

ความหลากหลายของโคพีพอดในถ้ำ ในจังหวัดกาญจนบุรีและราชบุรี

Species Diversity of Cave-dwelling Copepods in Kanchanaburi and Ratchaburi Provinces

ชาชนัตร์ บุญญานูสิทธิ์ (Chaichat Boonyanusith)* อันตัน บรานเซลจ์ (Anton Brancelj)**

ดร.ละออศรี เสนาะเมือง (Dr.La-orsri Sanoamuang)***

บทคัดย่อ

การศึกษาความหลากหลายและการแพร่กระจายของโคพีพอดจากแหล่งน้ำในถ้ำจำนวน 15 แห่งในจังหวัดกาญจนบุรีและราชบุรี โดยเก็บตัวอย่างโคพีพอดด้วยกระชอนที่ทำด้วยผ้ากรองขนาดตา 60 ไมโครเมตร ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2552 ถึงพฤศจิกายน 2553 จากแหล่งน้ำในถ้ำ พบคาแลนอยด์โคพีพอด 3 taxa ไซโคลพอยด์โคพีพอด 20 taxa และฮาร์แพคติกอยด์โคพีพอด 13 taxa โคพีพอดในสกุล *Elaphoidella*, *Mesocyclops*, และ *Thermocyclops* แพร่กระจายอย่างกว้างขวาง มีโคพีพอดในสกุล *Fierscyclops*, *Nitocrella*, *Phyllognathopus*, *Parapseudoleptomesochra*, และ *Spelaeocamptus* ที่พบเป็นครั้งแรกในประเทศไทย และคาดว่าโคพีพอด 1 taxa เป็นสกุลใหม่ จำนวนชนิดที่สำรวจพบในแต่ละถ้ำมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนชนิดที่คำนวณจากค่าประมาณการความหลากหลายของ Chao ($Chao_2$) แสดงถึงการเก็บตัวอย่างที่สมบูรณ์ในแต่ละถ้ำ อย่างไรก็ตามจำนวนชนิดที่สำรวจพบทั้งหมดในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่าจำนวนชนิดที่ได้จากการคำนวณอย่างมาก เนื่องจากความจำเพาะของการแพร่กระจายของโคพีพอดหลายชนิด

ABSTRACT

Diversity and distribution of copepods from 15 caves in Kanchanaburi and Ratchaburi provinces were examined. Samples were collected on several occasions between November 2009 and November 2010 by a hand net with 60 μ m mesh size from several water bodies in the caves. Three taxa of Calanoida, 19 taxa of Cyclopoida and 13 taxa of Harpacticoida were identified. Genera *Elaphoidella*, *Mesocyclops*, and *Thermocyclops* were most frequently found while *Fierscyclops*, *Nitocrella*, *Phyllognathopus*, *Parapseudoleptomesochra*, and *Spelaeocamptus* are new records for Thailand. One taxon was probably a new genus. Observed and expected numbers of taxa calculated from Chao richness estimator ($Chao_2$) were nearly identical in several caves. It indicates complete sampling efforts in such cave. However, total encountered number of species was much lower than the expected one, as a result of the highly localized distributions of several species.

คำสำคัญ: โคพีพอดในถ้ำ คาร์ส ค่าประมาณการความหลากหลายของ Chao

Key Words: Cave-dwelling copepods, Karst, Chao incidence-based richness estimator

* นักศึกษา หลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** Professor, Department for freshwater and terrestrial ecosystems research, National Institute of Biology, Slovenia

*** ศาสตราจารย์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน การศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของโคพิพอดน้ำจืดในประเทศไทยมุ่งเน้นความสนใจไปยังระบบนิเวศแหล่งน้ำผิวดิน (surface water) แต่ละเลยที่จะศึกษาความหลากหลายของสัตว์กลุ่มดังกล่าวในระบบนิเวศใต้ชั้นพื้นผิว (subsurface ecosystems) ถ้าเป็นระบบนิเวศใต้ชั้นพื้นผิวที่สำคัญแบบหนึ่งที่ทำให้แหล่งอาศัยกับสัตว์นานาชนิดซึ่งวิวัฒนาการมาจากสิ่งมีชีวิตนอกถ้ำ (Gibert and Deharveng, 2002)

