูงขึ้นในสายใยอาหาร วิธีการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (นฤมล แสงประดับ, 2541)

สาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae)

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีการปรับตัวให้มีการดำรงชีวิตที่ดีขึ้น แต่ละสปีชีส์มีวิวัฒนาการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินจัดได้ว่าเป็นสิ่งมีชีวิตแรกที่ถือกำเนิดขึ้นบนโลกในช่วงระยะที่พื้นผิวโลกมีภูเขาไฟระเบิดอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นมีวิวัฒนาการไปตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้แต่ละสปีชีส์มีความแตกต่างกัน มีผลให้สาหร่ายมีความแตกต่างทางชีวภาพสูงมาก (ยุวดี พีรพรพิศาล, 2542) สาหร่ายน้ำจืดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายทั้งในด้านการแพทย์ การเกษตร เป็นต้น สาหร่ายมีความสำคัญทางนิเวศวิทยาโดยสาหร่ายเป็นผู้ผลิตเบื้องต้นที่สำคัญในห่วงโซ่อาหาร มีบทบาทสำคัญในการแลกเปลี่ยนทางเคมีระหว่างบรรยากาศกับน้ำ สาหร่ายน้ำจืดจึงสามารถใช้เป็นดัชนีแสดงสภาพของน้ำดี และน้ำเสียได้ ทั้งนี้เพราะสาหร่ายบางสกุลที่เจริญเติบโตและสามารถทนทานได้ในแหล่งน้ำที่มีสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน โดยความต้องการสารอาหารของสาหร่ายแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน (ทัตพร คุณประดิษฐ์, 2542) เราจะเห็นได้ว่า ด้วยปัจจัยต่างๆ เกี่ยวกับสาหร่ายที่กล่าวไว้ข้างต้น ความหลากหลายทางชีวภาพของสาหร่ายขนาดใหญ่จึงสามารถบ่งชี้คุณภาพน้ำในแต่ละแหล่งได้เป็นอย่างดี สาหร่ายมีความสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ โดยทำหน้าที่เป็นผู้ผลิตเบื้องต้นที่สำคัญในห่วงโซ่อาหารและผลิตออกซิเจนสู่แหล่งน้ำในกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้ยังเป็นอาหารคนและอาหารสัตว์ สามารถใช้บำบัดน้ำเสียและเป็นดัชนีชีวภาพบ่งชี้คุณภาพน้ำได้ในระบบนิเวศน้ำไหล สาหร่ายที่เจริญได้ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเกาะติดกับพื้นท้องน้ำ ได้แก่ สาหร่ายขนาด

ใหญ่และไดอะตอมพื้นท้องน้ำ ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความหลากหลายทางชีวภาพสูง สาหร่ายแต่ละชนิดในกลุ่มดังกล่าวสามารถเจริญได้ในแหล่งน้ำที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันไป ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นสิ่งมีชีวิตที่ใช้ติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำได้ สาหร่ายในกลุ่มที่กล่าวมามีการศึกษากันน้อยมากในประเทศไทยเมื่อเทียบกับต่างประเทศ (สุทธวรรณ สุพรรณ และ ยุวดี พีรพรพิศาล, 2546) และจากบทความในบทความด้านสิ่งแวดล้อมของหนังสือพิมพ์มติชน 16 มกราคม พุทธศักราช 2542 หน้า 7 ได้เสนอข้อมูลเกี่ยวกับการใช้สิ่งมีชีวิตในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำว่า ปัจจุบันประเทศในแถบยุโรปมีวิธีการดูแลและปกป้องแหล่งน้ำโดยควบคุมและตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยสิ่งมีชีวิต ซึ่งสามารถติดตามสภาพน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีการพัฒนาเครื่องมือต่างๆ ออกมาจำนวนมาก เช่น อาศัยความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของปลา สัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในน้ำ และสาหร่าย เป็นต้น เมื่อประสานประสิทธิภาพของเครื่องมือตรวจสอบเหล่านี้กับเทคโนโลยีการประมวลผล และคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงยิ่งทำให้ได้ผลเชื่อถือได้

แนวคิดเรื่องสปีชีส์บ่งชี้ (indicator species)

แนวคิดรวบยอดเกี่ยวกับการตรวจวัดคุณภาพน้ำในลำธารและแม่น้ำโดยใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพ (bioindicator) ถือกำเนิดขึ้นในประเทศเยอรมันนี เมื่อปีคริสต์ศักราช 1909 โดยนักธรรมชาติวิทยา คือ Kolkwitz และ Marsson (Kolkwitz and Marsson, 1909) ได้พัฒนาแนวคิดเรื่องระบบซาโปรเบียน (saprobien system) ขึ้น สำหรับการระบุมลพิษจากสารอินทรีย์ในแม่น้ำซึ่งส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำลดลง ท่านได้ทำบัญชีรายชื่อสิ่งมีชีวิตที่เป็นตัวบ่งชี้กลุ่มต่างๆ เช่น จุลินทรีย์สาหร่าย เห็ดรา โปรโตซัว และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบปรากฏในน้ำที่มีระดับมลพิษแตกต่างกัน สำหรับสัตว์ไม่มีกระดูสันหลังหน้าดินนั้น ตัวอ่อนแมลงชีปะขาวและตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำถูกจัดจำแนกไว้ในดัชนีสัตว์ที่ไม่ทนทานต่อภาวะออกซิเจนต่ำ (intolerant index)ซึ่งพบสัตว์เหล่านี้อาศัยอยู่ในน้ำคุณภาพดี หนอนริ้นน้ำจืดหรือที่มักเรียกกันว่าหนอนแดง (chironomids) และไส้เดือนน้ำจืด (tubifex) ถูกจัดไว้ในกลุ่มสัตว์ที่มีความทนทานต่อภาวะออกซิเจนต่ำ (tolerant index) ซึ่งพบสัตว์ทั้งสองประเภทหลังนี้ในแหล่งน้ำที่มีมลพิษ วิธีการของแนวคิดนี้ได้ถูกนำไปใช้และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางจากหลายประเทศในทวีปยุโรป แต่ได้รับความสนใจน้อยในทวีปอเมริกาเหนือ เนื่องจากสะท้อนเพียงมลพิษจากของเสียอินทรีย์ไม่ใช่ของเสียจากสารพิษซึ่งเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดปัญหาในสหรัฐอเมริกา (Cairns and Pratt, 1993) ระบบซาโปรเบียนได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับใช้ประเมินคุณภาพน้ำในยุโรปตอนกลางหลายประเทศ (Roback, 1974 อ้างถึงใน Cairns and Pratt, 1993) ไม่เห็นด้วยกับแนวคิดนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรณีของแมลงน้ำเขาได้ให้เหตุผลว่าการปรากฏตัวและไม่ปรากฏตัวของแมลงน้ำในแหล่งน้ำหนึ่งๆ อาจไม่ขึ้นกับคุณภาพน้ำเพียงอย่างเดียว แต่อาจขึ้นกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความสามารถในการเข้ามาครอบครองพื้นที่ของแมลงชนิดนั้น ฤดูกาล หรือ กระแสน้ำ หรือลักษณะ

พื้นที่อาศัยเป็นต้น นอกจากนี้แมลงน้ำบางชนิดมีความทนทานต่อมลพิษในช่วงที่กว้างมากทฤษฎีพลวัตโครงสร้างชุมชนของ (MacArthur and Wilson , 1967) ซึ่งสามารถช่วยอธิบายเกี่ยวกับอัตราการหมุนเวียนของสิ่งมีชีวิตซึ่งแต่ละชนิดซึ่งแต่ละชนิดอาจหายไปบางช่วงเวลา และมีแนวคิดในการพิจารณาสิ่งมีชีวิตในภาพรวม คือ การพิจารณาทั้งชุมชนเกิดขึ้น ระบบซาโปรเบียนได้รับความสนใจลดน้อยลงและหลายประเทศในยุโรปได้เลิกใช้ไปเมื่อประมาณกลางปี คริสต์ศักราช 1970 (Metcalfe, 1989)

คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำทางกายภาพ

คุณภาพน้ำทางกายภาพ หมายถึง ดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปรโดยเกิดจากลักษณะทางกายภาพที่สามารถตรวจวัดได้ ซึ่งมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในทางตรงและทางอ้อม (นิรันดร์ ภักดีไพร, 2549) ซึ่งมีปัจจัยหลักที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำดังนี้

1. สี (color) สีของน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสิ่งที่อยู่ในน้ำ ทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต สีของน้ำซึ่งอาจบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อม และสารแขวนลอย ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำนั้น หรืออาจใช้ในการประเมินกำลังผลิตอย่างประมาณได้ (นิรันดร์ ภักดีไพร, 2549)

