Original Article

ผลการใช้รูปแบบการเรียนการสอนตามแนวคิดการเรียนรู้เชิงออกแบบผสานกับประสาทวิทยศึกษาศาสตร์เพื่อส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญา และความเครียดในการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

วาสนา รุ่งอนุรักษ์[1], ทัศนีย์ บุญเติม[2], สุวิทย์ อุปลัย[3]

[1]นักศึกษาหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาหลักสูตรและการเรียนการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[2]บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

[3]คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผู้รับผิดชอบบทความ: สุวิทย์ อุปลัย คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของรูปแบบการเรียนการสอนตามแนวคิดการเรียนรู้เชิงออกแบบผสานกับประสาทวิทยศึกษาศาสตร์ (DEN) ที่มีต่อ 1) ความสามารถในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือในด้านความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา และความสามารถในการคิดแก้ปัญหา 2) ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาในด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน และ 3) ความเครียดในการเรียน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนน้ำโสมพิทยาคม จังหวัดอุดรธานี ปีการศึกษา 2562 กลุ่มทดลอง จำนวน 35 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 28 คน กลุ่มทดลองได้รับการสอนตามรูปแบบการเรียนการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้น กลุ่มควบคุมได้รับการสอนด้วยรูปแบบการเรียนการสอนตามคู่มือครูฉบับของ สสวท. รูปแบบการวิจัยเป็นการวิจัยแบบกึ่งทดลองที่มีกลุ่มควบคุมทดสอบก่อนและหลังเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แบบวัดความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา 2) แบบวัดทักษะการคิดแก้ปัญหา 3) แบบวัดความตั้งใจ 4) แบบวัด

รับต้นฉบับ 13 พฤษภาคม 2563, ปรับปรุงต้นฉบับ 1 มิถุนายน 2563, ตอบรับต้นฉบับตีพิมพ์ 4 มิถุนายน 2563

ความจำขณะทำงาน 5) แบบประเมินความเครียด (ST5) ฉบับกรมสุขภาพจิต และ 6) แบบสอบถามความรู้สึกที่มีต่อสาเหตุของความเครียดในการเรียน ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการเรียนการสอน ฯ ที่พัฒนาขึ้น มีขั้นตอนในการจัดการเรียนการสอน 5 ขั้นตอน คือ 1) รับรู้ปัญหา 2) นำพาความรู้ 3) มุ่งสู่คำตอบ 4) ตรวจสอบร่วมกัน และ 5) สรุปและประเมินผล สามารถทำให้นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการเรียนการสอนแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และยังมีคะแนนความเครียดจากการเรียนน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

หลักการและเหตุผล

การแก้ปัญหาเป็นกระบวนการทางปัญญาขั้นสูงของผู้เรียนที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งความรู้ในเนื้อหาวิชาตลอดจนทักษะในการเรียนและเป็นตัวบ่งชี้ความสำเร็จของการเรียนคือนอกจากผู้เรียนจะเกิดองค์ความรู้จากการเรียนแล้วผู้เรียนยังสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้โดยใช้กระบวนการทางปัญญาของผู้เรียนได้[1] แต่เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการแก้ปัญหาของเด็กไทยจากการประเมินการแก้ปัญหาของ PISA 2003, PISA 2006, PISA 2009, PISA 2012 พบว่าเด็กไทยอายุ 15 ปี มีความสามารถในการแก้ปัญหาระดับต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด[2] นอกจากนี้ปัจจุบันทั่วโลกได้ตระหนักถึงความสำคัญของการแก้ปัญหาที่เน้นการทำงานร่วมกันเป็นทีม ในปี 2015 โครงการ PISA ได้เพิ่มการประเมินสมรรถนะในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ (Collaborative Problem Solving Competency หรือ CPS) เพื่อประเมินความสามารถของนักเรียนที่จะสามารถเข้าร่วมในกระบวนการแก้ปัญหาร่วมกับสมาชิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการแบ่งปันความเข้าใจที่มี และรวบรวมความรู้ ทักษะและความพยายามเข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหา นักเรียนต้องใช้ทั้งการแก้ปัญหาและทักษะการทำงานแบบร่วมมือกับเพื่อนในกลุ่ม ทำให้ภารกิจในข้อสอบสำเร็จ ลุล่วง โดยให้สถานการณ์ในชีวิตจริงที่สมาชิกในกลุ่มต้องร่วมกันแก้ปัญหาผ่านการทำข้อสอบด้วยคอมพิวเตอร์ และนักเรียนเป็นหนึ่งในสมาชิกของกลุ่มที่ต้องทำความเข้าใจกับเป้าหมายและเงื่อนไขของภารกิจที่ได้รับมอบหมาย รู้บทบาทหน้าที่ของตนเองและเพื่อน แล้วสื่อสาร แบ่งปันข้อมูล และร่วมกันแก้ปัญหากับเพื่อนในกลุ่มให้สำเร็จ[3] ผลการประเมินสมรรถนะในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือตามโครงการ PISA พบว่านักเรียนไทยยังขาดสมรรถนะในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือ โดยได้คะแนนเฉลี่ยสมรรถนะในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือเท่ากับ 436 คะแนน ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยกลางของทุกประเทศที่เข้ารับการประเมิน[4] ทั้งนี้อาจเนื่องจากการจัดการเรียนการสอนที่เน้นการท่องจำไม่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงทำให้ผู้เรียนเบื่อการเรียนที่ไม่สามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ไม่เน้นการฝึกภาคปฏิบัติและไม่เน้นให้ผู้เรียนฝึกคิดแก้ปัญหา[5] ครูขาดการสะท้อนธรรมชาติของวิทยาศาสตร์ ขาดการเชื่อมโยงความรู้กับชีวิตจริง[6]