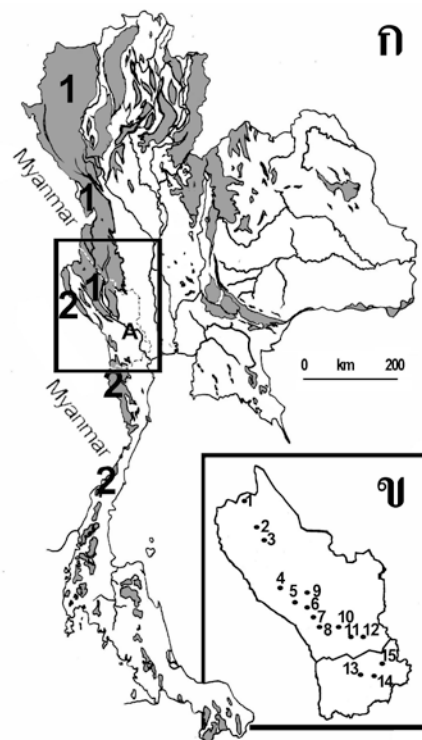
การศึกษาถ้ำในพื้นที่คาร์ส (karst) สำคัญของยุโรปและอเมริกาเหนือแสดงให้เห็นว่ามีโคพิพอดเป็นจำนวนมากที่ยังไม่เป็นที่รู้จักในแวดวงวิทยาศาสตร์ (Brancelj, 2002; Pipan and Brancelj, 2004; Pipan and Culver, 2005; Pipan and Culver, 2007) สำหรับประเทศไทย มีโคพิพอดชนิดใหม่ของโลก 2 ชนิดได้แก่ *Elaphoidella namnaoensis* Brancelj, Watiroyram & Sanoamuang, 2009 และ *Bryocyclops maewaensis* Watiroyram, Brancelj & Sanoamuang, 2011 ถูกรายงาน (Brancelj et al., 2009) และมีโคพิพอดที่ไม่เคยมีรายงานในประเทศไทยมาก่อน ได้แก่ *Thermocyclops operculifer* Kiefer, 1930, *Mesocyclops francisci* Holyńska, 2000 และ *M. microlasius* Kiefer, 1981 ถูกพบเป็นครั้งแรก ซึ่งทั้งหมดเป็นผลจากการเก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาความหลากหลายของโคพิพอดในถ้ำภาคเหนือ (สันติ, 2012) นอกจากนี้ ยังมีรายงานการค้นพบ syncarida สกุลใหม่ ได้แก่ *Siambathynella laorsri* Camacho, Watiroyram & Brancelj, 2011 อีกด้วย (Camacho et al., 2012)

การศึกษาของ Pipan and Culver (2007) ใช้ค่าประมาณการความมากมายชนิดของ Chao เพื่อแสดงความสมบูรณ์ในการเก็บตัวอย่างโคพิพอดในแต่ละถ้ำและใช้ค่าประมาณการดังกล่าว เพื่อคาดคะเนจำนวนชนิดที่ควรพบ เมื่อเก็บตัวอย่างโคพิพอดในถ้ำต่างๆทางตะวันตกของประเทศสโลวีเนีย งานวิจัยนี้จึงใช้ค่าประมาณการนี้ เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของโคพิพอดในถ้ำ ในจังหวัดกาญจนบุรีและราชบุรี ซึ่งเป็นส่วน

หนึ่งของพื้นที่คาร์สที่ใหญ่ที่สุดของประเทศไทยโดยพิจารณาทั้งในระดับพื้นที่ (local-scale) และระดับภูมิภาค (regional-scale)

พื้นที่ทำการศึกษา

พื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและราชบุรีอยู่ในอาณาบริเวณของกลุ่มน้ำแม่กลอง มีเขื่อนขนาดใหญ่ 2 เขื่อน ได้แก่ เขื่อนวชิราลงกรณ์ และเขื่อนศรีนครินทร์ ตั้งอยู่ในเขตจังหวัดกาญจนบุรี สภาพภูมิประเทศเป็นเทือกเขาขวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ทางตอนเหนือ กลางและตะวันตก ขณะที่บริเวณตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่เป็นที่ราบ (รูปที่ 1ก) ลักษณะทางธรณียวิทยาอื่นๆ อุทกวิทยา และภูมิอากาศได้ถูกบรรยายไว้โดย กวี (2547)



รูปที่ 1 แนวเทือกเขาในประเทศไทย (ก) และขอบเขตจังหวัดกาญจนบุรี และราชบุรีแสดงตำแหน่งของถ้ำ (ข, ขยายจากกรอบในรูป ก) หมายเลข 1 ในรูป ก แสดงเทือกเขาถนนธงชัย และหมายเลข 2 แสดงเทือกเขาตะนาวศรี อักษร A คือ แม่น้ำแม่กลอง และภาพ ข 1. ถ้ำแก้วสวรรค์บันดาล 2. ถ้ำสุโข 3. ถ้ำวัดยางขาว 4. ถ้ำดาวดิ่ง 5. ถ้ำละว้า 6. ถ้ำวังบาดาล 7. ถ้ำศรีสรเพชร 8. ถ้ำ

กระแซ 9. ถ้ำพระธาตุ 10. ถ้ำประทุน 11. ถ้ำ
มังกรทอง 12. ถ้ำแก้วกาญจนาภิเษก 13. ถ้ำจอม
พล 14. ถ้ำเขามิน 15. ถ้ำสาธิตา