2. ความขุ่น (turbidity) ความขุ่นของน้ำ หมายถึง ความสามารถของน้ำที่ดูดซับปริมาณแสงที่ส่องผ่านไว้ได้ความขุ่นของน้ำแสดงถึงความสามารถของสารแขวนลอยในน้ำที่จะขัดขวางสะท้อนแสงและดูดซับแสงเอาไว้ สิ่งที่ทำให้น้ำขุ่น ได้แก่ อินทรีย์และอนินทรีย์สารในน้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิต เล็กๆ โดยปรากฏอยู่ในลักษณะสารแขวนลอย เช่น แบคทีเรีย แพลงก์ตอน อนุภาคของดินทราย เป็นต้น (นิรันดร์ ภักดีไพร, 2549)

3. อุณหภูมิ (temperature) อุณหภูมิของน้ำถือเป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่มีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำปกติอุณหภูมิของน้ำธรรมชาติจะผันแปรตามอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับฤดูกาล ระดับความสูง และสภาพภูมิประเทศ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับ ความเข้มของแสงจากดวงอาทิตย์ กระแสลม ความลึก ปริมาณสารแขวนลอยหรือความขุ่น และสภาพแวดล้อมทั่วๆ ไปของแหล่งน้ำในประเทศไทย อุณหภูมิของน้ำในธรรมชาติจะผันแปรอยู่ในช่วงระหว่าง 23 ถึง 32 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีค่าต่ำลงหรือสูงขึ้นตามฤดูกาลและพื้นที่ โดยจะมีค่าต่ำสุดในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สูงขึ้นในภาคกลาง และสูงสุดในภาคใต้ (ศิริเพ็ญ ตรัยไชยพร, 2543) อุณหภูมิเป็นองค์ประกอบทางกายภาพ ที่สำคัญยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาของสิ่งมีชีวิตถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของวงจรชีวิตก็ย่อมเปลี่ยนแปลงไปด้วย สิ่งมีชีวิตทั้งหลายทีมีอยู่ในชีวภาคภายในบริเวณใดๆ สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิ

ตั้งแต่ 200 ถึง 100 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิต แต่ส่วนใหญ่จะมีชีวิตรอด และดำเนินกิจกรรมได้ในช่วงแคบกว่าระดับอุณหภูมิที่กล่าวถึง โดย สุมาลี พิตรากูล (2532) ได้กล่าวถึงอุณหภูมิน้ำตามธรรมชาติจะแปรผันไปตามสภาพภูมิอากาศ ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งเส้นรุ้งตำแหน่งความสูง ฤดูกาล สภาพภูมิประเทศนั้นๆ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิยังขึ้นอยู่กับต้นกำเนิดของแหล่งน้ำ การระบายน้ำ ความเข้มข้นของแสง การขุ่นของน้ำ และสภาพแวดล้อมข้างตัวด้วย อุณหภูมิของน้ำมีอิทธิพลต่อปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำ และไปมีผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต คือ อุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำจะลดลงทำให้สัตว์น้ำขาดออกซิเจนถ้าอุณหภูมิสูงมาก (ผกาวรรณ จุฬามณี, 2534 อ้างใน EPA ในปี 1973)

4. ความเร็วกระแสน้ำ (velocity) ความเร็วกระแสน้ำ หมายถึง การไหลของน้ำที่คิดเป็นระยะทางที่วัดได้ต่อเวลาความเร็วของกระแสน้ำในลำธารทั่วไปมักไม่เกิน 50 เซนติเมตรต่อวินาที ถ้าความเร็วของกระแสน้ำสูงกว่านี้จะมีผลโดยตรงต่อสภาพของพื้นน้ำ คือ พื้นน้ำที่มีกระแสน้ำไหลแรงมากจะต้องแข็ง เช่น เป็นหิน หรือกรวดหยาบ และถ้าความเร็วของกระแสน้ำต่ำกว่า 50 เซนติเมตรต่อวินาที จะเป็นโอกาสให้มีการตกตะกอนของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก จนในที่สุดถึงท้องน้ำจะมีโคลนและกระแสน้ำ ยังเป็นส่วนช่วยย้ายธาตุอาหารตลอดจนของเสียจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ ผู้บริโภคอันดับแรกในลำธาร จึงมักเป็นสัตว์ที่กินสารอินทรีย์ เน่าเปื่อยและสัตว์อื่นๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำที่มีแหล่งน้ำที่มีกระแสน้ำมักมีการปรับตัวให้เหมาะสมดังนี้เช่น การมีลำพังเพรียวเพื่อลดความต้านทานกับกระแสน้ำ เช่น ปลามักมีลำตัวยาวและเพรียว มีการปรับตัวให้ลำตัวแบนเพื่อที่จะเกาะติดกับพื้นท้องน้ำได้แนบสนิท และลดความเสียดทานของกระแสน้ำ ให้มีแรงดูดบนส่วนต่างๆ ของร่างกายเพื่อใช้ในการยึดเกาะให้ดีขึ้นเช่น หอย พลานาเรีย (นิตยา เลาหะจินดา, 2528) นอกจากนี้ความเร็วกระแสน้ำยังมีผลต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเนื่องจากการเกิดกระแสน้ำวนและเคลื่อนที่ตลอดจนการปะทะกับฝั่ง ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวน้ำในการที่จะรับออกซิเจนจากบรรยากาศสู่ผิวน้ำได้มากกว่าน้ำนิ่ง และขณะเดียวกันเป็นตัวการที่พัดพาเอาตะกอนมาถับถมรวมกันทำให้เกิดความขุ่นของน้ำซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพของแหล่งน้ำและมีผลต่อการแพร่กระจายของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (สุมาลี พิตรากูล, 2532)

คุณภาพของน้ำทางเคมี

คุณภาพของน้ำทางเคมีหมายถึง ดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปรอันเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่สามารถตรวจวัดได้และมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทั้งทางตรงและทางอ้อม เช่น ความเป็นกรดเป็นด่าง ความเป็นกรด ความเป็นด่าง ความกระด้าง ปริมาณออกซิเจนละลาย ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ความเค็ม โลหะหนักสารพิษเป็นต้น (นิรันดร์ ภักดีไพร, 2549)

1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) เป็นการวัดค่าความเข้มข้น (intensity) ของสภาวะความเป็นกรดด่าง หรือการวัดความสามารถความเป็นกรดหรือด่าง เรียกกันทั่วไปว่า "pH" เป็นหน่วยวัดที่แสดงให้ทราบว่าน้ำหรือสารละลายนั้นมีคุณสมบัติเป็นกรด หรือด่าง ค่าที่แสดงไว้คือปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออนที่มีอยู่ในน้ำ หรือสารละลาย ระดับความเป็นกรดเป็นด่างที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-14 ซึ่งค่ากึ่งกลางคือ "7" แสดงถึงความเป็นกลางของสารละลายนั้นๆ หากมีค่า pH < 7 แสดงว่าสารละลายนั้นมีสภาพเป็นกรด และถ้าค่า pH > 7 ก็แสดงว่าสารละลายนั้นมีสภาพเป็นด่าง แหล่งน้ำธรรมชาติทั่วไป มีค่า pH ระหว่าง 5 – 9 ซึ่งความแตกต่างนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศ และสภาพแวดล้อมหลายประการ เช่น ลักษณะพื้นดิน และหิน ปริมาณน้ำฝน ตลอดจนการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปกติพบอยู่เสมอว่าระดับ pH ของน้ำผันแปรไปตามคุณสมบัติของดิน ดังนั้นในบริเวณที่ดินมีสภาพเป็นกรดก็จะทำให้น้ำมีสภาพเป็นกรดตามไปด้วย (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2522) นอกจากนี้ สิ่งมีชีวิตทั้งในดินและน้ำเช่น จุลินทรีย์แพลงก์ตอนพืช และแพลงก์ตอนสัตว์ สามารถทำให้ค่า pH ของน้ำมีการเปลี่ยนแปลง ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง, 2540)

2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen) ออกซิเจนเป็นปัจจัยที่นับว่ามีความสำคัญมากที่สุด ในการดำรงชีวิตเนื่องจากสิ่งมีชีวิตทุกชนิด จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในขบวนการต่างๆ ภายในร่างกาย เพื่อการเจริญเติบโตสัตว์น้ำก็เช่นกัน ต้องการใช้ออกซิเจนโดยเฉพาะเพื่อการหายใจ การย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเพื่อก่อให้เกิดพลังงานเรียกโดยขบวนการที่ต้องการออกซิเจนนี้ว่า Aerobic process (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2522 และ สุมาลี พิตราภูล, 2532) ความสามารถในการละลายน้ำของแก๊สออกซิเจนจำกัด ขึ้นอยู่กับความกดดันของบรรยากาศ อุณหภูมิของน้ำ และปริมาณเกลือแร่ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำความสามารถในการละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำจืด อยู่ในระหว่าง 14.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียสและ 6.8 มิลลิกรัมต่อลิตรที่ 35 องศาเซลเซียส ในสภาพความกดดัน 1 บรรยากาศ ดังนั้น เมื่อความกดดันของบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไป เช่น ในระดับความสูงต่างๆ จะทำให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนเปลี่ยนแปลงไปด้วย (ชนินทร์ แสงรุ่งเรือง, 2540)

