

โครงการ Inquiring Mind “ครูไทย หัวใจสีบเสาะ”:

อดีต ปัจจุบัน และอนาคต

ลือชา ลดาชาติ

ladachart@gmail.com

สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินโครงการ *Inquiring Mind “ครูไทย หัวใจสีบเสาะ”* ที่ผ่านมา รวมทั้งกิจกรรมในปัจจุบันและทิศทางต่อไปในอนาคต ด้วยการปรับเปลี่ยนแปลงแนวทางการดำเนินโครงการฯ จากเดิมที่เน้นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของครูเป็นการเน้นการส่งเสริมให้ครูเกิดการเรียนรู้ทางวิชาชีพ ผลงานเชิงประจักษ์ของโครงการฯ เริ่มปรากฏชัดขึ้น ซึ่งจะเป็นรากฐานของการพัฒนาคุณภาพของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในอนาคตต่อไป

หลักการและเหตุผล

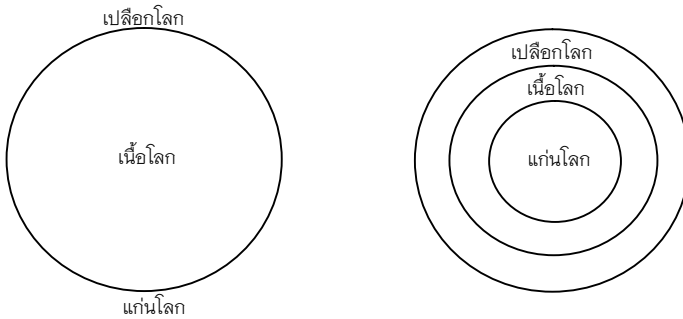
ในช่วงปลายปีงบประมาณ 2555 สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา ได้ริเริ่มโครงการ *Inquiring Mind “ครูไทย หัวใจสีบเสาะ”* ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อส่งเสริมให้ครูวิทยาศาสตร์สามารถศึกษาความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ โครงการนี้เกิดขึ้นจากความตระหนักที่ว่า การศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนไทยในเรื่องต่างๆ ยังคงมีอยู่อย่างจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มครูวิทยาศาสตร์ ทั้งๆ ที่ความเข้าใจเดิมของนักเรียนมีอิทธิพล

อย่างมากในการเรียนรัฐวิทยาศาสตร์ของนักเรียน (Driver *et al.*, 1994; Pfundt & Duit, 2009) การขาดความเข้าใจที่ลึกซึ้งซึ่งเกี่ยวกับสิ่งที่นักเรียนคิดและเข้าใจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ครูวิทยาศาสตร์จัดการเรียนการสอนได้ไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร ซึ่งสะท้อนออกมาเป็นระยะผ่านผลการประเมินนักเรียนทั้งในระดับชาติ (เช่น ONET และ NT) และในระดับนานาชาติ (เช่น PISA และ TIMSS) ดังนั้น การส่งเสริมให้ครูวิทยาศาสตร์ศึกษาเชิงลึกเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนจึงเป็นแนวคิดหนึ่ง ที่อาจช่วยให้ครูได้ทราบและมีข้อมูลที่จำเป็นในการจัดการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากความตระหนักดังกล่าว สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา ได้เล็งเห็นว่า การวิจัยเชิงคุณภาพเป็นกระบวนการหนึ่ง ซึ่งครูวิทยาศาสตร์สามารถใช้เพื่อการศึกษาความเข้าใจเดิมของนักเรียนได้อย่างลึกซึ้ง ทั้งนี้เพราะการวิจัยเชิงคุณภาพเปิดโอกาสให้ครูวิทยาศาสตร์ได้เข้าไปมีส่วนร่วมและมีปฏิสัมพันธ์กับนักเรียนของตนเองอย่างใกล้ชิด เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลว่า นักเรียนแต่ละคนรับรู้ คิด และเข้าใจปรากฏการณ์ต่างๆ อย่างไร เมื่อผ่านการตีความและการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบแล้ว ข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้ครูวิทยาศาสตร์ทราบได้ว่า นักเรียนแต่ละคนมีความพร้อมสำหรับการเรียนรัฐวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เหล่านั้นเพียงใด ความเข้าใจเดิมแบบใดสามารถส่งเสริมการเรียนรัฐวิทยาศาสตร์เรื่องนั้น ความเข้าใจเดิมแบบใดกีดขวางการเรียนรัฐวิทยาศาสตร์เรื่องนั้น และในท้ายที่สุดครูวิทยาศาสตร์ก็จะทราบว่า ตนเองควรจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์เรื่องนั้นอย่างไร

ตัวอย่างเช่น Gobert (2000) ได้ศึกษาความเข้าใจเดิมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 เกี่ยวกับโครงสร้างภายในของโลก และพบว่า นักเรียนเหล่านี้มีความเข้าใจเดิมเกี่ยวกับโครงสร้างภายในโลกแตกต่างกัน กล่าวคือ นักเรียนกลุ่มที่ 1 มีความเข้าใจเดิมที่ว่า โครงสร้างภายในโลกมีลักษณะเป็นชั้นๆ ในแนวดิ่ง (ดังภาพที่ 1 ซ้าย) ในขณะที่นักเรียนกลุ่มที่ 2 มีความเข้าใจเดิมที่ว่า โครงสร้างภายในโลกมีลักษณะเป็นชั้นๆ เป็นทรงกลม (ดังภาพที่ 1 ขวา) เมื่อนักเรียนทั้งสองกลุ่มได้อ่านข้อความในหนังสือ

เกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยาต่างๆ เช่น การเกิดแผ่นดินไหว การโก่งตัวของแผ่นดิน การระเบิดของภูเขาไฟ และการขยายตัวของบางพื้นที่ในมหาสมุทร นักเรียนกลุ่มที่ 1 ประสบกับความยากลำบากในการเรียนรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ทั้งนี้เพราะนักเรียนกลุ่มนี้ไม่สามารถบูรณาการความเข้าใจเดิมของตนเองกับข้อมูลใหม่ได้ ซึ่งตรงกันข้ามกับนักเรียนกลุ่มที่ 2 ซึ่งเรียนรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกได้อย่างไม่ยากเย็นนัก โดยการบูรณาการสิ่งที่ตนเองเข้าใจอยู่เดิมกับข้อมูลใหม่



ภาพที่ 1 ความเข้าใจเดิมของนักเรียนเกี่ยวกับโครงสร้างภายในของโลก

การวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจเดิมของนักเรียนจึงช่วยให้ครูเข้าใจว่า เหตุใดนักเรียนกลุ่มหนึ่งจึงประสบกับปัญหาในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และการแก้ไขปัญหาดังกล่าวควรเป็นไปอย่างไร ซึ่งเป็นไปตามมาตรา 30 ของพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พุทธศักราช 2542 (แก้ไขเพิ่มเติม พุทธศักราช 2545) (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2545: 13) ซึ่งกล่าวถึง “การส่งเสริมให้ผู้สอนสามารถวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนที่เหมาะสมกับผู้เรียนในแต่ละระดับการศึกษา”

นอกจากประโยชน์ในแง่ของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์แล้ว การส่งเสริมการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนยังมีประโยชน์ในแง่

ของการพัฒนาตัวเองของครูวิทยาศาสตร์อีกด้วย โดยการส่งเสริมให้ครูทำวิจัย เพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียน ร่วมกับการวิเคราะห์การปฏิบัติการสอนของตนเอง ได้กลายเป็นการพัฒนาวิชาชีพครูรูปแบบหนึ่งในปัจจุบัน (Feldman & Capobianco, 2000) ทั้งนี้เพราะครูวิทยาศาสตร์สามารถเรียนรู้เนื้อหาที่ตนเองสอนในระดับที่ลึกซึ้งมากขึ้น (Jones *et al.*, 1999) เรียนรู้เกี่ยวกับกระบวนการคิดของนักเรียน (Tabachnick & Zeichner, 1999; Kang, 2007) ทบทวนจุดอ่อนและจุดแข็งของการปฏิบัติการสอนของตัวเอง (Briscoes & Wells, 2002) และเชื่อมโยงการปฏิบัติการสอนของตนเอง ให้สอดคล้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ต่างๆ (Goodnough, 2001) นอกจากนี้ ผลการวิจัย โดยครูวิทยาศาสตร์ยังเป็นความรู้ที่มีคุณค่า (Pedretti & Hodson, 1995) ซึ่งได้มาจากการปฏิบัติจริง ไม่ใช่ความรู้ทางทฤษฎีเท่านั้น (van Zee *et al.*, 2003) ความสามารถในการ “สร้าง” ความรู้ได้ด้วยตนเองทำให้ครูวิทยาศาสตร์เชื่อมั่นในตนเอง (Capobianco *et al.*, 2006) และไม่ยึดติดกับความรู้ทางทฤษฎีจากนักวิชาการเพียงอย่างเดียว (Papastephanou *et al.*, 2005) การส่งเสริมให้ครูวิทยาศาสตร์ทำการวิจัยเชิงคุณภาพ จึงเป็นการพัฒนาวิชาชีพครู ที่ซึ่งครูเป็นทั้งผู้ขับเคลื่อนและผู้ที่ได้ประโยชน์โดยตรงไปพร้อมกัน

อดีต

การดำเนินโครงการ *Inquiring Mind “ครูไทย หัวใจสืบเสาะ”* เป็นไปตามรูปแบบการพัฒนาครูของ Bell & Gilbert (1994) ที่เห็นว่า การพัฒนาครูต้องมีองค์ประกอบอย่างน้อย 3 ด้าน ดังนี้

1. การพัฒนาส่วนบุคคล (Personal development)
2. การพัฒนาทางสังคม (Social development)
3. การพัฒนาทางวิชาชีพ (Professional development)

การพัฒนาส่วนบุคคลเน้นว่า การพัฒนาครูต้องตอบสนองความต้องการส่วนบุคคล (Personal needs) ของครูที่เข้าร่วมโครงการฯ กล่าวคือ เนื้อหาของการพัฒนาครูต้องเป็นสิ่งที่ครูสนใจและเห็นประโยชน์ที่มีต่อการปฏิบัติงานของตนเองอย่างแท้จริง ด้วยเหตุนี้ การคัดเลือกครูวิทยาศาสตร์ที่เข้าโครงการฯ จึงเน้นความสมัครใจ โดย สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา ได้ส่งแบบสำรวจความสนใจและแบบตอบรับการเข้าร่วมโครงการฯ ไปยังสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษาทุกเขต เพื่อประชาสัมพันธ์กับครูวิทยาศาสตร์ในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานจากทั่วประเทศ ที่สนใจและเห็นประโยชน์ของการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียน

การพัฒนาทางสังคมเน้นว่า การพัฒนาครูต้องเปิดโอกาสให้กลุ่มครูได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างกัน โดยกลุ่มครูนี้อาจเป็นครูที่สอนเนื้อหาเดียวกัน และ/หรือ ครูที่สอนนักเรียนในระดับชั้นเดียวกันหรือระดับชั้นใกล้เคียงกัน ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมระหว่างกลุ่มครูจะช่วยสร้างเครือข่ายที่เข้มแข็งและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานจริง ด้วยเหตุนี้ เว็บไซต์ www.inquiringmind.in.th จึงเกิดขึ้นเพื่อเป็นพื้นที่แห่งการแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียน

การพัฒนาทางวิชาชีพเน้นว่า การพัฒนาครูต้องส่งเสริมให้ครูได้ศึกษาและสร้างความรู้ทางวิชาชีพที่จำเป็นต่อการปฏิบัติการสอน ซึ่งมีทั้งความรู้ด้านเนื้อหาความรู้ด้านวิธีสอน ความรู้ด้านผู้เรียน ความรู้ด้านหลักสูตร ความรู้ด้านการวัดและการประเมินผล และความรู้เกี่ยวกับจุดมุ่งหมายของการสอน (Shulman, 1987) โดยความรู้ที่เป็นจุดเน้นสำคัญที่สุดของโครงการ *Inquiring Mind* “ครูไทย หัวใจสืบเสาะ” ก็คือความรู้ด้านผู้เรียนนั่นเอง

ถึงแม้ว่าโครงการ *Inquiring Mind* “ครูไทย หัวใจสืบเสาะ” มีแนวคิดทางทฤษฎีที่ค่อนข้างชัดเจน แต่การนำแนวคิดเหล่านั้นไปปฏิบัติจริงก็เป็นไปได้เพียงบางส่วน สิ่งที่ดีเหมือนจะประสบผลสำเร็จมากที่สุดก็คือการตอบสนองความต้องการส่วนบุคคล

ของครูวิทยาศาสตร์ที่สนใจการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียน ทั้งนี้เพราะครูวิทยาศาสตร์จำนวนมากกว่า 1,000 คน ได้แสดงความประสงค์การเข้าร่วม “การอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนาความสามารถของครูวิทยาศาสตร์ในการศึกษาความเข้าใจของนักเรียน” ซึ่งมีทั้งหมด 4 รุ่น เนื่องด้วยจำนวนผู้สมัครที่มากกว่าที่มี การประมาณไว้ การเพิ่มจำนวนผู้เข้าร่วมการอบรมฯ จากเดิมรุ่นละ 120 คน เป็นรุ่นละ 150 คน (รวมทั้งสิ้น 600 คน) จึงเป็นเรื่องจำเป็น ถึงแม้ว่าครูวิทยาศาสตร์อีกจำนวนหนึ่ง ต้องพลาดโอกาสนี้ไป

การอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนาความสามารถของครูวิทยาศาสตร์ในการศึกษาความเข้าใจของนักเรียนทั้ง 4 รุ่น มีขึ้นในวันที่ 7 – 9 กันยายน 2555 วันที่ 12 – 14 กันยายน 2555 วันที่ 21 – 23 กันยายน 2555 และวันที่ 25 – 27 กันยายน 2555 ตามลำดับ โดย ผศ.ดร. ขจรศักดิ์ บั้วระพันธ์ (2554) เป็นวิทยากรหลัก เนื้อหาของการอบรมเชิงปฏิบัติการนี้ประกอบด้วยความสำคัญของการศึกษาความเข้าใจของนักเรียน กระบวนการวิจัยเชิงคุณภาพ การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง การเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ และการเขียนรายงานวิจัยเชิงคุณภาพ ในงานนี้ สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา ได้รับความอนุเคราะห์จากคณาจารย์ต่างๆ ในการจัดทำเอกสารเรื่อง “การวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียน” เพื่อเผยแพร่ทั้งในการอบรมเชิงปฏิบัติการดังกล่าวและในเว็บไซต์ www.inquiringmind.in.th

ถึงแม้ว่าครูวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่แสดงความพึงพอใจการอบรมเชิงปฏิบัติการดังกล่าวในระดับ “ดี” และ “ดีมาก” แต่สิ่งที่ดูเหมือนจะประสบผลสำเร็จน้อยคือการพัฒนาด้านสังคมและการพัฒนาด้านวิชาชีพ กล่าวคือ การแลกเปลี่ยนเรียนรู้เกี่ยวกับการวิจัยเชิงคุณภาพและการศึกษาความเข้าใจของนักเรียนยังมีน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่า สิ่งเหล่านี้เป็นเรื่องค่อนข้างใหม่สำหรับครูวิทยาศาสตร์หลายคน การแลกเปลี่ยนเรียนรู้เรื่องเหล่านี้จึงมีอยู่อย่างจำกัด นอกจากนี้ หลังจากการอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อพัฒนาความสามารถของครูวิทยาศาสตร์ในการศึกษาความเข้าใจ