วิธีการวิจัย

สำรวจและเก็บตัวอย่างจากแหล่งน้ำแบบต่างๆ ที่
พบในถ้ำ จำนวนทั้งสิ้น 15 แห่งในจังหวัดกาญจนบุรี
และราชบุรี (รูปที่ 1) โดยใช้กระชอนที่ทำด้วยผ้ากรอง
ขนาดตา 60 ไมโครมิเตอร์ ทำการเก็บตัวอย่างโคฟี-
พอดในแต่ละถ้ำทุก 3 เดือน (โดยประมาณ) ระหว่าง
เดือนพฤศจิกายน 2552 ถึงพฤศจิกายน 2553 ยกเว้นถ้ำ
วังบาดาลซึ่งผู้วิจัยเข้าเก็บตัวอย่างในเดือนพฤศจิกายน
2553 เพียงครั้งเดียว ตัวอย่างที่ได้หลังจากการออก
ภาคสนามถูกนำมาคัดแยกโคฟีพอดภายใต้กล้อง
จุลทรรศน์สเตอริโอและทำการระบุชนิด (identifica-
tion) ลงในระดับอนุกรมวิธานที่ต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
จำนวนชนิดที่พบในแต่ละถ้ำถือเป็นผลการศึกษาใน
ระดับพื้นที่ (local-scale) และทำการประมาณการความ
มากชนิดโดยคำนวณหาจำนวนชนิดจากสูตร
ค่าประมาณการความมากชนิดของ Chao (Chao inci-
dence-based richness estimator; $Chao_2$ สูตรที่ 1; Chao,
1987) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ EstimateS version
8.0 (Colwell, 2009) โดยถือให้การเก็บตัวอย่างแต่ละ
ครั้งเป็นซ้ำของแต่ละถ้ำ ดังนั้น ใน 1 ถ้ำ จึงมีตัวอย่างโค-
ฟีพอด 3 – 4 ซ้ำ ยกเว้นถ้ำวังบาดาลที่มีตัวอย่างเพียง 1
ซ้ำ จากตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งน้ำ 3 แหล่งในถ้ำ

$$Chao_2 = S_{obs} + Q_1^2 / 2(Q_2 + 1) - Q_1 Q_2 / 2(Q_2 + 1)^2 \dots\dots$$

(1)

โดย S_{obs} คือ จำนวนชนิดทั้งหมดในแต่ละถ้ำ Q_1 คือ
จำนวนชนิดที่พบในซ้ำเพียง 1 ซ้ำ และ Q_2 จำนวนชนิด
ที่พบในซ้ำเพียง 2 ซ้ำ

การศึกษาความหลากหลายในระดับที่ใหญ่กว่า
(larger-scale) หรือในระดับภูมิภาค (regional-scale) ได้
คำนวณความมากชนิดจากข้อมูลจำนวนชนิดที่พบ ด้วย
สูตรค่าประมาณการความมากชนิดของ Chao เช่นกัน

โดยถือว่าแต่ละถ้ำคือ 1 ซ้ำ การคำนวณทั้งสองดังกล่าว
ไม่นำข้อมูลของชนิดที่เก็บตัวอย่างได้เพียง 1 ครั้งและมี
จำนวนตัวเพียง 1-2 ตัว มาพิจารณา ทั้งนี้ลดผลของการ
ประมาณการเกินความเป็นจริง (overestimation) ที่มี
สาเหตุจากการเก็บตัวอย่างโคฟีพอดที่พลัดหลงเข้าไป
ในถ้ำโดยบังเอิญ

เพื่อพิจารณาผลของระยะทางระหว่างถ้ำกับ
ความคล้ายคลึงกันขององค์ประกอบชนิด (species
composition) ของโคฟีพอดในแต่ละถ้ำ จำนวน 15 ถ้ำ
จึงคำนวณสัมประสิทธิ์ความไม่คล้ายคลึงของ Bray-
Curtis (Bray-Curtis dissimilarity coefficient) ด้วย
โปรแกรมวิเคราะห์หลายตัวแปร PC-ord version 5 และ
นำค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้มาทดสอบสหสัมพันธ์ระหว่าง
ระยะทางระหว่างถ้ำและค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวด้วย
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ Pearson (Pearson
correlation analysis)

ผลการวิจัย

พบคาแลนอยด์โคฟีพอด 3 taxa จาก 2 สกุล ไช-
โคลพอยด์โคฟีพอด 20 taxa จาก 11 สกุล และฮาร์แพค-
คิโคยด์โคฟีพอด 13 taxa จาก 6 สกุล (ตารางที่ 1) ซึ่งใน
จำนวนนี้มีโคฟีพอด 7 ชนิดที่ไม่ได้ถูกนำมาคำนวณใน
การประมาณการความมากชนิด เพราะเป็นโคฟีพอดที่
เก็บตัวอย่างได้เพียง 1 ครั้งและมีจำนวนตัวที่ถูพบเพียง
1-2 ตัว ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าอาจเป็นโคฟีพอดที่พลัดหลงเข้า
ไปในถ้ำโดยบังเอิญ

นอกจากนี้ พบว่ามีโคฟีพอด 5 สกุลที่ไม่เคยมี
รายงานในประเทศไทยมาก่อน ประกอบด้วย ไชโค
ลพอยด์สกุล *Fierascyclops* Karanovic, 2004 และฮาร์แพ
คิโคยด์ 4 สกุล ได้แก่ *Nitocrella* Chappuis, 1924,
Phyllognathopus Mrázek, 1893, *Paraspeudolep-
tomesochra* Lang, 1965, และ *Spelaecocampus* Chappuis,
1933 มีความเป็นไปได้ว่ามีโคฟีพอด อย่างน้อย 15 taxa
ที่อาจเป็นชนิดใหม่ของโลก โดยในจำนวนนี้มี 1 taxa ที่
เห็นสมควรให้ตั้งเป็นสกุลใหม่ และมี 2 taxa ที่เป็นชนิด
เดียวกันแต่ควรจำแนกเป็น 2 ชนิดย่อย (ตารางที่ 1)