3. Biochemical Oxygen Demand (BOD) คือการเน่าสลายของอินทรียวัตถุต่างๆ โดยแบคทีเรีย ต้องการใช้ออกซิเจนเช่นเดียวกันหรือ ที่เรียกว่า Biochemical Oxygen Demand (BOD) ซึ่งใช้เป็นดัชนีในการแสดงว่าคุณสมบัติหรือคุณภาพน้ำแห่งนั้นมีความเน่าเสียมากน้อยเพียงใด กรณีปริมาณความต้องการออกซิเจนมีสูงมาก แสดงว่าในน้ำมีอินทรียวัตถุที่เน่าสลายอยู่มาก และถูกแบคทีเรียย่อยสลาย ซึ่งจะใช้ออกซิเจนในการนี้เป็นจำนวนมาก จึงอาจทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำขาดแคลนได้ (รุ่งนภา ทากัน, 2549)

4. ค่าการนำไฟฟ้า (electric conductivity) ค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดความสามารถของน้ำที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้น ชนิดของอิออนที่มีอยู่ในน้ำและอุณหภูมิ สารประกอบอินทรีย์ เช่น กรดอนินทรีย์ เบส และเกลือเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เพราะเมื่ออยู่ในน้ำสามารถแตกตัวให้อิออนที่นำไฟฟ้าได้ตรงข้ามกับสารอินทรีย์ เช่น น้ำตาล sucrose, benzene (Elliott et al., 1977) สารเหล่านี้ไม่แตกตัว ในน้ำจึงไม่นำไฟฟ้าแต่อย่างไรก็ตาม ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำไม่ได้บอกให้ทราบถึงชนิดของสารในน้ำ บอกแต่เพียงว่ามีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอิออนที่ละลายในน้ำเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าถ้าการนำไฟฟ้าสูงแสดงให้เห็นว่าสารอนินทรีย์หรือสารที่มีประจุไฟฟ้าในน้ำลดลง ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับค่า TDS และค่า Hardness ถ้าการนำไฟฟ้าลดลง ค่า TDS และ Hardness ลดลงด้วย (กรรณิการ์ สิริสิงห์, 2522) ซึ่งในแหล่งน้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดี จะมีค่าการนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 150-300 µS/cm ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่า 300 µS/cm แสดงว่าน้ำนั้นถือว่ามีการปนเปื้อนมาก (ชาญณรงค์ แก้วเล็ก, 2532)

5. ปริมาณของแข็งละลายน้ำ (total dissolved solid) คือ ความสามารถของของแข็งที่ละลายน้ำมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ในแม่น้ำและลำธารแต่ละแหล่งน้ำจะมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศของแหล่งน้ำนั้นๆ ในแหล่งน้ำไหลมีปัจจัยหลายประการที่สัมพันธ์และเป็นตัวกำหนดความสามารถในการละลายของของแข็งในน้ำ เช่น pH, CO_2, H_2CO_3, Ca^{2+} และ Mg^{2+} เป็นต้น (Odum, 1967)

6. แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (ammonia nitrogen) แอมโมเนียที่ละลายอยู่ในน้ำอาจอยู่ในรูปของแอมโมเนียอิสระมีสถานะเป็นก๊าซหรือ อิออนแอมโมเนียม โดยปกติแล้วเมื่อน้ำมีค่าพีเอชเป็นกลางแอมโมเนียจะอยู่ในรูปอิออนมากกว่า แต่ถ้าหากน้ำมีค่าพีเอชสูง ก๊าซแอมโมเนียจะพบมากขึ้น ก๊าซแอมโมเนียนี้มีพิษต่อจุลินทรีย์ปลาและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดเล็ก โดยพบว่าหากมีความเข้มข้นสูงจะสงผลให้ค่าพีเอชของน้ำสูงตามไปด้วย (Goldman and Horne, 1983) และพบว่าแพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) และพืชน้ำบางชนิดมีความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียได้ดี แต่สัตว์น้ำนั้นขับสารประกอบแอมโมเนียออกจากร่างกายได้หากมีปริมาณน้อย

7. ไนเตรต-ไนโตรเจน (nitrate nitrogen) ไนเตรตเกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตปล่อยของเสียที่มีสารประกอบไนโตรเจนออกมาเมื่อสิ่งมีชีวิตตายลง โปรตีนภายในสิ่งมีชีวิตจะถูกย่อยสลายเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ถ้ามีปริมาณมากเกินความต้องการ แอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์โดยแบคทีเรียไปเป็นไนไตรท์และไนเตรตต่อไป นอกจากไนเตรตเข้าสู่แหล่งน้ำจากการเน่าเปื่อยของสิ่งมีชีวิตแล้ว ยังมาจากปุ๋ยเคมีที่ใช้ทางการเกษตรอีกด้วย (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2538)

8. ฟอสเฟตที่ละลายในน้ำ (phosphate phosphorus) ฟอสฟอรัสพบได้ทั้งในธรรมชาติและน้ำเสียในรูปฟอสเฟต ซึ่งสามารถจำแนกฟอสฟอรัสออกเป็น 3 ประเภท คือ ออร์โธฟอสเฟต

คอนเดนซ์ฟอสเฟต และสารอินทรีย์ฟอสเฟตซึ่งออร์โธฟอสเฟต และคอนเดนซ์ฟอสเฟตนั้นมักพบสารละลายน้ำรวมเรียกว่า Soluble Reactive Phosphorus ส่วนสารอินทรีย์ฟอสเฟตนั้นเมื่ออยู่ในน้ำจะอยู่ในรูปสารละลายเชิงซ้อน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2538) โดยทั่วไปแล้วฟอสเฟตจะอยู่ในรูปที่ละลายน้ำเข้ามาปะปนในน้ำธรรมชาติและน้ำโสโครก โดยมาจากน้ำที่ใช้จากการซักฟอกจากอุตสาหกรรมครัวเรือน หรือปุ๋ยที่ใช้จากการเกษตรแล้วถูกชะล้างมาตามน้ำฝน (Croft, 1986)

การประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ AARL-PC Score (Applied Algae Research Laboratory, Physical and Chemical)

การประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ AARL-PC Score (Applied Algae Research Laboratory, Physical and Chemical) การใช้คุณสมบัติของน้ำทางกายภาพ เคมีบางประการประเมินคุณภาพน้ำ ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่มีความแตกต่างกันในแต่ละแหล่งน้ำนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกันสามารถประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้ (Peerapornpisal et, al., 2007) โดยมีวิธีการหรือการประเมินค่าต่างๆ ตามภาคผนวก ค

คุณภาพน้ำทางชีวภาพ

คุณภาพน้ำทางชีวภาพ หมายถึง ดัชนีคุณภาพน้ำที่ผันแปรเนื่องจากสิ่งมีชีวิตในน้ำอันมีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทั้งทางตรงและอ้อม เช่น แพลงก์ตอนพืชและสัตว์ (plankton) แบคทีเรีย (bacteria) พืชน้ำ (aquatic plants) เชื้อโรค (pathogens) ฯลฯ จะเห็นได้ว่าดัชนีคุณภาพน้ำทั้ง 3 ลักษณะมีดัชนีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งล้วนเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตและกระบวนการต่างๆ ในน้ำทั้งสิ้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะดัชนีคุณภาพน้ำ ที่สำคัญและมีผลกระทบต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำบางลักษณะเท่านั้น (นิรันดร์ ภักดีไพร, 2549)

ค่า Biological Montioring Work Party (BMWP score) เป็นตัวดัชนีที่เริ่มขึ้นในประเทศอังกฤษ โดย National Water council ในปีคริสต์ศักราช 1981 มีการจำแนกตัวอย่างในระดับวงศ์ มีคะแนนให้ตั้งแต่ 1 คะแนนไปจนถึง 10 คะแนน หาค่า BMWP score ที่ได้ในแต่ละจุดหารด้วยจำนวนวงศ์ทั้งหมดในจุดหารด้วยจำนวนวงศ์ทั้งหมดที่พบในจุดนั้นๆ ที่ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ วงศ์ที่พบทั้งหมดอาจไม่ได้จัดกลุ่มที่ใช้เป็นอินดิเคเตอร์ เนื่องจากเป็นพวกที่ทนทานต่อสิ่งแวดล้อมในช่วงกว้างจะได้เป็นค่า ASPT (Average Score per taxa) ซึ่งมีค่าไม่เกิน 10 BMWP score เป็นวิธีที่ค่อนข้างไวในการตรวจสอบสิ่งแวดล้อมด้วยวิธีการทางชีววิทยา นอกจากนี้ดัชนีชนิดนี้มีประโยชน์และใช้แพร่หลายเนื่องจากสามารถปรับปรุงใช้ได้ในพื้นที่มีความแตกต่างของสภาพภูมิศาสตร์ในแต่ละแห่ง เช่น ในเขตร้อนมีดัชนีที่ได้รับการปรับปรุงดัชนีนี้เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ทั้งด้านการจัดการกลุ่มและการให้คะแนนสิ่งมีชีวิตแต่ละวงศ์ และคะแนน BMWP ถูกดัดแปลงและนำมาใช้กับหลายประเทศนอกทวีปยุโรป ตัวอย่างเช่น ประเทศออสเตรเลีย (Campbell, 1982 ; Chessman, 1995)