ดังเช่น[7] ได้กล่าวว่า ครูเป็นบุคคลสำคัญที่สุด ที่จะต้องมีความรอบรู้ มีความเป็นมืออาชีพ มีความสามารถและศักยภาพสูง มีความสามารถในการประยุกต์ใช้นวัตกรรมทางการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมและพัฒนาผู้เรียนให้มีเป้าหมายทางการศึกษาที่สอดคล้องกับ พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 ที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2553 ในหมวด 4 แนวทางการจัดการศึกษา โดยเฉพาะมาตรา 24 ระบุว่า การจัดการเรียนรู้ต้องฝึกทักษะกระบวนการคิด การจัดการ การเผชิญสถานการณ์และประยุกต์ใช้ เพื่อป้องกันและแก้ปัญหา ฝึกให้ผู้เรียนคิดเป็น ทำเป็นและแก้ปัญหาเป็น[8]

แนวทางหนึ่งในการพัฒนาการเรียนการสอนที่นักการศึกษาหลายท่าน เช่น[9-17] นำเสนอไว้ คือการนำแนวคิดการเรียนรู้เชิงออกแบบ (Design-Based Learning Approach) มาเป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอน เพราะขณะที่นักเรียนกำลังออกแบบสิ่งประดิษฐ์ เพื่อแก้ปัญหานั้น นักเรียนต้องสืบเสาะ แสวงหาความรู้เพื่อให้ได้ความรู้ที่จะนำมาใช้ในการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ผลการออกแบบจะช่วยให้นักเรียนเข้าใจความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบนั้น การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดการเรียนรู้เชิงออกแบบสามารถส่งเสริมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ในหลายด้านได้แก่ด้านความรู้[11,14,15,17] การประยุกต์ใช้ความรู้[11,18] ทักษะกระบวนการ[14] จิตวิทยาศาสตร์ [15,17] และส่งเสริมความสามารถในการสื่อสารและการทำงานร่วมกันเป็นทีมที่เกิดจากความคิดและจินตนาการของผู้เรียนโดยเฉพาะการสื่อสารด้วยภาพ การสร้างแบบร่าง การนำเสนอข้อมูล การสื่อสารเหล่านี้เกิดขึ้นระหว่างผู้เรียนที่มีการออกแบบร่วมกันผ่านการทำงานเป็นกลุ่มระดมสมอง แลกเปลี่ยนเรียนรู้ และการแก้ปัญหาร่วมกัน[10]

ปัจจุบันมีการนำแนวคิดด้านประสาทวิทยศึกษาศาสตร์ (neuroscience) มาใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่คำนึงถึงการทำงานของสมองที่มีผลต่อการเรียนรู้ ความจำ ความตั้งใจและกระบวนการทางพุทธิปัญญา[19] เพราะมีความเกี่ยวเนื่องกับความสามารถทางสติปัญญาขั้นสูง ได้แก่ การมีเหตุผล การแก้ปัญหาและการเรียนรู้[20] ทั้งนี้ความตั้งใจ (attention) ส่งผลต่อความจำขณะทำงาน (working memory) เพราะความตั้งใจ เป็นความสามารถด้านพุทธิปัญญาที่ส่งผลดีต่อการลงรหัส (encoding) ของข้อมูลเพื่อเข้าสู่ในความจำขณะทำงานเพื่อนำไปเก็บเป็นความจำระยะยาวหรือความจำถาวร (long-term memory) และการระลึกได้ (retrieval) ในเวลาต่อมา[15]

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยมุ่งที่จะพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนโดยใช้แนวคิดการเรียนรู้เชิงออกแบบผสานกับประสาทวิทยศึกษาศาสตร์ โดยจัดสถานการณ์ปัญหาที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวัน ผู้เรียนได้ร่วมกันสืบเสาะแสวงหาความรู้และนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาผ่านกระบวนการกลุ่ม ผู้เรียนได้ร่วมคิดร่วมทำ ร่วมกันอภิปรายและแสดงความคิดเห็น ลงมือปฏิบัติเพื่อออกแบบ สร้าง และพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ในการแก้ปัญหา ในบรรยากาศการ