เมื่อพิจารณาจำนวนถ้ำที่พบโคฟีพอดแต่ละชนิด

พบว่าโคฟีพอดชนิด *Elaphoidella* cf. *bidens decorata*, *Mesocyclops thermocyclopoides* Harada, 1931 *Thermocyclops crassus* (Fisher, 1853) แพร่กระจายอย่างกว้างขวาง ในทางตรงกันข้าม มีโคฟีพอดกว่าร้อยละ 72 ของจำนวนชนิดทั้งหมด ที่พบใน 1 หรือ 2 ถ้ำเท่านั้น นอกจากนี้ โคฟีพอดในสกุล *Elaphoidella* Chappuis, 1928 มีความหลากหลายชนิดสูงสุด คือ 8 taxa โคฟีพอดสกุล *Mesocyclops* Sars, 1914 และ *Thermocyclops* Kiefer, 1927 พบสกุลละ 4 taxa *Fierscyclops* พบ 3 taxa (2 ชนิด) สำหรับโคฟีพอดในสกุลอื่นๆ มักพบเพียง 1 – 2 taxa

จำนวนชนิดของโคฟีพอดที่พบในแต่ละถ้ำมีความผันแปรตั้งแต่ 1 – 16 taxa แต่โดยทั่วไปถ้ำหนึ่งๆ มักมีโคฟีพอดไม่เกิน 4 taxa ถ้ำที่มีโคฟีพอดมากที่สุด คือ ถ้ำแก้วสวรรค์บาดาล มีโคฟีพอด 16 ชนิด และถ้ำที่มีจำนวนชนิดรองลงมา น้ำผุดในถ้ำวัดยางขาว จำนวน 10 taxa ถ้ำจอมพล และถ้ำละว้าจำนวน 9 taxa และถ้ำประทุน จำนวน 6 taxa (ตารางที่ 2)

จำนวนชนิดที่คำนวณได้จากค่าประมาณการความหลากหลายของ Chao ($Chao_2$) ของแต่ละถ้ำมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนที่เก็บตัวอย่างได้จริง (S_{obs}) (ตารางที่ 2) ยกเว้นถ้ำศรีสรรเพชรที่มีจำนวน taxa ที่เก็บตัวอย่างได้จริงน้อยกว่าจำนวน taxa ที่ได้จากการคำนวณอย่างชัดเจน เมื่อพิจารณาในระดับที่ใหญ่ขึ้น เห็นได้ชัดเจนว่าจำนวนชนิดที่คำนวณได้จากการประมาณการความหลากหลายของ Chao มีค่ามากกว่าคิดเป็นประมาณร้อยละ 24 ของจำนวนที่เก็บตัวอย่างได้จริง และเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีจำนวน single-ton หรือจำนวน taxa ที่พบในถ้ำเพียงถ้ำเดียวมากกว่า จำนวน doubleton หรือ จำนวนชนิดที่พบในถ้ำ 2 ถ้ำ

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์ความไม่คล้ายคลึงกันและระยะทางระหว่างถ้ำไม่มีความสัมพันธ์กันในทางสถิติ ($r=0.164$; $p=0.095$; $N=105$)

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในถ้ำของประเทศไทยมีมาตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 20 (Annandale et al., 1913) แต่ไม่มีการศึกษาใดให้ความสนใจกับความหลากหลายของโคฟีพอดในถ้ำอย่างจริงจัง การศึกษาด้าน biospeleology ในยุคเริ่มแรกของประเทศไทย ไม่มีรายงานของโคฟีพอดในถ้ำ กระทั่งมีการสำรวจความหลากหลายของสัตว์ในถ้ำเชิงดาวอย่างจริงจังจึงมีรายงานของโคฟีพอดในถ้ำของประเทศไทย (Deharveng and Bedos, 2000; Deharveng and Bedos, 2001) และนับจากนั้นเป็นต้นมาจึงไม่มีรายงานของโคฟีพอดในถ้ำอีกเลย ยกเว้น *Elaphoidella margaraeti* Pesce & Apostolov, 1985 และ *Asiacaris dispar* Cottarelli, Bruno & Berera, 2010 ที่เก็บตัวอย่างได้จากแหล่งน้ำใต้ผิวดินในแหล่งอาศัยแบบอื่นๆ (Pesce and Apostolov, 1985; Cottarelli et al., 2010). ปัจจุบันการศึกษาความหลากหลายของโคฟีพอดในถ้ำอย่างจริงจังขึ้นแรกเป็นของนักศึกษาปริญญาเอกที่ศึกษาในถ้ำทางภาคเหนือของไทย (Watiroyram, 2012)

การศึกษาในสองจังหวัดทางภาคตะวันตกของประเทศไทย ให้ผลที่คล้ายคลึงกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ที่ทำการศึกษาในถ้ำทางภาคเหนือ กล่าวคือ มีโคฟีพอดหลายชนิดเป็นชนิดใหม่และมีหลายชนิดที่ไม่เคยมีรายงานในประเทศไทยมาก่อน จากผลการวิจัยก่อนหน้านี้และผลงานวิจัยนี้ทำให้ประเทศไทยมีรายงานจำนวนชนิดของโคฟีพอดกลุ่มไซโคลพอยด์เพิ่มขึ้นจาก 45 ชนิด เป็น 53 ชนิด และโคฟีพอดกลุ่มฮาร์แพคติกอยด์เพิ่มขึ้นจาก 1 ชนิดเป็น 22 ชนิด