ทวีปเอเชีย เช่น ประเทศอินเดีย (de Zwartand Trivedi, 1994) ทวีปแอฟริกา (Chutter, 1972) และในประเทศไทย (Mustow, 1997 และ นฤมล, 2541) สำหรับประเทศ ออสเตรเลีย พบว่ามีสัตว์หลายวงศ์ที่ไม่มีในรายการของ BMWP และสัตว์หลายรายการใน BMWP ไม่พบประเทศออสเตรเลีย ดังนั้น จึงได้มีการคิดรายชื่อขึ้นใหม่สำหรับใช้ในประเทศออสเตรเลียโดยเฉพาะ เรียกว่า Stream Invertebrate Grade Number Average –Level หรือ SIGNAL (Chessman, 2003)

การใช้สิ่งมีชีวิตประเมินคุณภาพน้ำโดย LRL-AO Scoreการประยุกต์ใช้สาหร่ายขนาดใหญ่ ในการประเมินคุณภาพน้ำ โดยใช้ลำดับคะแนนอย่างง่าย ซึ่ง LRL-AO Score: (Limnological Research Laboratory Aquatic Organism) โดยห้องปฏิบัติการชลธีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (ทัตพร คุณประดิษฐ์, 2554) ได้กำหนดช่วงคะแนนระหว่าง 1 – 10 คะแนน โดยคะแนนน้อยแสดงถึงชนิดของสิ่งมีชีวิตที่บ่งชี้คุณภาพน้ำดี คะแนนช่วงกลางแสดงถึงคุณภาพน้ำปานกลาง และ คะแนนสูงบ่งชี้คุณภาพน้ำที่ไม่ดีโดยรายละเอียดของคะแนนต่างๆ ดังแสดงใน ภาคผนวก ง

การสร้าง และ พัฒนาชุดกิจกรรม

ความหมายของชุดกิจกรรม

ความหมายของชุดกิจกรรมนั้นได้มีผู้เสนอไว้หลายประเด็นซึ่งมีความใกล้เคียงกันโดย สมศักดิ์ พาหะมาก (2550) ได้กล่าวถึงชุดกิจกรรมไว้ดังนี้ ชุดกิจกรรมหรือชุดการเรียน มาจากคำว่า Instruction Package หรือ learning Package หรือ Instruction Kits เดิมมักใช้คำว่า ชุดการสอน เพราะเป็นสื่อที่ครูนำมาประกอบการสอน แต่ต่อมาแนวคิดในการยึดนักเรียนเป็นศูนย์กลางการเรียนได้เข้ามามีอิทธิผลมากขึ้น จึงมีผู้นิยมเรียกชุดการสอนเป็นชุดการเรียนมากขึ้น บางคนมักจะเรียกรวมกันว่าเป็นชุดการเรียนการสอน ทั้งนี้ ประพฤติ ศีลพิพัฒน์ (2540) ได้ให้ความหมายไว้ว่า ชุดการเรียน หรือชุดกิจกรรมเป็นสื่อที่ช่วยให้นักเรียนสามารถเรียนได้ด้วยตัวเอง มีการจัดสื่อไว้ อย่างเป็นระบบช่วยให้นักเรียนเกิดความสนใจตลอดเวลา ทำให้เกิดทักษะในการแสวงหาความรู้ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการใช้ชุดกิจกรรมของ วัฒนาพร ระงับทุกข์ (2542) ซึ่งให้ความหมายไว้ว่า ชุดการเรียนเป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่ได้ออกแบบและจัดอย่างมีระบบ ประกอบด้วย จุดมุ่งหมาย เนื้อหา และวัสดุอุปกรณ์ โดยกิจกรรมต่างๆ ดังกล่าว ได้รับการรวบรวมไว้เป็นระเบียบในกล่อง เพื่อเตรียมไว้ให้ผู้เรียนได้ศึกษาจากประสบการณ์ทั้งหมด

ชุดกิจกรรม เป็นโปรแกรมทางการสอนทุกอย่างที่จัดไว้โดยเฉพาะ มีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอน อุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียน คู่มือครูเนื้อหา แบบทดสอบ ข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีการกำหนดจุดมุ่งหมายของการเรียนไว้อย่างชัดเจนชุดกิจกรรมนี้ครูเป็นผู้จัดให้นักเรียนแต่ละคนได้ศึกษาและ

ฝึกฝนตนเอง โดยครูเป็นผู้คอยแนะนำเท่านั้น จากการศึกษาความหมายของชุดการสอน ชุดการเรียนสำเร็จรูป ชุดการสอนรายบุคคล ชุดการเรียนด้วยตนเอง หรือชุดกิจกรรมที่กล่าวมา สรุปได้ว่า ชุดกิจกรรม เรื่องการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ หมายถึง สื่อการเรียนการสอน ประเภทสิ่งพิมพ์และกิจกรรมที่เน้นให้ผู้เรียนทำกิจกรรม ด้วยกระบวนการกลุ่ม โดยจัดเป็นหน่วยการเรียน แต่ละหน่วยประกอบด้วย6 องค์ประกอบ คือ ชื่อชุดกิจกรรม คำชี้แจงประกอบชุดกิจกรรม จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา สาระ และสื่อ การเรียน กิจกรรม และการประเมินผล (Good, 1973)

ประเภทของชุดกิจกรรม

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ (2528) ได้จำแนกประเภทชุดการเรียนการสอนและแนวคิดในการผลิตชุดการเรียนการสอนแบ่งออกเป็นชุด และแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 ชุดการเรียนการสอนประกอบคำบรรยาย เป็นชุดการเรียนการสอนที่มุ่งขยายเนื้อหาสาระสอนแบบบรรยายให้ชัดเจนขึ้น โดยกำหนดกิจกรรม และสื่อการสอนให้ครูใช้ประกอบการบรรยายบางครั้งเรียกว่า "ชุดการสอนสำหรับครู" ชุดการเรียนการสอนจะมีเนื้อหาวิชาเพียงหน่วยเดียวและใช้กับผู้เรียนทั้งชั้น โดยแบ่งหัวข้อที่จะบรรยายและกิจกรรมไว้ ตามลำดับขั้น ทั้งนี้เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้สอน และเพื่อเปลี่ยนบทบาทการพูดของครูให้น้อยลงเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในการจัดกิจกรรมการเรียนมากยิ่งขึ้น ชุดการเรียนการสอนประกอบการบรรยายนี้ นิยมใช้กับการฝึกอบรมและการสอนในระดับอุดมศึกษา สื่อการสอนที่ใช้อาจเป็นแผ่นคำสอน แผนภูมิ รูปภาพ ภาพยนตร์ โทรทัศน์ หรือกิจกรรมกลุ่ม เป็นต้น สื่อการสอนชุดการเรียนการสอนมักจะบรรจุในกล่องที่มีขนาดความเหมาะสม แต่ถ้าเป็นวัสดุอุปกรณ์ที่มีราคาแพง หรือขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป ตลอดจนเสียหายง่าย หรือเป็นสิ่งมีชีวิตก็จะไม่บรรจุในกล่อง แต่จะกำหนดไว้ในคู่มือครู เพื่อจัดเตรียมก่อนสอน

ประเภทที่ 2 ชุดการเรียนการสอนสำหรับกิจกรรมกลุ่ม ชุดการเรียนการสอนนี้มุ่งเน้นที่ตัวผู้เรียน ได้ประกอบกิจกรรมร่วมกัน ครูจะเปลี่ยนบทบาทจากผู้บรรยาย เป็นผู้แนะนำช่วยเหลือผู้เรียนชุดการเรียนการสอนแบบกิจกรรมกลุ่ม อาจจัดในห้องเรียนแบบศูนย์การเรียนชุดการเรียนการสอนแต่ละชุดประกอบด้วยชุดการสอนย่อยที่มีจำนวนเท่ากับที่แบ่งไว้ในแต่ละหน่วย ในแต่ละศูนย์มีสื่อบทเรียนครบชุด ตามจำนวนผู้เรียนในศูนย์กิจกรรมนั้น ซึ่งวัดไว้ในรูปสื่อประสม อาจใช้เป็นสื่อรายบุคคลหรือทั้งกลุ่มใช้ร่วมกันก็ได้ ในขณะทำกิจกรรมการเรียนหากมีปัญหาผู้เรียนสามารถซักถามครูได้เสมอ เมื่อจบการเรียนในแต่ละศูนย์แล้ว ผู้เรียนที่จะเรียนเสริมก็สามารถศึกษาได้จากศูนย์สำรองที่จัดเตรียมไว้ โดยไม่ต้องเสียเวลาที่จะต้องรอคอยผู้อื่น