ของนักเรียนทั้ง 4 รุ่นไปแล้ว ไม่มีสิ่งใดๆ เลยที่สามารถรับประกันได้ว่า ครูวิทยาศาสตร์ที่ผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการดังกล่าวจะสามารถทำการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนได้ การทบทวนแนวทางการดำเนินโครงการ *Inquiring Mind “ครูไทย หัวใจสืบเสาะ”* ในปีงบประมาณ 2555 จึงตามมา

ปัจจุบัน

จากการทบทวนการดำเนินโครงการ *Inquiring Mind “ครูไทย หัวใจสืบเสาะ”* ในปีงบประมาณ 2555 สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา ได้เรียนรู้ว่า การเข้าร่วมการอบรมเชิงปฏิบัติการฯ คนละ 1 ครั้ง ในช่วงเวลาเพียง 3 วัน อาจไม่เพียงพอในการส่งเสริมให้ครูวิทยาศาสตร์สามารถทำการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนได้ (Claude & Ronald, 1991) นอกจากนี้การจัดการอบรมเชิงปฏิบัติการฯ ซึ่งเป็นกิจกรรมหลักของโครงการฯ เน้นให้ครูวิทยาศาสตร์เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมอย่างก้าวกระโดดเกินไป ทั้งๆ ที่การเรียนรู้เกี่ยวกับการวิจัยเชิงคุณภาพและการศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเป็นเรื่องที่ต้องอาศัยเวลา

จากประสบการณ์การทำงานร่วมกับครูในโรงเรียนเป็นเวลานาน Richardson (1990) เสนอว่า การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของครูควรเริ่มต้นอย่างค่อยเป็นค่อยไป โดยการเน้นให้ครูเกิดการเรียนรู้ทางวิชาชีพ “กอน” การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมกล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมใดๆ ของครูมักไม่ได้เกิดขึ้นจากความคาดหวังหรือแรงผลักดันโดยผู้อื่น แต่เกิดขึ้นจากการที่ครูเกิดการเรียนรู้บางสิ่งบางอย่างด้วยตัวเอง และผลจากการเรียนรู้เรื่องนั้นทำให้ครูเห็นว่า ตนเองควรปรับเปลี่ยนพฤติกรรมให้สอดคล้องกับสิ่งที่ตนเองได้เรียนรู้มา ความคาดหวังให้ครูเกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมโดยปราศจากการเรียนรู้จึงเป็นเรื่องที่แทบจะเป็นไปไม่ได้เลย

ด้วยเหตุนี้ สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา จึงได้ปรับเปลี่ยน แนวทางการส่งเสริมการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของ นักเรียน โดยการเสนอ “โครงการส่งเสริมการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อยกระดับคุณภาพ การเรียนการสอนวิทยาศาสตร์” ในปีงบประมาณ 2556 โครงการนี้เป็นการต่อยอดจากโครงการ *Inquiring Mind “ครูไทย หัวใจสีบเสาะ”* กิจกรรมของ โครงการฯ เริ่มต้นด้วยการเปิดรับข้อเสนอวิจัยเชิงคุณภาพจากครูวิทยาศาสตร์ ทั่วประเทศ โดยข้อเสนอวิจัยที่ผ่านการพิจารณาจะได้รับการสนับสนุนทางวิชาการ ผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการ 2 ครั้ง คือ 1. การอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อการเก็บและ วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ และ 2. การอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อการเขียนรายงานวิจัย เชิงคุณภาพ การอบรมเชิงปฏิบัติการทั้ง 2 ครั้งห่างกันประมาณ 3 – 4 เดือน ทั้งนี้เพื่อให้ครูวิทยาศาสตร์ที่เข้าร่วมโครงการฯ มีเวลาเพียงพอสำหรับการลงมือทำ การวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนด้วยตัวเอง

ครูวิทยาศาสตร์จากทั่วประเทศได้ส่งข้อเสนอวิจัยเชิงคุณภาพมาทั้งสิ้น 151 เรื่อง ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาวิทยาศาสตร์ทั้ง 8 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และ ครอบคลุมทุกระดับชั้นของการศึกษาขั้นพื้นฐาน ในจำนวนนี้ ข้อเสนอวิจัยเชิงคุณภาพ จำนวน 68 เรื่อง ผ่านการพิจารณา ในครั้งนี้ สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและ มาตรฐานการศึกษา ได้จัดการอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล เชิงคุณภาพ และการอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อการเขียนรายงานวิจัยเชิงคุณภาพ ในวันที่ 27 – 30 เมษายน 2556 และในวันที่ 8 – 10 สิงหาคม 2556 ตามลำดับ ต่อไปนี้ เป็นบทสรุปคร่าวๆ ของตัวอย่างผลงานวิจัยเชิงคุณภาพของครูวิทยาศาสตร์ที่เข้าร่วม โครงการฯ