โคฟีพอดบางชนิดในการศึกษานี้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่คล้ายคลึงกับโคฟีพอดที่เป็นชนิดประจำถิ่นในทวีปอื่นๆ เช่น โคฟีพอดสกุล *Fierscyclops* ที่มีรายงานเป็นสิ่งมีชีวิตประจำถิ่นในทวีปออสเตรเลีย หรือ *Metacyclops* sp.1 ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ *Metacyclops cushae* Reid, 1991 ที่มีรายงานเฉพาะในรัฐ Louisiana ของสหรัฐอเมริกาและในประเทศบราซิล

ของทวีปอเมริกาใต้ (Reid, 1991; Silva, 2008) และคล้ายสมาชิกของสกุล *Hesperocyclops* Herbst, 1988 ที่พบเฉพาะในทวีปอเมริกาใต้ (Galassi and Pesce, 1992) หากไม่นับรวมโคฟีพอดบางสกุลที่พบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำผิวดินทั่วโลก เช่น *Mesocyclops* และ *Thermocyclops* ปรากฏการณ์ที่พบสมาชิกโคฟีพอดในสกุลเดียวกันบนพื้นที่คนละทวีปนี้ มีปรากฏให้เห็นในไซโคลพอยด์โคฟีพอดที่เป็นพวกสัตว์หน้าดิน (benthos) สกุล *Haplocyclops* Kiefer, 1952 และ *Rybocyclops* Dussart, 1982 โดยเชื่อว่ารูปแบบการกระจายดังกล่าวได้รับผลมาจากการแยกตัวของเปลือกโลกของแผ่นมหาทวีปโบราณคอนวานา (Gondwana supercontinent) (Karanovic, 2005; Ranga Reddy and Defaye, 2008) จึงมีความเป็นไปได้เช่นกันว่าโคฟีพอดของประเทศไทยทั้งสองสกุลดังกล่าวอาจเป็นเชื้อสายของบรรพบุรุษที่แพร่กระจายในแผ่นทวีปคอนวานามาก่อน เพราะแผ่นดินไทยในอดีตนั้นก็เป็นส่วนหนึ่งของแผ่นทวีปคอนวานาและติดกับแผ่นออสเตรเลียทางด้านตะวันตก (Metcalf, 1998)

การพบโคฟีพอดสกุล *Elaphoidella*, *Mesocyclops* และ *Thermocyclops* หลายชนิดในถ้ำไม่ทำให้คณะผู้วิจัยแปลกใจเพราะเป็นกลุ่มที่มีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวางในแหล่งน้ำผิวดินในแถบ Oriental (Oriental zoogeographical region) (Boxshall and Defaye, 2008) สมาชิกของโคฟีพอดทั้งสามสกุลดังกล่าวจึงมีโอกาสสูงที่จะแพร่กระจายเข้าสู่ระบบนิเวศถ้ำทั้งโดยธรรมชาติและโดยมนุษย์ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงจำนวนชนิดจะพบสิ่งที่ต่างกันคือ โคฟีพอดในสกุล *Elaphoidella* แต่ละชนิดพบใน 1-3 ถ้ำ ยกเว้น *E. cf. bidens decorata* ที่พบได้ใน 5 ถ้ำ ขณะที่โคฟีพอดในสกุล *Mesocyclops* และ *Thermocyclops* สกุลละ 1 ชนิดเท่านั้นที่แพร่กระจายอย่างกว้างขวางในถ้ำที่ทำการศึกษา ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างของรูปแบบหรือสาเหตุของการเข้าครอบครอง (colonization) ระบบนิเวศถ้ำ

การพบโคฟีพอดแต่ละชนิดในถ้ำเพียงไม่กี่ถ้ำนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดคล้ายคลึงกันกับการศึกษาสิ่งมีชีวิตในถ้ำในภูมิภาคอื่นๆ และสอดคล้องกับแนวคิดของ Culver and Sket (2000) ที่ระบุว่าความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในถ้ำมักแสดงออกในระดับภูมิภาคมากกว่าในระดับพื้นที่ กล่าวอีกนัยหนึ่งคือความหลากหลายในแต่ละถ้ำมักมีค่าน้อยแต่เมื่อศึกษาในจำนวนถ้ำที่มากขึ้น จำนวนชนิดสะสมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Gibert and Deharveng, 2002) ปรากฏการณ์นี้ยังสะท้อนภาพของระบบนิเวศแบบถ้ำที่แบ่งแยกจากกันอย่างมาก (ecological fragmentation) สำหรับการทดสอบสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรระยะทางระหว่างถ้ำและความสัมพันธ์ความแตกต่างของ Bray-Curtis ยังไม่สามารถทดสอบได้ว่าระยะทางระหว่างถ้ำมีผลต่อการกระจายของสัตว์ทั้งนี้อาจเพราะการที่โคฟีพอดบางชนิดมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง

งานวิจัยนี้ได้นำค่าประมาณการความมากชนิดของ Chao มาใช้เพราะเป็นที่ยอมรับว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าการประมาณการด้วยวิธีอื่นๆ และถูกใช้ในการศึกษาทางด้านภูมิศาสตร์ชีวภาพ (biogeography) (Pipan and Culver, 2007) ซึ่งพิจารณาบนแนวความคิดของสูตรซึ่งได้มีการตีความไว้ว่า ในกรณีที่ประชากรสัตว์ยังคงถูกเก็บตัวอย่างอย่างต่อเนื่องแต่ยังคงมีชนิดที่พบในแหล่งเดียว (singleton) จึงเป็นไปได้ว่ายังคงมีชนิดอื่นๆ ที่ยังไม่ถูกเก็บตัวอย่าง กระทั่งเมื่อใดก็ตามที่ทุกชนิดได้ถูกเก็บตัวอย่างอย่างน้อยสองครั้ง จึงเป็นไปได้ว่าทุกชนิดได้ถูกเก็บตัวอย่างแล้ว (ดู http://palaeoelectronica.org/2011_1/238/estimate.htm) เมื่อนำมาใช้กับข้อมูลโคฟีพอดที่เก็บตัวอย่างจาก 15 ถ้ำในสองจังหวัดทางภาคตะวันตกของไทย โดยพิจารณาในระดับพื้นที่ (local-scale) การที่จำนวนชนิดที่ถูกพบจริงในแต่ละถ้ำมีค่าใกล้เคียงกับจำนวนชนิดที่ได้จากการประมาณการทำให้อนุมานได้ว่า การเก็บตัวอย่างในแต่ละถ้ำในการศึกษานี้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ (Pipan and Culver, 2007) แต่เมื่อพิจารณาในระดับภูมิภาค (regional-scale) จำนวนชนิดทั้งหมดที่ถูกพบ

จริงจากทั้ง 15 ถ้ำมีค่าน้อยกว่าจำนวนชนิดที่ได้จากค่าประมาณการอย่างมาก แสดงให้เห็นว่ามีโคฟิพอดเป็นจำนวนมากที่พบในถ้ำเพียงถ้ำเดียว หรือถูกจำกัดการแพร่กระจาย ซึ่งบ่งชี้ได้ในระดับหนึ่งว่าความหลากหลายทางชีวภาพของโคฟิพอดของระบบนิเวศถ้ำมีระดับความจำเพาะในการแพร่กระจายอย่างมาก (high degree of endemism)

สรุป

การศึกษาแสดงให้เห็นว่ามีโคฟิพอดอีกเป็นจำนวนมากซึ่งยังไม่เคยมีรายงานในประเทศไทยหรือในแวดวงวิทยาศาสตร์ได้อาศัยอยู่ในถ้ำทางภาคตะวันตกของไทย และพบว่าบางชนิดอาจแสดงให้เห็นถึงการแพร่กระจายพันธุ์ของบรรพบุรุษตั้งแต่สมัยบรรพกาลตามปกติโคฟิพอดแต่ละชนิดมักถูกพบในถ้ำเพียงไม่กี่ถ้ำเพราะสภาพธรรมชาติของระบบนิเวศนี้ที่แบ่งแยกจากกันอย่างมาก (ecological fragmentation) อย่างไรก็ตาม สภาพดังกล่าวกลับทำให้ภาพรวมความหลากหลายของโคฟิพอดในระดับภูมิภาคเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพในระบบนิเวศนี้อย่างต่อเนื่อง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการเครือข่ายเชิงกลยุทธ์เพื่อพัฒนาอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษาของสำนักงานการอุดมศึกษา คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณศักดิ์ชาย บุญญานุกิตติ ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างยิ่งในการเดินทางเก็บตัวอย่าง และขอขอบคุณบุคคลทุกท่านที่ช่วยเหลือระหว่างการเดินทาง

เอกสารอ้างอิง

กวี วรกวิน. 2547. แผนที่ความรู้ท้องถิ่นไทยภาคตะวันตก. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาคุณภาพวิชาการ.

- Annandale, N., Coggin-Brown, J., and Gravely, F.H. 1913. The limsstone caves of Burma and the Malay peninsula. J. Asiat. Soc. Bengal. 9: 391-424.
- Boxshall, GA., and Dafaye, D. 2008. Global diversity of copepods (Crustacea: Copepoda) in freshwater. Hydrobiologia. 595: 195-207.
- Brancelj, A. 2002. Microdistribution and high diversity of Copepoda (Crustacea) in a small cave in central Slovenia. Hydrobiologia. 477: 59-72.
- Brancelj, A., Watirogram, S., and Sanoamuang, L. 2010. The first record of cave-dwelling Copepoda from Thailand and description of a new species: *Elaphoidella namnaoensis* n. sp. (Copepoda, Harpacticoida). Crustaceana. 83: 779-793.
- Camacho, AI., and Valdecasas, AG. 2008. Global diversity of syncarids (Syncarida; Crustacea) in freshwater. Hydrobiologia. 595: 257-266.
- Chao, A. 1987. Estimating the population size for capture-recapture data with unequal catchability. Biometrics. 43:783-791.
- Cottarelli, V., Bruno, MC., and Berera, R. 2010. First record of Parastenocarididae from Thailand and description of a new genus (Copepoda: Harpacticoida). J. Crust. Biol. 30: 478-494.
- Colwell, RK. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Retrieved October 15, 2012, from <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>.
- Culver, DC., and Sket, B. 2000. Hotspots of subterranean biodiversity in caves and wells. J. Cave. Karst. Stud. 62:11-17.