ประเภทที่ 3 ชุดการเรียนรายบุคคล เป็นชุดการเรียนการสอนที่จัดไว้ให้ผู้เรียน เรียนรู้ด้วยตนเองตามคำแนะนำที่ระบุไว้ แต่อาจมีการปรึกษากันระหว่างเรียนได้ และเมื่อสงสัยไม่เข้าใจบทเรียนตอนไหนสามารถไต่ถามครู การเรียนจากชุดการเรียนการสอนรายบุคคลนี้นิยมใช้ห้องเรียน

ที่มีลักษณะพิเศษแบ่งสัดส่วนสำหรับผู้เรียนแต่ละคน ซึ่งเรียกว่า "ห้องเรียนรายบุคคล" ชุดการเรียนรายบุคคลนี้เน้นหน่วยการสอนย่อย จึงนิยมเรียกว่า "บทเรียนโมดูล"

ประเภทที่ 4 ชุดการเรียนการสอนทางไกล เป็นชุดการเรียนการสอนสำหรับผู้เรียนอยู่ต่างถิ่นต่างเวลามุ่งสอนให้ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองโดยไม่ต้องมาเข้าชั้นเรียน ประกอบด้วยสื่อประเภทสิ่งพิมพ์ รายการวิทยุกระจายเสียง วิทยุโทรทัศน์ ภาพยนตร์ และ การสอนเสริมตามศูนย์บริการการศึกษาเช่นชุดการเรียนการสอนทางไกลของ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราชเป็นต้น

ทั้งนี้ยังมีการให้แง่มุมของประเภทชุดกิจกรรมไว้โดย สมศักดิ์ พาหะมาก (2550) ซึ่งได้สรุปประเภทของชุดกิจกรรมว่าชุดกิจกรรมจะเป็นตัวกำหนดบทบาทของครูและนักเรียนแตกต่างกันออกไปในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาชุดกิจกรรมประเภทที่ 2 ผสมผสานกันคือชุดกิจกรรมการเรียนการสอน สำหรับกิจกรรมแบ่งกลุ่ม และ ชุดกิจกรรมการเรียนการสอนสำหรับกิจกรรมกลุ่ม เพื่อต้องการให้นักเรียน ทำกิจกรรมหรือการศึกษา เพื่อแก้ไขปัญหา หรือตอบปัญหาที่พบ ที่นักเรียนเป็นผู้ลงมือ วางแผนปฏิบัติและศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง ด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ภายใต้การแนะนำ ปรึกษาช่วยเหลือ และดูแลจากคุณครูที่ปรึกษา และหรือผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อให้สามารถปฏิบัติตามแนวทางที่วางไว้ให้การทำกิจกรรมหรือการศึกษาสัมฤทธิ์ผลนอกจากนี้ชุดกิจกรรมยังส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้อย่างมีปฏิสัมพันธ์กันอีกด้วย

กรรณิการ์ ไผทฉันท์ (2541) ศิริลักษณ์ หนองเส (2545) ทิศนา แขมมณี (2543) และศศิธร มงคลทอง (2548) ได้จัดทำชุดกิจกรรมสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน ดังนี้

1. ชื่อชุดกิจกรรม หมายถึง ชื่อกิจกรรมเสริมศักยภาพการเรียนรู้ทางวิทยาศาสตร์

2. ชื่อหน่วยหมายถึงหัวข้อย่อยที่ประกอบขึ้นเป็นชุดกิจกรรมส่งเสริมศักยภาพการเรียนรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ ในแต่ละชุดกิจกรรม

3. คำชี้แจงสำหรับนักเรียนในการปฏิบัติกิจกรรมในชุดกิจกรรมหมายถึงข้อแนะนำในการเรียนรู้ด้วยตนเอง จากชุดกิจกรรมของผู้เรียน

4. สาระการเรียนรู้ หมายถึง เนื้อหารายละเอียดของหน่วยการเรียนรู้ในชุดกิจกรรม

5. ตัวบ่งชี้ในการเรียนรู้ หมายถึง การระบุพฤติกรรมการเรียนรู้ของเนื้อหาในหน่วยย่อยของชุดกิจกรรมตามที่หลักสูตรกำหนด

6. เวลาที่ใช้ หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติกิจกรรมในแต่ละหน่วย

7. กิจกรรมการเรียนรู้ในหน่วย หมายถึง การกำหนดงานที่จะให้ผู้เรียนปฏิบัติ

8. สื่อและอุปกรณ์ที่ใช้ หมายถึง วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้กับการเรียนการสอน

9. การประเมินผล หมายถึง การทดสอบความสามารถของผู้เรียน หลังจากเรียนด้วยหน่วยการเรียนในชุดกิจกรรมจากการศึกษาองค์ประกอบของชุดกิจกรรมที่กล่าวมา

ทั้งนี้ สมศักดิ์ พาหะมาก (2550) ยังได้ประยุกต์และพัฒนาชุดกิจกรรมเรื่องการอนุรักษ์ทรัพยากรน้ำ โดยมีองค์ประกอบของชุดกิจกรรม โดยมีองค์ประกอบดังนี้

1. ชื่อชุดกิจกรรม จะต้องมีความชัดเจน น่าสนใจ และบอกให้ทราบว่าลักษณะของกิจกรรมที่ต้องการเป็นอย่างไร

2. คำชี้แจงประกอบชุดกิจกรรม เป็นการกล่าวให้เห็นภาพอย่างกว้างๆเพื่อให้ผู้สอนได้เห็นภาพในการฝึกแต่ละกิจกรรม

3. จุดประสงค์การเรียนรู้ ต้องบอกจุดมุ่งหมายของกิจกรรมนั้นๆ โดยบอกพฤติกรรมที่ต้องการให้เกิดตามกิจกรรมนั้นๆ และต้องให้ผู้เรียนได้แสดงพฤติกรรมโดยที่สังเกตได้ วัดได้เป็นไปตามเกณฑ์ที่คาดหวังหลังจากผู้เรียนทำชุดกิจกรรมนั้นจบลงแล้ว

4. เนื้อหา สาระ และสื่อการเรียน ต้องมีเนื้อหาที่ครอบคลุมรายละเอียด และสอดคล้องกับกิจกรรมที่ปฏิบัติ

5. กิจกรรมต้องมีขั้นตอนและสอดคล้องกับเนื้อหาวิชาและอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สอน และกำหนดให้ผู้เรียนปฏิบัติเพื่อนำไปสู่จุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้

จากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดกิจกรรม จะเห็นได้ว่า การสร้างและพัฒนาชุดกิจกรรมนั้นมีความหลากหลายแต่มีหลักการสำคัญอยู่คือ ต้องใช้พัฒนาผู้เรียนให้เกิดความรู้ ทักษะ และเจตคติที่ดีได้ รวมถึงต้องมีการออกแบบให้สอดคล้องและเหมาะสมกับผู้เรียน สถานการณ์ และเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนเหมาะสม และสะดวก กับการนำไปใช้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยด้านการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ

ยุพิน ถือคำ (2537) ได้ทำการศึกษาการใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินในการแบ่งชั้นคุณภาพน้ำจากลำธารบนดอยอินทนนท์ และแม่น้ำปิง โดยใช้ดัชนีไบโอติก (biotic index) และซาโพรบิก (sarprobic) เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่า น้ำที่วัดได้ทั้ง 3 ฤดู มีคุณภาพใกล้เคียงกัน คุณภาพน้ำบริเวณต้นลำธารดีกว่าน้ำในช่วงล่างและค่าดัชนีซาโพรบิกในฤดูฝนสูงกว่าฤดูร้อน

อรวรรณ กฤตบุณยฤทธิ์ (2538) ศึกษาเปรียบเทียบกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ระหว่างในและนอกเขตอนุรักษ์สัตว์น้ำในนบริเวณหมู่บ้านหาดผาขน และหมู่บ้านสบยาวซึ่งได้ห้ามจับสัตว์น้ำมาเป็นระยะเวลา 2 และ 3 ปีตามลำดับ ศึกษาสัตว์ที่อาศัยตามพืชริมน้ำและสัตว์หน้าดินในสามฤดู คือ ฤดูร้อนในเดือนมีนาคม ฤดูฝนในเดือนกรกฎาคม และฤดูหนาวในเดือนธันวาคม พุทธศักราช 2538 พบว่า คุณสมบัติน้ำจำนวน ชนิด และจำนวนตัวของสัตว์ในและนอกเขตอนุรักษ์สัตว์น้ำทั้ง 2 หมู่บ้าน แตกต่างกันไม่ชัดเจนแต่จำนวนชนิดและจำนวนตัวผันแปรตามฤดูกาล และลักษณะของแหล่งอาศัยจำนวนชนิดและจำนวนตัว มากที่สุดในฤดูร้อน รองลงมาคือฤดู