ในบทความวิจัยเชิงคุณภาพเรื่อง “ความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 6 เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า” อาจารย์นงัฐกานต์ ดวงพร (2556) จากโรงเรียนอุตรพัฒนาการ จังหวัดอุตรธานี ได้ทำการศึกษาว่า นักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 9 คน มีความเข้าใจเกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

อย่างไร โดยนักเรียนทั้งหมดนี้ได้ผ่านการเรียนรู้เรื่องดังกล่าวมาแล้วในปีการศึกษาที่ผ่านมา ผู้วิจัยเก็บข้อมูลโดยการให้นักเรียนแต่ละคนตอบคำถามในแบบทดสอบจำนวน 2 ข้อ ร่วมกับการสัมภาษณ์นักเรียนแบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคล คำถามข้อที่ 1 เป็นสถานการณ์การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ ซึ่งประกอบด้วยสถานการณ์ย่อย 4 สถานการณ์ คำถามข้อที่ 2 เป็นสถานการณ์การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างเส้นลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านกับขดลวดตัวนำ ซึ่งประกอบด้วยสถานการณ์ย่อย 3 สถานการณ์ จากผลการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนทั้งหมด ผู้วิจัยได้เรียนรู้ว่า นักเรียนส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณาสาเหตุที่แท้จริงของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กที่ผ่านขดลวดตัวนำ) นักเรียนส่วนใหญ่พิจารณาเพียงแค่เหตุการณ์ทางกายภาพที่ปรากฏขึ้นเท่านั้น (นั่นคือ การเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันของแท่งแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ และ/หรือ การเคลื่อนที่เข้าหากันระหว่างแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ) ผลการวิจัยเชิงคุณภาพนี้จึงเป็นกรณีตัวอย่างหนึ่ง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่า ถึงแม้ว่านักเรียนได้ผ่านการเรียนการสอนเรื่องใดเรื่องหนึ่งมาแล้ว นักเรียนเหล่านั้นก็อาจยังไม่เข้าใจเรื่องนั้นอย่างถูกต้องและสมบูรณ์ ในการนี้ ผู้วิจัยเกิดความตระหนักว่า การจัดการเรียนการสอนเรื่องการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านมายังไม่ครอบคลุมสถานการณ์ต่างๆ ที่หลากหลายเพียงพอ

ในบทความวิจัยเชิงคุณภาพเรื่อง “ความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เกี่ยวกับดาวฤกษ์” อาจารย์ณัชชา เรือนมูล (2556) จากโรงเรียนเทิงวิทยาคม จังหวัดเชียงราย ได้ทำการศึกษาว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 6 คน มีความเข้าใจเกี่ยวกับดาวฤกษ์อย่างไร โดยผู้วิจัยต้องการนำผลการวิจัยที่ได้ไปใช้ในการออกแบบการจัดการเรียนการสอนเรื่องดาวฤกษ์ให้เหมาะสมกับผู้เรียนต่อไป ในการนี้ ผู้วิจัยเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคลด้วยคำถามปลายเปิด จำนวน 5 ข้อ คือ 1. ดาวฤกษ์คืออะไร 2. ดาวฤกษ์มีองค์ประกอบอะไรบ้าง 3. ดาวฤกษ์เกิดขึ้นได้อย่างไร 4. ดาวฤกษ์สร้างพลังงานได้อย่างไร และ 5. ดาวฤกษ์

มีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ และอย่างไร ตามลำดับ จากผลการวิเคราะห์คำตอบของนักเรียนทั้งหมด ผู้วิจัยได้เรียนรู้ว่า ถึงแม้ว่านักเรียนส่วนใหญ่มีความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับดาวฤกษ์ เช่น ดาวฤกษ์สร้างและปลดปล่อยพลังงาน ดาวฤกษ์ประกอบด้วยไฮโดรเจนและฮีเลียม ดาวฤกษ์เกิดจากการรวมกลุ่มกันของอนุภาคขนาดเล็กในอวกาศ พลังงานของดาวฤกษ์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ และดาวฤกษ์แต่ละดวงมีจุดจบแตกต่างกัน แต่นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่สามารถเชื่อมโยงความเข้าใจพื้นฐานเหล่านี้ได้ นั่นคือ นักเรียนส่วนใหญ่ยังไม่เข้าใจในภาพรวมว่า ปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ที่เกิดขึ้นบนดาวฤกษ์ มีไฮโดรเจนเป็นสารตั้งต้นและฮีเลียมเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งทั้งสองเป็นองค์ประกอบหลักของดาวฤกษ์ โดยปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์นี้จะเกิดขึ้นได้ ก็ต่อเมื่ออุณหภูมิภายในดาวฤกษ์มีค่าสูงถึงประมาณ 10 ล้านเคลวิน ซึ่งอุณหภูมิที่สูงระดับนี้เป็นผลมาจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของพลังงานศักย์ของอนุภาคขนาดเล็ก (เช่น ไฮโดรเจน) ซึ่งเคลื่อนที่มารวมกลุ่มกันเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างมวล ผลการวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางสำหรับผู้วิจัยว่า การจัดการเรียนการสอนเรื่องดาวฤกษ์จะต้องเน้นให้นักเรียนเหล่านี้เชื่อมโยงแนวคิดพื้นฐานต่างๆ เข้าด้วยกัน