- Deharveng, L. and Bedos, A. 2000. The cave fauna of Southeast Asia. Origin, evolution and ecology. pp. 603–633. In: Wilkens, H., Culver, DC. and Humphreys, WF. (eds.), Subterranean Ecosystems. Ecosystems of the World Vol.30. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Deharveng, L and Bedos, A. 2001. Thaïlande. pp. 1991–2006. In: Juberthie, C. And Decu, V. (eds.), Encyclopaedia Biospeologica Tome III", Société Internationale de Biospéologie.
- Galassi, DP. and Pesce, GL. 1992. The genus *Hesperocyclops* Herbst: an update, and description of *Hesperocyclops venezuelanus* n. sp. from Venezuela (Crustacea Copepoda: Cyclopidae). Stygologia 7: 219–224.
- Gibert, J. and Deharveng, L. 2002. Subterranean ecosystems: A truncated functional biodiversity. BioScience 52: 473–481.
- Karanovic, T. and Ranga Reddy, Y. 2005. First *Haplocyclops* Kiefer (Crustacea, Copepoda) from Indian subterranean waters: the most reduced free-living cyclopoid. Ann. Limnol. 41: 83–92.
- Metcalfe, I. 1998. Palaeozoic and Mesozoic geological evolution of the SE Asia region: multidisciplinary constraints and implications for biogeography. pp. 25–41. In: Hall, R., and Hollouway, JD. (eds.), Biogeography and Geological Evolution of SE Asia. Leiden: Backhuys Publishers.
- Pesce, GL., and Apostolov, AM. 1985. *Elaphoidella margaritae* sp. n., a new phreatic harpacticoid from subterranean waters of Thailand (Crustacea, Copepoda, Canthocamptidae). Acta. Zool. Bulgar. 28: 70–75.
- Pipan, T. and Brancelj, A. 2004. Distribution patterns of copepods (Crustacea: Copepoda) in percolation water of the Postojnska Jama Cave System (Slovenia). Zool. Stud. 43: 206–210.
- Pipan, T. and Culver, DC. 2005. Estimating biodiversity in the epikarstic zone of a West Virginia cave. J. Cave. Karst. Stud. 67: 103–109.
- Pipan, T. and Culver, DC. 2007. Regional species richness in an obligate subterranean dwelling fauna - epikarst copepods. J. Biogeogr. 34: 854–861.
- Ranga Reddy, Y., and Defaye, D. 2008. Discovery of the genus *Rybocyclops* Dussart, 1982 (Crustacea, Copepoda, Cyclopoida) in subterranean groundwaters of southeastern India, with the description of a new species and its biogeographic significance. Zootaxa 1810: 40–50.
- Reid, J.W. 1991. The genus *Metacyclops* (Copepoda: Cyclopoida) present in North America: *M. cushae*, new species, from Louisiana. J. Crust. Biol. 11: 639–646.
- Silva, W.M. 2008. Diversity and distribution of the free-living freshwater Cyclopoida (Copepoda: Crustacea) in the Neotropics. Braz. J. Biol, 68 (Suppl.): 1099–1106.
- Watiroyram, S. 2012. Species Diversity and Distribution of Freshwater Copepoda in Caves in Northern Thailand. Ph.D. Thesis. Khon Kaen University.

ตารางที่ 1 รายชื่อโคพีพอดที่พบ ในแต่ละครั้ง หมายเลขในตารางคือหมายเลขของถ้ำที่พบโคพีพอดชนิดดังกล่าว

Taxa	ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง			
	พ.ย. 52	เม.ย. 53	มิ.ย. 53	พ.ย. 53
Family Diaptomidae				
<i>Mongolodiaptomus botulifer</i>			11	
<i>Mongolodiaptomus malaindosinensis</i>			10	
<i>Phyllodiaptomus praedictus</i>			11	
Family Cyclopidae				
Subfamily Eucyclopinae				
<i>Ectocyclops</i> sp. (copepodid)			1	
<i>Eucyclops serrulatus</i>			1, 5	5
<i>Paracyclops fimbriatus</i>		3	1	1, 3
Subfamily Cyclopinae				
<i>Bryocyclops maewaensis</i>		10	10	10
<i>Cryptocyclops</i> sp. (male)		5		
<i>Fierscyclops</i> sp.1 subsp.1			1	7
<i>Fierscyclops</i> sp.1 subsp.2		3		3, 7
<i>Fierscyclops</i> sp.2				3
<i>Microcyclops varicans</i>			1	1
<i>Mesocyclops affinis</i>			1	1
<i>Mesocyclops orgunnus</i>			5	
<i>Mesocyclops</i> sp.1	11, 12	7, 11	7, 11	7, 11, 12
<i>Mesocyclops thermocyclopoides</i>		3, 5, 9, 8, 10, 13	1, 2, 4, 5, 9, 15	1
<i>Metacyclops</i> sp.1	14	14	14	14
<i>Metacyclops</i> sp.2	1	1	1	1
<i>Thermocyclops crassus</i>	13	3, 4, 5, 9, 8, 13, 15	1, 4, 7, 9,	5, 13
<i>Thermocyclops decipiens</i>		13		
<i>Thermocyclops operculifer</i>	12	12	12	12
<i>Thermocyclops</i> sp.1	3	3	1	3
Unknown genus (<i>Siamcyclops</i> sp.1)	13	13		13