หนาวและฤดูฝนตามลำดับแสดงว่าในฤดูร้อนจะมีความหลากหลายในกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมากกว่าในฤดูอื่น รองลงมาคือฤดูหนาว และพบว่าในฤดูฝนจะมีความหลากหลายของกลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังน้อยที่สุด

ศูนย์วิจัยน้ำ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2541) ได้มีการศึกษาติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทางชีววิทยาของลำธารน้ำบนอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ จากจุดเก็บตัวอย่าง 10 จุด เริ่มจากจุแรกบริเวณใต้สะพานทางขึ้นพระสถูปจนถึงแม่น้ำกลางระหว่างอำเภอจอมทองกับแม่น้ำปิงและแม่น้ำแตง จากจุดเก็บตัวอย่าง 11 จุดจากจุดเริ่มต้นสะพานปิงโค้งเชียงดาว อำเภอเชียงดาวเชียงใหม่ ผ่านอำเภอหางดง เชียงใหม่ รวมระยะทางทั้งสิ้นประมาณ 1000 กิโลเมตร โดยมีการเก็บตัวอย่าง 3 ฤดู ในปี พุทธศักราช 2533 คือ ฤดูร้อน (เดือนเมษายน) ฤดูฝน (เดือนสิงหาคม) ฤดูหนาว (เดือนธันวาคม) ผลการศึกษาคุณภาพน้ำทางชีวภาพที่ทำการตรวจสอบโดยใช้แบคทีเรีย แพลงก์ตอนพืช สัตว์เซลล์เดียว และกลุ่มสัตว์หน้าดินซึ่งจะมีรายละเอียดและเทคนิคการศึกษาที่แตกต่างกันออกไปแต่ผลการศึกษาส่วนใหญ่ โดยข้อมูลที่ได้จะสนับสนุนซึ่งกันและกัน กล่าวคือ การตรวจหาค่า MPN ของ Total Colifrom Bacteria ชนิดและจำนวนของแพลงก์ตอนพืช สัตว์เซลล์เดียว และกลุ่มสัตว์หน้าดิน สามารถนำมาตีความหมาย เป็นคุณภาพน้ำของธารน้ำอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ว่าคุณภาพน้ำทั่วไปอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี ยกเว้นบางจุดที่ไหลผ่านชุมชนและบริเวณที่มีการเกษตรกรรม ส่วนคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงช่วงต้นพบว่าอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดีถึงปานกลาง และคุณภาพจะลดต่ำลงเมื่อฝนผ่านที่เป็นชุมชนเมือง และจะดีขึ้นเล็กน้อยเมื่อออกนอกเมืองไปแล้ว

ธัญลักษณ์ เหลียวรุ่งเรือง (2541) ศึกษาการใช้กลุ่มสัตว์หน้าดินในการตัดสินคุณภาพน้ำในลำธารน้ำบริเวณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เปรียบเทียบระหว่างเดือนกันยายน กับเดือนพฤศจิกายน โดยเลือกจุดที่ศึกษาจำนวน 10 จุด ในลำธารสายต่างๆ เลือกใช้ pond net ในการเก็บตัวอย่างซึ่งใช้วิธีการทางคุณภาพดูถึงปรากฏหรือไม่ปรากฏ ของสัตว์แต่ละวงศ์ ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วย BMWP score เปรียบเทียบระหว่างของอังกฤษ และแบบที่ใช้ในเขตร้อน คือ อินเดีย และแม่น้ำปิง หาค่า ASPT นำมาหาค่า Similarily index เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนและความแตกต่างกันในแต่ละจุดที่ศึกษาแล้ววัดคุณภาพน้ำทางชีวภาพและเคมีประกอบได้ผลว่า พบกลุ่มสัตว์หน้าดินในเดือนกันยายน ทั้งหมด 27 วงศ์ มากกว่าเดือนพฤศจิกายน ที่พบกลุ่มสัตว์เพียง 16วงศ์ ค่า BMWP score ของทั้ง 3 แบบ มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ค่า ASPT ในเดือนกันยายน มากกว่าเดือนพฤศจิกายน Similarily index ทั้ง 2 เดือน พบว่า บริเวณต้นน้ำเทียบกับจุดศึกษาอื่น ๆเป็นจุดที่มีคุณภาพของน้ำดีกว่าจุดอื่น ทั้งการใช้กลุ่มสัตว์หน้าดิน เป็นตัวบางชี้และผลทางด้านกายภาพและเคมี

ในส่วนของการใช้สาหร่ายเพื่อบ่งชี้คุณภาพน้ำนั้น ทัตพร คุณประดิษฐ์ (2542) ได้ศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายขนาดใหญ่ในลำน้ำแม่สา ในเขต

อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือน เมษายน พุทธศักราช 2541 – กันยายน พุทธศักราช 2542 โดยแบ่งจุดเก็บตัวอย่างออกเป็น 5 จุดตลอดลำน้ำ พบแพลงก์ตอนพืชรวมทั้งหมด 163 สปีชีส์ ซึ่งจัดอยู่ใน 6 ดิวิชั่น คือ Cyanophyta, Chlorophyta, Bacillariophyta, Euglenophyta, Pyrrhophyta และ Cryptophyta ซึ่งแพลงก์ตอนพืชส่วนใหญ่จะเป็น diatom ชนิดที่เด่น เช่น *Fragilaria ulna (Nitzsch) Lange-Bertalot., Fragilaria capucina Desmazieres, Nitzschia dissipata (kutzing)* เป็นต้น ส่วนสาหร่ายขนาดใหญ่พบ 57 สปีชีส์ จัดอยู่ใน 4 ดิวิชั่น คือ *Cyanophyta,Cholrophyta*, Rhodophyta และ Xanthophyta ชนิดเด่นคือ *Cladophora glomerata* Kutzing, *Spirogyra spp., Stigeoclonium lubricum* (Dillw.) Kutzing, *Mougeotia scaralis Hassall* และ *Microspora floccose* West & West นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายสีแดง 4 สปีชีส์คือ *Batrachospermum macrosporum* Montague, *Batrachospermum vugum* Agardh, *Nemalionopsis shawii* Skuja และ *Compsopogon coeruleus (Balbis)* Montague ซึ่งเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ที่ยังไม่มีรายงานการพบในประเทศไทย

สุนันทา ไชยสงคราม (2543) ได้ทำการศึกษาประเภทคุณภาพน้ำโดยใช้กลุ่มสัตว์หน้าดินเป็นดัชนี จากน้ำตกผาเงิบ และบริเวณหมู่บ้านห้วยแก้ว เป็นระยะเวลา 2 เดือน พบว่า กลุ่มสัตว์หน้าดิน ในเดือนกันยายนและพฤศจิกายนของบริเวณน้ำตคผาเงิบ มีค่า BMWP score และค่า ASPT สูงกว่าบริเวณหมู่บ้านห้วยแก้วพบว่า คุณภาพน้ำบริเวณน้ำตกผาเงิบดีกว่าคุณภาพน้ำบริเวณบ้านห้วยแก้วทั้งการใช้กลุ่มสัตว์หน้าดิน ผลทางด้านกายภาพและเคมี เมื่อนำค่า ASPT มาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ปรากฏว่าคุณภาพน้ำของน้ำตกผาเงิบจัดอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำค่อนข้างดีส่วนบริเวณหมู่บ้านห้วยแก้วอยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำปานกลาง

ชุติมา หาญจวณิช (2545) ได้ศึกษาตัวอย่างสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินถูกเก็บเชิงปริมาณจาก 17 สถานีของลำน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น โดยเก็บสถานีละ 6 ซ้ำ และเก็บทั้ง 3 ฤดูกาล ระหว่างปี พุทธศักราช 2545 - พุทธศักราช 2546 พบความหลากชนิดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินทั้งหมด 3 ไฟลัม 15 อันดับ 65 วงศ์ 123 สกุล และ 123 ชนิด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตัวอ่อนแมลงน้ำ เมื่อประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้วยตัวแปรชีวภาพ (metric) พบว่าจำนวนชนิดทั้งหมดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินมีค่าผันแปรในแต่ละฤดูกาล แต่ละปี และลดลงตามระยะทาง โดยมีแนวโน้มลดลงที่ช่วงโรงงานกระดาษ ช่วงโรงงาน และช่วงชุมชน จำนวนชนิดและร้อยละของแมลงน้ำกลุ่มแมลงชีปะขาว (อันดับ Ephemeroptera, E) และแมลงหนอนปลอกน้ำ (อันดับ Trichoptera, T) มีค่าต่ำลงที่ช่วงโรงงานกระดาษ ช่วงที่มีการเลี้ยงปลา ช่วงโรงงานและชุมชน ช่วงหลังผ่านโรงงานและชุมชน และมีค่าสูงที่ช่วงท้ายเขื่อน ช่วงก่อนโรงงานและชุมชน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในช่วงเก็บตัวอย่างเดือนพฤศจิกายน พุทธศักราช 2545 เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลโดยการจัดกลุ่มและจัดอันดับเชื่อมโยงกับคุณภาพน้ำโดยใช้ Canonical Correspondence Analysis พบว่าปี พุทธศักราช 2545