ในบทความวิจัยเรื่อง “กรณีศึกษาความเป็นเอกภาพของคำอธิบายเกี่ยวกับการเกิดแรงแม่เหล็กของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6” อาจารย์ลลภา สุธกกุล (2556) จากโรงเรียนอนุบาลลำพูน จังหวัดลำพูน ได้ทำการศึกษาว่า นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 4 คน อธิบายการเกิดแรงแม่เหล็กใน 2 สถานการณ์ ได้สอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด โดยสถานการณ์ที่ 1 เป็นการเกิดแรงแม่เหล็กระหว่างแท่งแม่เหล็กและเหล็ก ส่วนสถานการณ์ที่ 2 เป็นการเกิดแรงแม่เหล็กระหว่างแท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง ในการนี้ ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์นักเรียนแบบกึ่งโครงสร้างเป็นรายบุคคล จากการเปรียบเทียบคำอธิบายของนักเรียนแต่ละคนอย่างละเอียด ผู้วิจัยได้เรียนรู้ว่า นักเรียน 2 คน อธิบายการเกิดแรงแม่เหล็กใน 2 สถานการณ์ได้สอดคล้องกัน ในขณะที่คำอธิบายของนักเรียนอีก 2 คน ไม่สอดคล้องกัน ผลการวิจัยนี้ได้ให้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการสร้างความเข้าใจของ

นักเรียนที่ว่า นักเรียนบางคนมีความเข้าใจที่สอดคล้องกันในทุกสถานการณ์ (Chi *et al.*, 1994) ในขณะที่นักเรียนบางคนมีความเข้าใจแบบแยกส่วน ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามแต่ละสถานการณ์ (DiSessa, 1993) ในการนี้ ผู้วิจัยเสนอว่า ครูวิทยาศาสตร์ควรเน้นย้ำให้นักเรียนเข้าใจ “ธรรมชาติของความรู้ทางวิทยาศาสตร์” ประการหนึ่งที่ว่า คำอธิบายใดๆ จะได้รับการยอมรับในทางวิทยาศาสตร์ ก็ต่อเมื่อคำอธิบายนั้นต้องมีความเป็นเอกภาพที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันได้อย่างสอดคล้องกัน ความเข้าใจนี้จะช่วยให้นักเรียนตรวจสอบว่า คำอธิบายของตนเองสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันได้อย่างสอดคล้องกันเพียงใด อันจะนำไปสู่การปรับเปลี่ยนคำอธิบาย (และความเข้าใจ) ของตนเองให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น (Posner *et al.*, 1982)

ผลการวิจัยเชิงคุณภาพทั้ง 3 เรื่องข้างต้นเป็นสิ่งที่ยืนยันว่า การวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนเป็นกิจกรรมที่มีคุณค่า ซึ่งเอื้อให้ครูวิทยาศาสตร์เกิดการเรียนรู้ทางวิชาชีพ โดยเฉพาะความรู้ด้านผู้เรียน นอกจากนี้ ผลการวิจัยเชิงคุณภาพทั้ง 3 เรื่องข้างต้นยังเป็นสิ่งที่ยืนยันว่า สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา ได้ดำเนินโครงการฯ มาในทิศทางที่ถูกต้อง กล่าวคือ การอบรมเชิงปฏิบัติการ เป็นระยะ ร่วมกับการสื่อสารผ่านทั้งทางเว็บไซต์ และทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์อย่างสม่ำเสมอ สามารถช่วยให้ครูวิทยาศาสตร์เกิดการเรียนรู้ และทำวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อสำรวจความเข้าใจของนักเรียนได้สำเร็จจุลวง ซึ่งตรงกันข้ามกับการอบรมเชิงปฏิบัติการเพียงครั้งเดียวในช่วงเวลาสั้นๆ

อย่างไรก็ตาม สิ่งที่คุณเหมือนจะยังคงประสบผลสำเร็จจนน้อยที่สุดก็คือ การสร้างเครือข่ายของครูวิทยาศาสตร์ในโครงการฯ ถึงแม้ว่าผู้ที่เข้าชมเว็บไซต์ของโครงการฯ อย่างสม่ำเสมอ มีจำนวนหนึ่งในแต่ละวัน แต่การแสดงความคิดเห็น และการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ผ่านทางเว็บไซต์ของโครงการฯ ยังคงมีน้อย สิ่งนี้เป็นโจทย์ที่สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา ต้องขบคิดกันต่อไป

อนาคต

ในช่วงเวลาเกือบ 2 ปีของการดำเนินโครงการ *Inquiring Mind* “ครูไทย หัวใจสืบเสาะ” และโครงการส่งเสริมการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อยกระดับคุณภาพการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา ได้ทบทวน เรียนรู้ และปรับเปลี่ยนแนวทางการดำเนินการมาโดยตลอด จนกระทั่งครูวิทยาศาสตร์จำนวนหนึ่งสามารถสร้างผลงานวิจัยเชิงคุณภาพที่พร้อมสำหรับการเผยแพร่สู่สาธารณะ และเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ในวงกว้างต่อไป