ตารางที่ 1 รายชื่อโคฟีพอดที่พบ ในแต่ละครั้ง หมายเลขในตารางคือหมายเลขของถ้ำที่พบโคฟีพอดชนิดดังกล่าว (ต่อ)

Taxa	ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง			
	พ.ย. 52	เม.ย. 53	มิ.ย. 53	พ.ย. 53
Family Ameiridae				
<i>Nitocrella</i> sp.		5		5, 6
<i>Parapseudoleptomesochra</i> sp.	13	3		
Family Canthocamptidae				
<i>Elaphoidella</i> sp.1	2, 3	2, 3	1, 2, 3	2, 3
<i>Elaphoidella</i> sp.2	3	3		3
<i>Elaphoidella</i> sp.3			1,4	1,4
<i>Elaphoidella</i> sp.4	13	5, 10	5, 10, 13	5, 10, 13
<i>Elaphoidella</i> sp.5			4	4
<i>Elaphoidella namnaoensis</i>		3	1	
<i>Elaphoidella</i> cf. <i>bidens decorata</i>	1, 11, 12, 13	11, 13	1, 10	10, 11, 12, 13
<i>Elaphoidella bromeliacola</i>	1	1		
<i>Epactophanes richardi</i>	1, 13	1, 13, 14, 15	13, 14, 15	8, 13
cf. <i>Spelaeocamptus</i> sp.				5
Family Phyllognathopidae				
<i>Phyllognathopus viguieri</i>	1, 12, 13		12	5

ตารางที่ 2 ตารางสรุปจำนวน taxa ของโคฟีพอดที่พบจริง (S_{obs}) และจำนวนโคฟีพอดจากค่าประมาณการความมากชนิดของ Chao ($Chao_2$)

ชื่อถ้ำ	จำนวนที่พบจริง (S_{obs})	จำนวน taxa ที่พบเพียง 1 ซ้ำ*	จำนวน taxa ที่พบ 2 ซ้ำ*	$Chao_2$	$S_{obs} / Chao_2$	ความแปรปรวนของค่าประมาณการ
Regional-scale						
	29 (+ 7 taxa**)	12	9	35	0.824	23.340
Local-scale						
แก้วสวรรค์	16 (+ 1 taxa**)	5	8	17	0.95	1.605
บันดาล						

* ในการพิจารณาในระดับพื้นที่ (local-scale) จำนวน taxa ที่พบเพียง 1 ซ้ำ และ 2 ซ้ำ หมายถึง จำนวน taxa ที่พบ 1 ครั้ง และ 2 ครั้งของการออกเก็บตัวอย่าง ตามลำดับ และในการพิจารณาในระดับภูมิภาค (regional-scale) จำนวน taxa ที่พบเพียง 1 ซ้ำ และ 2 ซ้ำ หมายถึง จำนวน taxa ที่พบใน 1 ถ้ำและ 2 ถ้ำ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ตารางสรุปจำนวน taxa ของโคฟีพอดที่พบจริง (S_{obs}) และจำนวนโคฟีพอดจากค่าประมาณการความหลากหลายของ Chao ($Chao_2$) (ต่อ)

ชื่อถ้ำ	จำนวนที่พบจริง (S_{obs})	จำนวน taxa ที่พบเพียง 1 ซ้ำ*	จำนวน taxa ที่พบ 2 ซ้ำ*	$Chao_2$	$S_{obs} / Chao_2$	ความแปรปรวนของค่าประมาณการ
สุโข	2	1	0	2	1	0.101
วัดยางขาว	10	4	4	11	0.92	2.13
ดาวดิ่งส์	4	1	3	4	1	0.007
ละว้า	7 (+2 taxa**)	3	3	8	0.93	1.068
วังบาดาล***	1	1	0	1	1	0.074
ศรีสรรเพชญ	4	3	0	6	0.67	7.333
กระแซ	2	1	1	2	1	0.125
พระธาตุ	2	0	2	2	1	0.234
ประทุน	5 (+1 taxa**)	2	0	6	0.88	2.074
มังกรทอง	2 (+2 taxa**)	0	0	2	1	0.036
แก้วกาญจนาภิเษก	4	1	1	4	1	0.035
จอมพล	8 (+1 taxa**)	3	2	9	0.91	2.047
เขabin	2	0	1	2	1	0.095
สาริกา	3	2	1	3	0.90	0.861

** จำนวน taxa ของโคฟีพอดที่เก็บตัวอย่างได้เพียง 1 ครั้งและมีจำนวนตัวเพียง 1-2 ตัว ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าอาจเป็นโคฟีพอดที่พลัดหลงเข้าไปในถ้ำโดยบังเอิญ จึงไม่ถูกนำมาคำนวณร่วมกับพารามิเตอร์ต่างๆ ในตาราง

*** ถูกสำรวจและเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียวในเดือนพฤศจิกายน 2553 อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างจากแหล่งอาศัยย่อยรวม 3 แหล่ง แต่ละแหล่งอาศัยย่อยจึงถูกพิจารณาเป็น 1 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 3 ซ้ำ