โครงสร้างชุมชนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่พบบริเวณช่วงโรงงานกระดาษ ช่วงโรงงานและชุมชน ช่วงหลังผ่านโรงงานและชุมชนถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันและแยกจากกลุ่มสถานีอื่นที่ความแตกต่างกันประมาณร้อยละ 40 และพบว่าค่าบีโอดีมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับแกน ($r>0.05$) โดยค่าบีโอดีที่ช่วงโรงงานกระดาษ ช่วงหลังผ่านโรงงานและชุมชนมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนปี พุทธศักราช 2546 โครงสร้างชุมชนของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินที่ช่วงโรงงานกระดาษ ช่วงก่อนโรงงานและชุมชน ช่วงโรงงานและชุมชน ช่วงหลังผ่านโรงงานและชุมชน ถูกจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ผลการวิเคราะห์การจัดอันดับด้วย CCA พบว่าสีของน้ำมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับแกน ($r>0.05$) โดยสีของน้ำที่ช่วงโรงงานกระดาษ ช่วงโรงงานและชุมชน และช่วงหลังผ่านโรงงานและชุมชนมีแนวโน้มสูงขึ้นซึ่งเห็นชัดเจนในเดือนเมษายน พุทธศักราช 2546

กล้ารบ พุฒหมื่น (2548) ได้ทำการศึกษาคุณภาพน้ำโดยใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังเป็นดัชนีในการจัดแบ่งประเภทคุณภาพน้ำกวง 4 บริเวณ คือ สะพานถนน เชียงใหม่-ลำปาง สะพานบ้านศรีบุญยืนสะพานหลังฝายน้ำล้น และสะพานท่านาง ในเขตอำเภอเมืองลำพูน ในเดือนกุมภาพันธ์ จากการศึกษาพบว่ากลุ่มสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังในบริเวณสะพานถนน เชียงใหม่-ลำปาง มีจำนวนและมีคะแนน BMWP Score รวมทั้งค่า ASPT มากที่สุดรองลงมาคือบริเวณสะพานบ้านศรีบุญยืน สะพานหลังฝายน้ำล้น และสะพานท่านาง ในเขตอำเภอเมืองลำพูน ตามลำดับ จากการศึกษาแล้วสรุปว่า คุณภาพน้ำทั้ง 4 บริเวณ อยู่ในระดับปานกลาง คือเป็นแหล่งน้ำทั่วไปที่สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการอุปโภค บริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน และสามารถนำมาใช้ในการเกษตรได้ ส่วนการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพและเคมีเมื่อเปรียบเทียบตามมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินปรากฏว่า บริเวณสะพานถนน เชียงใหม่-ลำปางมีคุณภาพน้ำจัดอยู่ในประเภทที่ 3 คือ เป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ในการอุปโภค บริโภคได้ โดยผ่านการฆ่าเชื้อตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงน้ำเสียก่อน และสามรถนำมาใช้ในการเกษตรได้ส่วนบริเวณ สะพานบ้านศรีบุญยืน สะพานหลังฝายน้ำล้น และสะพานท่านาง ในเขตอำเภอเมืองลำพูนน้ำจัดอยู่ในประเภทที่ 3 คือ เป็นแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภทและสามารถใช้ในการอุปโภค บริโภคได้ โดยผ่านการฆ่าเชื้อตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงน้ำเสียก่อน และสามารถนำมาใช้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมได้

รุ่งนภา ทากัน (2549) ได้ทำการใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ประเภทพื้นท้องน้ำเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำทางชีวภาพของแม่น้ำปิง ปี พุทธศักราช 2547 – พุทธศักราช 2548 โดยเปรียบเทียบดัชนีชีวภาพ 4 แบบ คือ ASPT (th), HBI, EPT ratio และดัชนีความหลากหลาย Shannon Wiener เพื่อหาค่าดัชนีความเหมาะสมในการประเมินคุณภาพน้ำ โดยได้เก็บตัวอย่างระหว่างเดือนธันวาคม 2547ถึงเดือนธันวาคม 2548 จากทั้งหมด 15 จุดการศึกษา ควบคู่กับการศึกษาทางด้านกายภาพ และเคมีพบสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ประเภทพื้นท้องน้ำทั้งหมด 14 อันดับ 90

วงศ์ 170 ชนิดชนิดเด่นอยู่ในอันดับ Ephemeropera วงศ์ Baetidae และพบว่าจุดการศึกษาจุดที่ 1 ต้นแม่น้ำปิงใน อำเภอเชียงดาว มีจำนวนชนิดมาก ที่สุดคือ 72 ชนิด เนื่องจากเป็นจุดที่ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์น้อย วิเคราะห์ทางด้านสถิติด้วย Spearman correlation coefficient และ Principle component analysis ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีชีวภาพ และคุณภาพน้ำทางด้านกายภาพและเคมี พบว่า ASPT(th) เหมาะในการประเมินคุณภาพ แม่น้ำปิงมากที่สุด รองลงมาคือ HBI ส่วนดัชนีความหลากหลาย Shannon-Wiener และ EPT ratio มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามค่า แอมโมเนียไนโตรเจนเช่นกัน ซึ่งจากการประเมินคุณภาพน้ำด้วย ASPT(th) สรุปได้ว่าคุณภาพน้ำช่วงระหว่างเดือนธันวาคม พุทธศักราช 2547 – เดือนธันวาคน พุทธศักราช 2548 คุณภาพน้ำมีค่าระหว่างค่อนข้างดีจนถึงค่อนข้างสกปรก โดยพบว่าจุดที่ศึกษาที่ 5 สบแม่ข่า มีคุณภาพน้ำต่ำสุด

อานุภาพ เมืองปุ๊ด (2550) ศึกษาวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ พื้นท้องน้ำที่เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ บางบริเวณของแม่น้ำโขงพบ สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบนพื้นท้องน้ำทั้งหมด 2 ไฟลัม (phylum) ได้แก่ Phylum Arthopoda (สัตว์จำพวกที่มีขาเป็นข้อปล้อง) และ Phylum mollusca (หอย) ทั้งหมด 12 อันดับ (order) 53 วงศ์ (family) 71 ลักษณะ (morphological species) อันดับที่เด่นที่สุดในฤดูร้อน คือ Hemiptera (มวนน้ำ) และอันดับ Gastropoda (หอยฝาเดียว) อันดับที่เด่นที่สุดในฤดูฝน คือ Hemiptera (มวนน้ำ) ส่วนในฤดูหนาว อันดับที่เด่นที่สุดคือ Decapoda (กุ้งแม่น้ำ) และยังพบอันดับ Trichoptera ด้านค่าเฉลี่ยดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพอยู่ระหว่าง 0.0 - 2.4 โดยจุดที่มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพสูงที่สุดในทุกๆ ฤดู คือ MK4 (แม่น้ำเหือง) และจุดที่มีค่าต่ำที่สุดคือของฤดูร้อน คือ MK9 (แก่งกระเบา), ฤดูฝนMK11 (แก่งหินขัน) และ ฤดูหนาว MK12 (แก่งสะพือ) ค่า ASPT อยู่ระหว่าง 3.5 – 7.8. ซึ่งคุณภาพน้ำประเมินได้เป็น ค่อนข้างสกปรก ถึง คุณภาพค่อนข้างดี ค่า AARL-PC Score มีค่าอยู่ระหว่าง 1.4 – 2.6 ซึ่งประเมินได้เป็นคุณภาพน้ำดีเทียบเท่า oligotrophic status ถึงระดับ คุณภาพน้ำปานกลางเทียบเท่า mesotrophic status จุดที่มีระดับน้ำคุณภาพน้ำดี คือ MK10 ส่วนจุดศึกษาอื่นๆ อยู่ในระดับคุณภาพดีถึงปานกลาง และเมื่อนำข้อมูลสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังวิเคราะห์หาคุณภาพน้ำโดยใช้ BMWP Score และ ASPT พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 4 – 7.8 ซึ่งอยู่ในระดับน้ำค่อนข้างสกปรกถึงระดับน้ำค่อนข้างดี โดยจุดที่มีค่า ASPT สูงที่สุดคือ MK2 ในฤดูหนาว และจุดที่มีค่าASPT ต่ำที่สุดคือ MK2 เช่นเดียวกันแต่ในฤดูร้อน MK3 จำมีค่า ASPT ต่ำที่สุดในฤดูร้อน และฤดูหนาว MK6 จะมีค่า ASPT ต่ำที่สุด ในฤดูฝน

กิตติธร ชัยศรี (2553) ได้ศึกษาการสร้างดัชนีชีวภาพในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่ ไดอะตอมพื้นท้องน้ำ และแมลงน้ำ ในแม่น้ำลาว จังหวัดเชียงราย ทำการเก็บตัวอย่างตลอดทั้ง 3 ฤดู ตั้งแต่ เดือน ตุลาคม พุทธศักราช 2549 ถึง เดือน