เรียนรู้ที่ผ่อนคลายไม่ก่อให้เกิดความเครียดทางการเรียน นักเรียนจะได้มีโอกาสทบทวนความรู้เชื่อมโยงความรู้ และนำความรู้ไปใช้เพื่อแก้ปัญหาผ่านการทำงานเป็นทีมก่อเกิดการพัฒนาความสามารถทางสมองเชิงพุทธิปัญญา โดยเฉพาะความตั้งใจและความจำขณะทำงาน ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหาและความสามารถในการคิดแก้ปัญหาของผู้เรียนต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลการใช้รูปแบบการเรียนการสอน ฯ ที่พัฒนาขึ้นที่มีต่อ 1) ความสามารถในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือโดยการเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา และความสามารถในการคิดแก้ปัญหาของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม 2) ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญา โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความถูกต้องและเวลาในการตอบสนองในการปฏิบัติภาระงานจากแบบทดสอบความตั้งใจและความจำขณะทำงานของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม และ 3) ความเครียดทางการเรียน โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเครียด (ST5) และสาเหตุความเครียดทางการเรียน ของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

วิธีดำเนินการศึกษา

การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยแบบกึ่งทดลองที่มีกลุ่มควบคุมทดสอบก่อนและหลัง (pretest - posttest control group design) ตามรายละเอียดดังนี้

1. ประชากรเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจำนวน 15 ห้องเรียน รวม 496 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนน้ำโสมพิทยาคม จังหวัดอุดรธานี ปีการศึกษา 2562 กลุ่มทดลอง จำนวน 35 คน และกลุ่มควบคุม จำนวน 28 คน ได้รับการสอนตามรูปแบบการเรียนการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้น และกลุ่มควบคุม จำนวน 28 คน ได้รับการสอนด้วยรูปแบบการเรียนการสอนตามคู่มือครูฉบับของ สสวท.

3. ตัวแปรที่ศึกษา คือ 1) ตัวแปรต้นคือวิธีการจัดการเรียนรู้แบ่งเป็น 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 การจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบการเรียนการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้น มี 5 ขั้น คือ ขั้นรับรู้ปัญหา ขั้น นำพาความรู้ ขั้นมุ่งสู่คำตอบ ขั้นตรวจสอบร่วมกัน และขั้นสรุปและประเมินผล ส่วนวิธีที่ 2 การจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบการเรียนการสอนแบบปกติ (5Es) มี 5 ขั้นคือ ขั้นสร้างความสนใจ ขั้นสำรวจและค้นหา ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป ขั้นขยายความรู้ และ ขั้นประเมิน ส่วน 2) ตัวแปรตามคือ (1) ความสามารถในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือในด้าน ความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหาและความสามารถในการคิดแก้ปัญหา (2) ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาในด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน (3) ความเครียดในการเรียน

4. เครื่องมือในการวิจัย คือ 4.1) แบบวัดความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา

ความยากง่าย (p) ระหว่าง 0.44 - 0.75 และค่าอำนาจจำแนก (r) ระหว่าง 0.50 - 1.00 และค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.88 4.2) แบบวัดความสามารถในการคิดแก้ปัญหาของ[21] ได้รายงานค่าความยากอยู่ระหว่าง 0.22 - 0.74 ค่าอำนาจจำแนก 0.22 - 0.79 ค่าความเชื่อมั่น KR - 20 เท่ากับ 0.81 และหาค่าความเชื่อมั่นซ้ำอีกครั้ง KR - 20 เท่ากับ 0.86 4.3) แบบวัดความตั้งใจมี ลักษณะเป็น Computerize Battery Test ซึ่ง[22] ได้รายงานค่าความเชื่อมั่นอยู่ระหว่าง 0.822 - 0.979 4.4) แบบวัดความจำขณะทำงานมีลักษณะเป็น Computerize Battery Test[22] ซึ่งได้รายงานค่าความเชื่อมั่นอยู่ระหว่าง 0.939 - 0.998 4.5) แบบประเมินความเครียด (ST5) ของกรมสุขภาพจิต และ 4.6) แบบสอบถามสาเหตุของความเครียดในการเรียนของ[23] หาค่าความเชื่อมั่นซ้ำอีกครั้งได้ค่า เท่ากับ 0.91

ผลการศึกษา

1. ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาทำงานแบบร่วมมือ ในด้านความสามารถในการร่วมกันเพื่อแก้ปัญหาและความสามารถในการคิดแก้ปัญหา ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบค่าสถิติ Hotelling T^2 พบว่า ก่อนเรียนไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (T^2 =0.011 ; $F_{(2, 60)}$ = 0.345 ; p = 0.710) ส่วนหลังเรียน มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (T^2 =3.523 ; $F_{(2, 60)}$ = 105.678 ; p = 0.000) ดังนั้นจึงทดสอบความแตกต่างรายคู่โดยการทดสอบ univariate ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบ univariate