แนวทางหนึ่งของการนำผลการวิจัยเชิงคุณภาพเกี่ยวกับความเข้าใจของนักเรียนมาใช้ประโยชน์ก็คือการสังเคราะห์ผลการวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาวิทยาศาสตร์เดียวกันให้ออกมาในรูปแบบของ “ลำดับขั้น” ซึ่งแสดงถึงความก้าวหน้าในการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องนั้น (Learning Progressions in Science) โดยเรียงจากความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนมากที่สุดไปยังความเข้าใจที่ถูกต้องทางวิทยาศาสตร์ ดังตัวอย่างในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงลำดับขั้นของความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการจมและการลอยของวัตถุในของเหลว ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้น ดังนี้

1. การจมและการลอยของวัตถุใดๆ ขึ้นอยู่กับมวลหรือปริมาตรของวัตถุนั้น
2. การจมและการลอยของวัตถุใดๆ ขึ้นอยู่กับมวลและปริมาตรของวัตถุ
3. การจมและการลอยของวัตถุใดๆ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุนั้น
4. การจมและการลอยของวัตถุใดๆ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นสัมพัทธ์ระหว่างวัตถุนั้นและของเหลว

ตารางที่ 1 ลำดับชั้นความเข้าใจของนักเรียนเกี่ยวกับการรวมการลอย (Corcoran *et al.*, 2009: 69)

ลำดับชั้น		ความเข้าใจของนักเรียน	กิจกรรมการเรียนรู้
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">ถูกต้อง</div> <div style="margin: 0 10px;">↑</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">คลาด</div> <div style="margin: 0 10px;">↓</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">เคลื่อน</div> </div>	ความหนาแน่นสัมพัทธ์	ทั้งมวลและปริมาตรของวัตถุเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุในของเหลวใดๆ โดยการจมลอยของวัตถุจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุเทียบกับความหนาแน่นของของเหลวนั้น	
	ความหนาแน่น	ทั้งมวลและปริมาตรของวัตถุเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุในของเหลวใดๆ โดยการจมลอยของวัตถุจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างมวลและปริมาตรของวัตถุ (ความหนาแน่นของวัตถุ)	การทดลองเพื่อศึกษาว่าการจมลอยของวัตถุไม่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุเท่านั้น แต่ขึ้นกับความหนาแน่นของเหลวด้วย
	มวล และ ปริมาตร	ทั้งมวลและปริมาตรของวัตถุเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุในของเหลวใดๆ	การทดลองเพื่อศึกษาว่าอัตราส่วนระหว่างมวลและปริมาตรของวัตถุส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุ
	มวล หรือ ปริมาตร	มวลหรือปริมาตรของวัตถุเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุในของเหลวใดๆ	การทดลองเพื่อศึกษาว่าทั้งมวลและปริมาตรของวัตถุส่งผลต่อการจมลอยของวัตถุ

ลำดับชั้นนี้จะเป็นแนวทางสำหรับครูวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์ความเข้าใจของนักเรียนแต่ละคน และการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนแต่ละคน “ก้าว” ไปยังลำดับชั้นของความเข้าใจที่สูงขึ้นไปจนกระทั่งถึงลำดับชั้นสูงสุด ซึ่งเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ ลำดับชั้นที่ได้จากการสังเคราะห์ผลการวิจัยเชิงคุณภาพนี้จึงเป็นเสมือน “แผนที่” ในการพัฒนาความเข้าใจของนักเรียนเรื่องต่างๆ (Black *et al.*, 2011)

นอกจากนี้ เนื่องจากครูวิทยาศาสตร์กลุ่มหนึ่งสามารถทำการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาความเข้าใจของนักเรียนได้ ครูวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้จึงมีศักยภาพในการสร้างความเข้าใจกับครูวิทยาศาสตร์อื่นๆ ที่ยังไม่คุ้นเคย(และอาจไม่เห็นคุณค่า)ของการศึกษาความเข้าใจของนักเรียนโดยใช้การวิจัยเชิงคุณภาพ การขับเคลื่อนเจตนาธรรมณ์และกิจกรรมของโครงการฯ โดยครูวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจไม่น้อย ซึ่งอาจอยู่ในรูปแบบของ “ชุมชนแห่งการปฏิบัติงาน” (Communities of practice) ที่ซึ่งกลุ่มคนที่มีความสนใจคล้ายกันได้แลกเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างกันผ่านการปฏิบัติงานจริง (Wenger, 1998)

ในท้ายที่สุดนี้ สถาบันวิทยาศาสตร์ สำนักวิชาการและมาตรฐานศึกษา เล็งเห็นว่า การเรียนรู้ที่สำคัญที่สุดจากการดำเนินโครงการฯ ที่ผ่านมาก็คือว่า นักเรียนแต่ละคนมีความเข้าใจเดิมของตัวเองในเรื่องต่างๆ ซึ่งความเข้าใจเดิมเหล่านี้ อาจส่งเสริมหรือกีดขวางการเรียนรู้เนื้อหาใหม่ได้ ดังนั้น การศึกษาความเข้าใจของนักเรียนแต่ละคนอย่างละเอียดจึงไม่ใช่เรื่องของครูวิทยาศาสตร์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง หากแต่เป็นเรื่องของครูวิทยาศาสตร์ทุกคน

เอกสารอ้างอิง

- ขจรศักดิ์ บัวระพันธ์. (2554). **วิจัยเชิงคุณภาพไม่ยากอย่างที่คิด**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: คอมมาดีไซน์แอนด์พริ้นท์.
- ณัชชา เรือนมูล. (2556). **ความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เกี่ยวกับดาวฤกษ์**. ต้นฉบับรายงานวิจัยที่ยังไม่มีการเผยแพร่.
- นัฐกานต์ ดวงพร. (2556). **ความเข้าใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า**. ต้นฉบับรายงานวิจัยที่ยังไม่มีการเผยแพร่.