391481

ตุลาคม พุทธศักราช 2550 ในจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมดรวม 8 จุดเก็บตัวอย่าง พบว่าจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 (บริเวณต้นน้ำ) มีคุณภาพน้ำดี จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 และ3 (บริเวณกลางน้ำ) มีคุณภาพน้ำปานกลาง และจุดเก็บตัวอย่างที่ 4, 5, 6, 7 และ 8 (บริเวณปลายน้ำ) มีคุณภาพน้ำปานกลางค่อนข้างเสีย พบสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้งหมด 3 ดิวิชั่น 15 จีนัส 18 สปีชีส์ สาหร่ายขนาดใหญ่ส่วนใหญ่ที่พบเป็นสาหร่ายดิวิชัน Cyanophyta ร้อยละ 50, Chlorophyta ร้อยละ 39 และRhodophyta ร้อยละ 11 ตามลำดับพบแมลงน้ำทั้งหมด 6,207 ตัว จำแนกได้ 8 ออร์เดอร์ 86 วงศ์ พบแมลงน้ำวงศ์ Corixidae มากที่สุด รองลงมาคือ Baetidae, Siphlonuridae, Chironomidae, Tricorythidae และSimulidae ตามลำดับ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้ ออร์เดอร์ Ephemeroptera ร้อยละ 17, Odonata ร้อยละ 17, Trichoptera ร้อยละ 17, Diptera ร้อยละ 14, Coleoptera ร้อยละ 13, Hemiptera ร้อยละ 13, Plecoptera ร้อยละ 8 และMegaloptera ร้อยละ 1 ตามลำดับแมลงน้ำที่จะสามารถนำมาพัฒนาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำดี ได้แก่ แมลงน้ำในอันดับ Coleoptera (ด้วงน้ำ), Ephemeroptera (แมลงชีปะขาว) และ Trichoptera (แมลงหนอนปลอกน้ำ) ส่วนแมลงน้ำที่จะสามารถนำมาพัฒนาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำเสีย ได้แก่แมลงน้ำในอันดับ Hemiptera (มวนน้ำ) และ Diptera (หนอนยุงและหนอนแมลงวัน)

จากงานวิจัยที่ได้รวบรวมไว้ข้างต้นจะเห็นได้ว่า ความหลากหลายทางชีวภาพของสิ่งมีชีวิตเช่น สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังพื้นท้องน้ำ และสาหร่ายขนาดใหญ่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ และบางกรณีอาจนำมาซึ่งการค้นพบชนิดของสิ่งมีชีวิตที่ไม่เคยมีรายงานการค้นพบในประเทศมาก่อน ตลอดจนสามารถนำข้อมูล ไปทำการสร้างเครื่องมือในการพัฒนาความรู้และกระตุ้นจิตสำนึกของเยาวชนเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนต่อไป

งานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างชุดกิจกรรม

สุขนภา สำเนียงสูง (2546) ศึกษาการพัฒนาชุดฝึกอบรม เรื่อง สิ่งแวดล้อมชุมชน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยม ศึกษาปีที่ 1การศึกษาค้นคว้ามีจุดมุ่งหมาย เพื่อ พัฒนาชุดฝึกอบรม เรื่อง สิ่งแวดล้อมชุมชน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และความตระหนักต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียน โดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2545 โรงเรียนบ้านทัพหลวง อำเภอหนองหญ้าไซ จังหวัดสุพรรณบุรี จำนวน 30 คน โดยสุ่มอย่างง่าย ใช้เวลาทดลองทั้งหมด 21 คาบ ๆ ละ 50 นาที การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และทดสอบความแตกต่างระหว่างคะแนนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบวัดความตระหนักก่อนและหลังฝึกอบรมด้วย t-test ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่าชุดฝึกอบรม เรื่อง สิ่งแวดล้อมชุมชนที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 82.17.80.43 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังฝึกอบรมสูงกว่า ก่อนผึกอปรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

และความตระหนักต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียนหลังฝึกอบรมสูงกว่าก่อนฝึกอบรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ซึ่งเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้

อิ่มทอง ปัญญา (2549) ศึกษาวิจัยการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สิ่งแวดล้อม เรื่อง ชุมชนของเรา สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี โดยการศึกษาค้นคว้า มีความมุ่งหมาย 2 ประการ คือ เพื่อพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้สิ่งแวดล้อม เรื่องชุมชนของเรา ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 และ เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ด้านความรู้ ด้านทักษะการเรียนรู้ และเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมของนักเรียน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2548 จำนวน 35 คน ที่ได้มาจากการสุ่มแบบจัดกลุ่ม (Cluster Random Samplind) เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้สิ่งแวดล้อม เรื่อง ชุมชนของเรา และ เครื่องเมือวัดผลการเรียนรู้ ด้านความรู้ ทักษะการเรียนรู้ และเจตคติต่อสิ่งแวดล้อม แบบแผนการทดลองใช้ One Group Pretest-Posttest, One Shot Case Study และ One Group Pretest – Posttest Designs สำหรับตัวแปรตามผลการเรียนรู้ด้านความรู้ ด้านทักษะการเรียนรู้ และเจตคติต่อสิ่งแวดล้อม ตามลำดับ ทดสอบสมมติฐาน โดยใช้การทดสอบค่าที (t-test) กรณี dependent t-test, one group t-test และ dependent t-test ตามลำดับ และได้ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้แผนการจัดการเรียนรู้สิ่งแวดล้อม เรื่อง ชุมชนของเรา ที่พัฒนาขึ้น มีค่าประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 86.33/84.83 นักเรียนมีผลการเรียนรู้ด้านความรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน มีผลการเรียนรู้ด้านทักษะการเรียนรู้อยู่ในระดับดีขึ้นไป และมีเจตคติต่อสิ่งแวดล้อมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

นุจรินทร์ สิทธิเลศประสิทธิ์ (2550) ศึกษาการพัฒนาชุดการเรียนการสอน เรื่อง ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 โดยใช้แหล่งเรียนรู้ธรรมชาติบริเวณเขตห้ามล่าสัตว์ป่าเขาสมโภชน์ จังหวัดลพบุรี โดยตั้งความมุ่งหมาย 2 ประการคือ เพื่อพัฒนาชุดการเรียนการสอน เรื่องธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 โดยใช้แหล่งเรียนรู้ธรรมชาติบริเวณเขตห้ามล่า สัตว์ป่าเขาสมโภชน์ จังหวัดลพบุรี ให้มีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ 80/80 และ การนำชุดการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้นไปทดลองใช้กับนักเรียนช่วงชั้นที่ 4 และศึกษาผลการเรียนรู้ดังนี้ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการเรียนด้วยชุดการเรียนการสอน พฤติกรรมการทำงานกลุ่ม และ เจตคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมก่อนและหลังการเรียนด้วยชุดการเรียนการสอน กลุ่มตัวอย่างในการทดลองสอนใช้นักเรียนช่วงชั้นที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2549 โรงเรียนหนองรีวิทยา อำเภอสำสนธิ จังหวัดลพบุรี จำนวน 35 คน เป็นกลุ่มตัวอย่าง ใช้ชุดการสอนจำนวน 4 หน่วยการเรียนรู้ คือ หน่วยที่ 1 มหัศจรรย์พันธุ์ไม้ป่า หน่วยที่ 2 ชีวิตนับร้อยใต้กองใบไม้ หน่วยที่ 3 หลากหลายชีวิตในธารา หน่วยที่ 4 พลิกฟื้นคืนผืนป่าที่ยั่งยืน โดยผลการวิจัยพบว่า ชุดการเรียนการสอนเรื่องธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.25/82.75 ซึ่งเป็นไปตาม

เกณฑ์ 80/80 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของนักเรียนหลังการเรียนสูงกว่าก่อนเรียน พฤติกรรมการทำงานกลุ่มของนักเรียนหลังเรียนด้วยชุดการเรียนการสอนอยู่ในระดับดีมาก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้เรียบเรียงมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการใช้ชุดกิจกรรมเพื่อให้ความรู้ สร้างความตระหนักและเห็นคุณค่าของสิ่งแวดล้อมสามารถพัฒนาผู้เรียนได้ ทั้งในด้านของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การใช้ชุดกิจกรรมไปใช้ในการจัดการเรียนรู้จริงแก่ผู้เรียน ได้เป็นอย่างดี ซึ่งผู้วิจัยได้นำเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาเป็นพื้นฐานความรู้ที่จะนำไปพัฒนาชุดกิจกรรมโดยเน้นเชิงการนำไปใช้มากกว่าการยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งนี้นอกจากกลุ่มนักเรียนที่สามารถนำไปใช้ได้แล้วผู้วิจัยยังหวังว่าจะสามารถนำไปใช้กับชุมชนได้เช่นกัน