ตัวแปร	หลังเรียน				F
	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม		
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	
ความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา	29.54	1.80	18.71	4.40	175.941**
ความสามารถในการคิดแก้ปัญหา	10.80	2.01	7.75	2.05	35.189**

** p<.01 เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 1 นักเรียนกลุ่มทดลองมีความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา และความสามารถในการคิดแก้ปัญหา หลังเรียนสูงกว่า นักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

2. ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความถูกต้อง(ACC) ในการปฏิบัติภาระงานความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความตั้งใจ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบค่าสถิติ Hotelling T^2 พบว่า ก่อน

เรียนไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (T^2 = 0.097 ; $F_{(8, 54)}$ = 0.655 ; p = 0.728) ส่วนหลังเรียน พบว่า มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (T^2 = 6.826 ; $F_{(8, 54)}$ = 46.078 ; p = 0.00) ดังนั้นจึงทดสอบความแตกต่างรายคู่โดยการทดสอบ univariate ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

3. ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความถูกต้อง (ACC) ในการปฏิบัติภาระงาน ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความจำขณะทำงาน ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบค่าสถิติ Hotelling T^2 พบว่า ก่อนเรียน ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (T^2 = 0.418 ; $F_{(17, 45)}$ = 1.106 ; p = 0.378) ส่วนหลังเรียน พบว่ามีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (T^2 = 12.720 ; $F_{(17, 45)}$ = 33.672 ; p = 0.000) และเมื่อพิจารณาความแตกต่างรายคู่โดยการทดสอบ univariate ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความถูกต้อง (ACC) ในการปฏิบัติภาระงาน ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้าน ความตั้งใจและความจำขณะทำงานหลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบ univariate

ตัวแปร	หลังเรียน				F
	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม		
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	
1. ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความตั้งใจ					
SR-dot	38.60	4.73	35.00	4.51	9.385**
Focus-dot	9.37	0.65	8.61	0.50	26.584**
Sustain-dot	9.00	0.77	8.25	0.59	18.248**
Select ch-letter Thai (20)	45.37	6.83	39.93	2.40	16.155**
Select ch-letter Thai (21)	18.94	0.91	16.96	2.46	19.464**
SR-letter	44.06	3.98	28.18	5.08	193.563**
Focus-letter	9.34	0.68	8.21	0.63	45.435**
Sustain-letter	9.57	0.56	8.86	1.08	11.527**
2. ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความจำขณะทำงาน					
Stoop	82.74	6.07	71.07	10.49	30.583**
Flanker-arrow	84.86	7.03	78.89	9.01	8.711**
Odd-even	37.46	7.01	26.93	6.00	39.774**
Vowel- consonant	44.94	3.60	36.07	4.67	72.523**
Switch-Thai Letter Number	36.11	3.59	28.36	5.53	45.173**
Left-right	55.60	6.28	47.00	8.83	20.363**

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยความถูกต้อง (ACC) ในการปฏิบัติภาระงานความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้าน ความตั้งใจและความจำขณะทำงานหลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบ univariate (ต่อ)

ตัวแปร	หลังเรียน				F
	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม		
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	
Up-down	58.09	2.76	50.89	5.31	48.063**
Switch-up-down-left-right	42.69	3.70	36.89	4.79	29.315**
2 word span	4.40	0.55	3.32	0.48	66.872**
3 word span	13.49	1.22	11.57	1.62	28.595**
4 word span	3.69	0.47	2.64	0.56	64.613**
0 number updating	4.51	0.51	3.61	0.57	44.821**
1 number updating	10.20	1.86	8.71	1.78	10.302**
2 number updating	4.71	0.46	3.68	0.67	52.877**
รามเกียรติ 0-back	4.31	0.53	3.36	0.56	48.371**
รามเกียรติ 1-back	3.32	0.48	2.82	0.61	31.396**
รามเกียรติ 2-back	2.89	0.63	2.36	0.49	33.649**

** p<.01 เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 2 นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความถูกต้อง (ACC) ในการปฏิบัติภาระงาน ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความตั้งใจ และความจำขณะทำงาน หลังเรียนสูงกว่า นักเรียนกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

4. ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยของเวลาในการตอบสนอง (RT) ในการปฏิบัติภาระงาน ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความตั้งใจ ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบค่าสถิติ Hotelling T^2 พบว่า ก่อนเรียน ไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($T^2 = 0.407$; $F_{(8, 54)} = 2.750$; $p = 0.013$) ส่วนหลังเรียน มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($T^2 = 2.915$; $F_{(8, 54)} = 19.678$; $p = 0.000$) และเมื่อพิจารณาความแตกต่างรายคู่โดยการทดสอบ univariate ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

5. ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยของเวลาในการตอบสนอง (RT) ในการปฏิบัติภาระงาน ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความจำขณะทำงาน ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบค่าสถิติ Hotelling T^2 พบว่าก่อนเรียนไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ($T^2 = 0.132$; $F_{(17, 45)} = 0.363$; $p = 0.987$) ส่วนหลังเรียน พบว่า มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่าง

มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (T^2 = 10.778 ; $F_{(17, 45)}$ = 28.529 ; p = 0.000) และเมื่อพิจารณาความแตกต่างรายคู่โดยการทดสอบ univariate ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแตกต่างเวลาตอบสนอง (RT) ในการปฏิบัติภาระงานความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้าน ความตั้งใจและความจำขณะทำงานหลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบ univariate

ตัวแปร	หลังเรียน				F
	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม		
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	
1. ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความตั้งใจ					
SR-dot	368.74	43.06	409.83	66.03	8.861**
Focus-dot	372.11	47.27	418.23	69.67	9.750**
Sustain-dot	401.90	48.06	437.01	76.41	4.953*
Select ch-letter Thai(20)	444.02	35.58	516.65	49.70	45.612**
Select ch-letter Thai(21)	483.78	41.16	545.40	37.07	38.043**
SR-letter	502.41	71.22	529.88	76.14	2.177
Focus-letter	381.99	66.22	485.35	79.42	31.744**
Sustain-letter	457.59	55.23	525.11	58.45	1.987**
2. ความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความจำขณะทำงาน					
Stoop	512.67	39.12	562.98	66.85	13.903**
Flanker-arrow	523.56	45.18	542.22	59.05	2.021
Odd-even	535.37	34.67	590.25	109.71	7.812**
Vowel- consonant	505.67	50.28	592.70	45.55	50.619**
Switch-Thai Letter Number	536.98	62.19	604.22	54.82	20.176**
Left-right	457.19	46.10	496.10	67.77	7.323**
Up-down	456.56	52.25	524.62	65.55	21.051**
Switch-up-down-left-right	458.34	81.38	485.07	99.15	1.382
2 word span	3777.59	389.72	4071.20	589.97	5.617*
3 word span	4613.80	73.85	4931.88	450.83	16.922**
4 word span	4165.12	297.81	4251.44	254.52	1.484
0 number updating	1507.54	166.12	1520.64	190.46	0.085
1 number updating	2556.77	46.17	3270.64	451.76	86.614**
2 number updating	961.83	180.27	1059.92	116.28	6.212**
รามเกียรติ 0-back	369.29	42.25	414.77	45.37	16.874**
รามเกียรติ 1-back	338.47	51.25	447.08	72.55	48.364**
รามเกียรติ 2-back	365.04	17.69	431.20	32.80	104.643**

* p<.05 เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

** p<.01 เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 3 นักเรียนกลุ่มทดลองใช้เวลาในการตอบสนอง (RT) ในการปฏิบัติภาระงานความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน หลังเรียนน้อยกว่านักเรียนกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยภาพรวมยกเว้น แบบทดสอบย่อย ด้านความตั้งใจ (SR-letter) แบบทดสอบย่อยความจำขณะทำงาน(switch-up-down-left-right, 4 word span และ 0 number updating) ไม่พบความแตกต่างของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พบว่าในแบบทดสอบย่อยด้านความตั้งใจ (SR-letter) แบบทดสอบย่อยความจำขณะทำงาน (switch-up-down-left-right, 4 word span และ 0 number updating) นักเรียนใช้เวลาในการตอบสนอง ในการปฏิบัติภาระงานน้อยกว่ากลุ่มควบคุม

6. ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยของความเครียดทางการเรียนระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยการทดสอบค่าสถิติ Hotelling T^2 พบว่า ก่อนเรียนไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (T^2 =0.114 ; $F_{(2, 60)}$ = 3.418 ; p = 0.039) ส่วนหลังเรียน พบว่ามีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 (T^2 =0.365 ; $F_{(2, 60)}$ = 10.954 ; p = 0.000) ดังนั้นจึงทดสอบความแตกต่างรายคู่โดยการทดสอบ univariate ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ย ความเครียดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย หลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยการทดสอบ Univariate

ตัวแปร	หลังเรียน				F
	กลุ่มทดลอง		กลุ่มควบคุม		
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.	
ความเครียด (ST5)	4.17	1.97	6.00	2.48	10.61**
ความคิดเห็นต่อสาเหตุของความเครียดในการเรียน	80.34	20.26	96.64	16.80	11.69**

**p<.01 เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

จากตารางที่ 4 พบว่า นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยความเครียดทางการเรียน หลังเรียนน้อยกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