- ลฎาภา สุททฎ. (2556). กรณียคคษาความเป็นเอกภาพของคำอธิบายเก็ยวกับการ
เกิดแรงแม่เหล็กของนักเรียนชั้นประถมศคษาปีที่ 6. ต้นฉบับรายงาน
วจัยที่ยังไม่มีการเผยแพร.
- สำนักงานคณะกรรมการการศคษาแห่งชาติ. (2545). พระราชบัญญัติการศคษา
แห่งชาติ พ.ศ. 2542 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2545). กรุงเทพฯ: บริษัทพริก
หวานกราฟฟิค จำกัด.
- Bell, B. & Gilbert, J. (1994). Teacher Development as Professional, Personal, and
Social Development. **Teaching and Teacher Education**, 10(5), 483 –
497.
- Black, P., Wilson, M., & Yao, S. (2011). Road Maps for Learning: A Guide to the
Navigation of Learning Progressions. **Measurement**, 9(2 – 3), 97 –
123.
- Briscoe, C. & Wells, E. (2002). Reforming Primary Science Assessment Practices: A
Case Study of One Teacher’s Professional Development through Action
Research. **Science Education**, 86(3), 417 – 435.
- Capoboanco, B. M., Lincoln, S., Canuel–Browne, D., & Trimarchi, R. (2006).
Examining the Experiences of Three Generations of Teachers through
Collaborative Science Teacher Inquiry. **Teacher Education Quarterly**,
33(3), 61 – 78.
- Chi, M., Slotta, J. & de Leeuw, N. (1994). From Things to Processes: A Theory of
Conceptual Change for Learning Science Concepts. **Learning and
Instruction**, 4(1), 27 – 44.
- Claude, G. & Ronald, G. (1991). Changing Teaching Takes More Than a One–Shot
Workshop. **Educational Leadership**, 49(3), 69 – 72.

- Corcoran, T., Mosher, F. A., & Roget, A. (2009). **Learning Progressions in Science: An Evidence-Based Approach to Reform**. Columbia University: Center on Continuous Instructional Improvement Teachers College
- DiSessa, A. (1993). Toward an Epistemology of Physics. **Cognition and Instruction**, 10(23), 105 – 226.
- Driver, R., Leach, J., Scott, P., & Wood–Robinson, V. (1994). Young People’s Understanding of Science Concepts: Implications of Cross–Age Studies for Curriculum Planning. **Studies in Science Education**, 24(1), 75 – 100.
- Feldman, A. & Capobianco, B. M. (2000). Action Research in Science Education. **ERIC Document Reproduction Service**. ED 463 944.
- Gobert, J. D. (2000). A Typology of Causal Models for Plate Tectonics: Inferential Power and Barriers to Understanding. **International Journal of Science Education**, 22(9), 937 – 977.
- Goodnough, K. (2001). Teacher Development through Action Research: A Case Study of an Elementary Teacher. **Action in Teacher Education**, 23(1), 37 – 46.
- Jones, M. G., Carter, G., & Rua, M. J. (1999). Children’s Concepts: Tools for Transforming Science Teachers’ Knowledge. **Science Education**, 83(5), 545 – 557.
- Kang, N. (2007). Elementary Teachers’ Teaching for Conceptual Understanding: Learning from Action Research. **Journal of Science Teacher Education**, 18(4), 469 – 495.

- Papastephanou, M., Valanides, N., & Angeli, C. (2005). Action Research and Science Education. **Science Education International**, 17(2), 77 – 88.
- Pedretti, E. & Hodson, D. (1995). From Rhetoric to Action: Implementing STS Education through Action Research. **Journal of Research in Science Teaching**, 32(5), 463 – 485.
- Pfundt, H. & Duit, R. (2009). **Bibliography – STCSE: Students’ and Teachers’ Conceptions and Science Education**. (Online). Available at: <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/> (23 August 2013).
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. **Science Education**, 66(2), 211 – 227.
- Richardson, V. (1990). Significant and Worthwhile Change in Teaching Practice. **Educational Researcher**, 19(7), 10 – 18.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of New Reform. **Harvard Education Review**, 57(1), 1 – 22.
- Tabachnick, B. R. & Zeichner, K. M. (1999). Idea and Action: Action Research and the Development of Conceptual Change Teaching of Science. **Science Education**, 83(3), 309 – 322.
- van Zee, E. H., Lay, D., & Robert, D. (2003). Fostering Collaborative Inquiries by Propective and Practicing Elementary and Middle School Teachers. **Science Education**, 87(4), 588 – 612.
- Wenger, E. (1998). **Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity**. Cambridge: Cambridge University Press.