อภิปรายผลการศึกษา

ผลของการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบการเรียนการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้น สามารถพัฒนาความสามารถการแก้ปัญหาแบบร่วมมือและความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ[24,25] เพราะว่าผู้เรียนสามารถนำความรู้มาใช้ การออกแบบ สร้างและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ได้สำเร็จและในกระบวนการเรียนการสอนยังให้ความสำคัญกับกระบวนการแก้ปัญหา การทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา สอดคล้องกับงานวิจัยของ[10] พบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การ

ออกแบบชิ้นงานนั้น ส่งเสริมให้ผู้เรียนได้สร้างความรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาและการทำงานร่วมกันเป็นทีม โดยให้ผู้เรียนเชื่อมโยงความรู้จากหลายแหล่งเพื่อกำหนดประเด็นปัญหา ผู้เรียนกำหนดแนวทางในการแก้ปัญหาด้วยตนเอง ออกแบบการทดลองเพื่อหาคำตอบของปัญหาเองด้วยการทำงานร่วมกันเป็นทีม ผู้เรียนใช้กระบวนการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนเพื่อหาคำตอบของปัญหา จนนำไปสู่การสร้างความรู้โดยผู้เรียนเอง และนำความรู้ไปใช้ในการออกแบบ สร้างและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ได้สำเร็จ ทั้งนี้จุดเด่นของรูปแบบการเรียนการสอน ฯ ที่พัฒนาขึ้น คือความจำขณะทำงานของผู้เรียนเพิ่มขึ้นเมื่อผู้เรียนได้ทำงานแบบร่วมมือ ร่วมคิด ร่วมทำ ร่วมกันอภิปรายเพื่อออกแบบ สร้างและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาได้สำเร็จ สอดคล้องกับงานวิจัยของ[26] พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะทำงานกับความสามารถในการทำงานร่วมกันโดยความจำขณะทำงานสามารถส่งเสริมการทำงานร่วมกันเป็นทีมเพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ ได้ ทำให้ผู้เรียนเกิดความแข็งแรงของกระแสประสาท ซึ่งส่งผลต่อความจำขณะทำงานและความตั้งใจของผู้เรียนทำให้นักเรียนสามารถออกแบบ สร้างและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ได้สำเร็จ นอกจากนี้ความจำขณะทำงานยังมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับแนวคิดของ[27] พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความจำขณะทำงานกับความสามารถในการแก้ปัญหา โดยความจำขณะทำงานทำให้ผู้เรียนมีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลที่ผู้เรียนรับเข้ามาส่งผลให้ผู้เรียนสามารถควบคุมความตั้งใจ ซึ่งทำให้ผู้เรียนสามารถบูรณาการข้อมูลที่รับเข้ามาเพื่อความสำเร็จในการแก้ปัญหาในแต่ละขั้น ตลอดจนทำให้ผู้เรียนสามารถผสมผสานข้อมูลเพื่อจัดเก็บในหน่วยความจำระยะยาว ดังนั้นในการจัดการเรียนการสอนที่พัฒนาขึ้นได้ใช้กระบวนการทำงานเป็นทีม และกระบวนการแก้ปัญหาเพื่อให้ผู้เรียนได้วางแผน ออกแบบ สร้างและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหาให้สำเร็จซึ่งสามารถส่งผลต่อความจำขณะทำงานของผู้เรียนได้ อีกประการหนึ่งที่เป็นจุดเด่นของงานวิจัยนี้คือรูปแบบการเรียนการสอน ฯ ที่พัฒนาขึ้นนี้ เป็นการจัดประสบการณ์ที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวันที่กระตุ้นพหุผัสสะ (multisensory) ได้หลากหลายช่องทาง สอดคล้องกับงานวิจัยของ[18,28,29] เพราะว่าการจัดประสบการณ์ที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวันส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงของสมองบริเวณ multisensory superior temporal sulcus complex (mSTS-c), superior colliculus กับ prefrontal cortex ที่ทำหน้าที่บูรณาการ ภาพ เสียง และความรู้สึกทางกายสัมผัส เข้าด้วยกัน ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้ไปใช้ในการออกแบบ สร้างสิ่งประดิษฐ์ เพื่อแก้ปัญหาได้ และสามารถเชื่อมโยงองค์ความรู้และจัดกลุ่มองค์ความรู้ที่คล้ายคลึงกันใน Schemas ส่งผลให้โครงข่ายกระแสประสาทของผู้เรียนแข็งแกร่งขึ้นเพื่อนำไปสู่การสร้างมโนทัศน์ที่ถูกต้อง (accuracy generalization of concepts) อันจะนำไปสู่การประเมินผลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วยการอาศัยการทำงานของสมองหลายส่วน ได้แก่ ventromedial prefrontal cortex

(vmPFC), hippocampus, angular gyrus, และ posterior cortical regions และถ้ามองในแง่แนวคิดการเรียนรู้เชิงออกแบบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ[11,14,15,17,18] พบว่า ขณะที่ผู้เรียนได้เรียนรู้เชิงออกแบบ ผู้เรียนจะเกิดการสร้างความรู้จากการลงมือปฏิบัติและนำความรู้มาใช้ในการออกแบบ สร้าง และพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ เพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวัน ผ่านการทำงานเป็นทีมที่เกิดจากความคิดและจินตนาการของผู้เรียน ผ่านการสร้างแบบร่าง (ภาพ) ร่วมกัน ผู้เรียนได้ร่วมระดมสมอง แลกเปลี่ยนเรียนรู้ และแก้ปัญหาร่วมกัน เกิดการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา เกิดความสนใจในการเรียนเพิ่มขึ้น

รูปแบบการเรียนการสอน ฯ ที่พัฒนาขึ้นเป็นอีกรูปแบบการเรียนการสอนหนึ่งที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ร่วมกันคิดออกแบบวิธีการแก้ปัญหาผ่านกระบวนการกลุ่ม ทำให้นักเรียนรู้สึกผ่อนคลาย ไม่ต้องทำตามที่ครูหรือแบบเรียนกำหนด จึงลดการก่อให้เกิดความเครียดจากการเรียน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Spalding[30] และ Oei[31] ที่พบว่า ระดับความเครียดส่งผลต่อความจำขณะทำงานดังนั้น การที่กลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบการเรียนการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้นมีคะแนนความเครียดน้อยกว่ากลุ่มควบคุมที่ได้รับการเรียนการสอนตามรูปแบบการเรียนการสอนตามคู่มือครูฉบับของ สสวท. อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความจำขณะทำงานของนักเรียนทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกัน นอกจากนี้งานวิจัยนี้ พบว่ารูปแบบการเรียนการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้น ส่งเสริมให้ความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา ความสามารถในการคิดแก้ปัญหา เกิดความตั้งใจและความจำขณะทำงาน สูงขึ้นมากกว่ารูปแบบการเรียนการสอนตามคู่มือครูฉบับของ สสวท. ซึ่งน่าจะอธิบายได้ว่าเป็นเพราะการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบการเรียนการสอนฯที่พัฒนาขึ้น ทำให้ผู้เรียนมีความเครียดน้อยลง จึงน่าจะทำให้ผู้เรียนมีความจำขณะทำงานดีขึ้น และทำให้ผลการเรียนรู้ทุกอย่างดีกว่าการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบการเรียนการสอนตามคู่มือครูฉบับของ สสวท.

สรุปผลการศึกษา

ผลการใช้รูปแบบการเรียนการสอนตามแนวคิดการเรียนรู้เชิงออกแบบผสานกับประสาทวิทยศึกษาศาสตร์ ในนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนน้ำโสมพิทยาคม จังหวัดอุดรธานี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยรูปแบบการเรียนการสอนฯ ที่พัฒนาขึ้นมีคะแนนเฉลี่ยความสามารถในการแก้ปัญหาแบบร่วมมือในด้าน ความสามารถในการทำงานร่วมกันเพื่อแก้ปัญหา และความสามารถในการคิดแก้ปัญหา และความสามารถสมองเชิงพุทธิปัญญาในด้านความตั้งใจและความจำขณะทำงาน สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ ส่วนคะแนนเฉลี่ยความเครียดทางการเรียนของกลุ่มทดลองน้อยกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และมีข้อเสนอแนะว่า ควรนำรูปแบบการเรียนการสอนตามแนวคิดการเรียนรู้เชิงออกแบบมาใช้เป็น

แนวทางในการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาอื่นๆ เพื่อส่งเสริมความสามารถการแก้ปัญหาแบบร่วมมือของผู้เรียน พร้อมทั้งบูรณาแนวคิดการเรียนรู้แบบ STEM เพื่อจัดการเรียนการสอนบูรณาการข้ามวิชาในรายวิชาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและคณิตศาสตร์ได้

หมายเหตุ: งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี เลขที่ อว 0622.7/130

เอกสารอ้างอิง

1. Lee, Kam-Wah Lucille, Tang, Who-Un, Goh, Ngoh-Khang, et al. The predicting role of cognitive variables in problem solving in mole concept. Chemistry Education : Research and Practice in Europe. 2001;2:285-301.
2. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. รายงานสรุป เพื่อการบริหารโครงการประเมินผลนักเรียนนานาชาติ. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ; 2558.
3. OECD. PISA 2015 draft collaborative problem solving framework. Paris: OECD Publishing; 2013 .
4. OECD. PISA 2015 Results (Volume V) : Collaborative Problem Solving. Paris: OECD Publishing; 2017.
5. กระทรวงศึกษาธิการ. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560. กรุงเทพฯ: ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2560.
6. Baars BJ, Gage NM. Exploring science in early childhood education : A development approach. 3rd ed. University of Louisville,USA. Delmar Thomson Learning; 2010.
7. พิมพันธ์ เดชะคุปต์, พเยาว์ ยินดีสุข. การเรียนรู้วิทยาศาสตร์ใน ศตวรรษที่ 21. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2558.
8. กรมวิชาการ. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ. กรุงเทพฯ: คุรุสภา ลาดพร้าว; 2553.
9. Capobianco BM, Yu JH, French BF. Effects of engineering design-based science on elementary school science students' engineering identity development across gender and grade. Research in Science Education 2015;45:275-92.
10. Doppelt Y. Assessing creative thinking in design-based learning. International Journal of Technology and Design Education 2009;19:55-65.
11. Fortus D, Dershimer RC, Krajcik J, Marx RW, Mamlok-Naaman, R. Design-based science and student learning. Journal of Research in Science Teaching 2004;41:1018-110.

12. Gomez Puente SM, van Eijck M, Jochems W. Towards characterizing design-based learning in engineering education: A review of the literature. European Journal of Engineering Education 2011;36:37-149.
13. Kelly TR, Knowles JG. A Conceptual framework for integrated STEM education. International Journal of STEM Education 2016;3.
14. Kolodner JL, Camp PJ, Crismond CD, Fasse B, Gray J, Holbrook J, et al. Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle school science classroom: putting learning by design™ into practice. The Journal of the Learning Sciences 2003;12:495-547.
15. Korur F, Efe G, Erdogan F, Tunc B. Effects of toy crane design-based learning on simple machines. Journal of Science and Mathematics Education 2017;15:251-71.
16. Mehalik MM, Doppelt Y, Schunn CD. Middle-school science through design-based learning versus scripted inquiry: Better overall science concept learning and equity gap reduction. Journal of Engineering Education 2008;97:71-85.
17. Wendell KB, Rogers C. Engineering design-based science, science content performance, and science attitudes in elementary school. Journal of Engineering Education 2013;102: 513-40.
18. Wendell KB, Lee H. Elementary students' learning of materials science practices through instruction based on engineering design tasks.Journal of Science Education and Technology 2017;19:251-71.
19. Alloway TP, Working memory, but not IQ, predicts subsequent learning in children with learning difficulties. European Journal of Psychological Assessment 2009;25:92-8.
20. Kyllonen PC, Christal RE. Reasoning ability is (little more than) working memory capacity. Intelligence 1990;14: 389-433.
21. นิวัติ ต่อนี. การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนวิชาเคมีตามแนวคิดสร้างสรรค์ความรู้นิยมและประสาทวิทยศึกษาศาสตร์เพื่อส่งเสริมความสามารถเชิงปัญญาการแก้ปัญหาและความสามารถในการพัฒนานวัตกรรม. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาหลักสูตรและการเรียนการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2557.

22. ทัศนีย์ บุญเติม และคณะ. รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาซอฟต์แวร์ สมรรถนะสมองด้านพุทธิปัญญาฉบับภาษาไทย: ทุนวิจัย วช. ปี 2555. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เอกสารอัดสำเนา); 2558.
23. Sripongwiwat S, Bunterm T, Tank KN. An investigation of learning stressors among secondary school student: A case study in northeast Thailand. Kasetsart Journal of Social Sciences 2017;1-10.
24. Woolfolk AE. Educationpsychology. 6th ed. Ohio: A Simon & Schuster; 1995.
25. Muijs D, Reynolds D. Effective teaching : evidence and practice. SAGE Publications; 2005.
26. Kirschner PA, Kirschner FP, Sweller J. Task complexity as a driver for collaborative learning efficiency The collective working-memory effect. Applied Cognitive Psychoology 2018;25:78-93.
27. Solaz-Portolesa, Joan Josep, Sanjoseb Vicent. Working memory in science problem solving : a review of research. revista Mexicana de Psicologia, Enero Volumen 2009;26:79-90.
28. Anderson, O. Roger, Brandoni, Chira. Neurocognitive theory and constructivism in science education : review of neurobiological, cognitive and cultural perspectives Brunei Int. of Sci. & Math. Edu 2009;1:5-9.
29. Goswami, Usha. Principle of learning, implications for teaching : cognitive neuroscience perspective. Journal of Philosophy of Education 2008;42:381-99.
30. Spalding KN, Jones SH, Duff MC, Tranel D, Warren D. E.Investigating the neural correlates of schemas: ventromedial prefrontal cortex is necessary for normal schematic influence on memory. The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience 2015;35: 15746-51.
31. Oei NY, Everaerd WT, Elzinga BM, van Well S, Bermond B. Psychosocial stress impairs working memory at hight loads: an association with cortisol levels and memory retrieval. The International Journal on the Biology of Stress 2006;9:133-41.