



การใช้กิจกรรมสะเต็มในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

DEPLOYMENT OF STEM ACTIVITY WITH A FALLING FEATHER SHUTTLECOCK
FOR PHYSICS TEACHING AND LEARNING AT THE HIGH SCHOOL LEVEL

กฤษกร บุญประเสริฐ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การใช้กิจกรรมสะเต็มในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
การศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

DEPLOYMENT OF STEM ACTIVITY WITH A FALLING FEATHER SHUTTLECOCK
FOR PHYSICS TEACHING AND LEARNING AT THE HIGH SCHOOL LEVEL



KRITSAKORN BOONPRASERD

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of MASTER OF EDUCATION
(Physics)

Faculty of Science, Srinakharinwirot University

2019

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การใช้กิจกรรมสะเต็มในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

ของ

กฤษฎกร บุญประเสริฐ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์แก้ว อุดมสมุทรวิทย์) (รองศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ เชียงกา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

ชื่อเรื่อง	การใช้กิจกรรมสะเต็มในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
ผู้วิจัย	เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่
ปริญญา	กฤษกร บุญประเสริฐ
ปีการศึกษา	การศึกษามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	2562
	รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์แก้ว อุดมสมุทรศิริธัญ

งานวิจัยนี้ได้ใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ในการจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อยกระดับการจัดการเรียนรู้ของผู้สอนให้สัมพันธ์กับความสนใจของผู้เรียน โดยเน้นการเสริมสร้างทักษะความคิดสร้างสรรค์ซึ่งประกอบไปด้วย 1) ความคิดคล่องแคล่ว 2) ความคิดยืดหยุ่น 3) ความคิดริเริ่ม และ 4) ความคิดละเอียดลออ โดยเริ่มจากการพัฒนาทปฏิบัติการ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งได้ศึกษาการดัดแปลงลูกแบดมินตันขนไก่ให้มีคุณสมบัติสามารถแสดงความเร็วปลายในการตกได้ในระยะไม่เกิน 3 เมตร ผลการทดลองพบว่า ลูกแบดมินตันขนไก่ ที่มีมวล 2.31 กรัม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.64 เซนติเมตร เมื่อปล่อยให้ตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกจะสามารถเกิดความเร็วปลายประมาณ 3.54 เมตรต่อวินาที ที่ระยะความสูง 2.80 เมตร ต่อมาได้นำเอาผลการทดลองไปพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่พัฒนาขึ้น โดยการนำไปจัดการเรียนรู้กับกลุ่มทดลองจำนวน 30 คน พบว่า 1) กิจกรรมสะเต็มศึกษามีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีขึ้นไป 2) นักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยทักษะความคิดสร้างสรรค์ อยู่ระดับดีมาก และคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับน้อยกว่า 0.001

คำสำคัญ : กิจกรรมสะเต็มศึกษา, การตกของลูกแบดมินตันขนไก่, การจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์, ทักษะความคิดสร้างสรรค์, นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

Title	DEPLOYMENT OF STEM ACTIVITY WITH A FALLING FEATHER SHUTTLECOCK FOR PHYSICS TEACHING AND LEARNING AT THE HIGH SCHOOL LEVEL
Author	KRITSAKORN BOONPRASERD
Degree	MASTER OF EDUCATION
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Associate Professor Pongkaew Udomsamuthirun

This research aims to deploy STEM activity through a falling feather shuttlecock for physics teaching and learning at the high school level and to enhance the learning management of teachers in relation to the interests of learners by focusing on the development of creative thinking skills. These creative thinking skills were as follows: (1) fluency; (2) flexibility; (3) originality; and (4) elaboration. Firstly, the construction of learning package was considered and a feather shuttlecock was modified in order to give it the capacity to reach a terminal velocity with a less than three meter limitation. The experimental results showed the optimum condition of the feather shuttlecock with a mass of approximately 2.31 grams, a diameter of 6.64 centimeters and a terminal velocity of 3.5 meters per second at 2.8 meters of falling. Secondly, the experimental results obtained was introduced and deployed the STEM activity. In order to examine the effects of learners, a group of thirty students tested the trial experiment and confirmed the efficiency of the STEM activity. The results of the study were as follows: (1) the efficiency of the STEM activity was effective at a level of one hundred percent, which was higher than the specified criterion of seventy percent. Furthermore, their creative thinking skills were also rated at a good level; (2) the experimental group had a very good mean score and their creative thinking skill was rated at a very good level. Finally, the mean score of creative thinking skills after this STEM activity was higher than those before at a 0.001 level of statistical significance.

Keyword : STEM Education, Falling feather shuttlecock, Physics teaching and learning, Creative Thinking Skills, High school students

กิตติกรรมประกาศ

ปริญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสะดวกตากรุณาช่วยเหลือ และความเอาใจใส่อย่างดี ยิ่งตลอดจนการให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการปรับแก้ไขข้อบกพร่อง จากคณะกรรมการผู้ควบคุมปริญานิพนธ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ

สถาบันส่งเสริมการศึกษาระดับปริญญาตรีและเทคโนโลยี (สสวท.) ในโครงการส่งเสริมการผลิต ครูผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ที่ได้กรุณาให้ทุนการศึกษาในการเรียน ตลอดหลักสูตร และการทำวิจัยครั้งนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์แก้ว อุดมสมุทรหิรัญ อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิจัย ที่กรุณาให้ ข้อเสนอแนะต่างๆ แก่ผู้วิจัย ทำให้ปริญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์และกรรมการบริหารหลักสูตรสาขาฟิสิกส์ คณะ วิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาท ความรู้ต่างๆ ให้แก่ ผู้วิจัย ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ นางกัญญา สนวนคง มารดาของผู้วิจัย และครอบครัวของผู้วิจัย ที่คอยสนับสนุน ตลอดการทำวิจัย ทั้งกำลังใจทรัพย์และกำลังใจ

ขอขอบคุณบุคลากรและนิสิตระดับปริญญาตรี และปริญญาโท ในสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่คอยช่วยเหลือเพื่อให้งานวิจัยมีความราบรื่น

ขอขอบคุณบุคลากรโรงเรียนหอวัง ครูพิกุลมาศ สุขเมือง ครูพีเลี้ยง ที่ให้การอำนวยความสะดวกในการเก็บผลวิจัยโรงเรียนหอวัง และนักเรียนโรงเรียนหอวัง ทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ให้กับผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอบคุณบทเพลงจาก SCRUBB ศิลปินที่ทำให้ผู้วิจัยมีแรงบันดาลใจในการดำเนินงานให้ เสร็จสิ้น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยอยากขอบคุณบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ที่ได้เป็น กำลังใจสำคัญและให้การสนับสนุนผู้วิจัยด้วยดีตลอดมา

กฤษกร บุญประเสริฐ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพประกอบ	ฎ
สารบัญตาราง.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
สมมติฐานในการวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	7
1. ทฤษฎีการตกที่พิจารณาแรงต้าน	8
1.1 การเคลื่อนที่ที่พิจารณาแรงต้าน	8
1.1.2 แรงต้านที่เป็นสัดส่วนกับอัตราเร็วของวัตถุที่กำลังสอง	9
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ สาระการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตก ที่พิจารณาแรงต้านอากาศ	11
2.1 วิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย	11
2.2 การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ และการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ	11

2.2.1 การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ	11
2.2.2 การตกแบบเสรี	18
2.3 ของไหล	18
2.3.1 การเคลื่อนที่ในอากาศที่คิดความหนืด	19
2.3.2 ความเร็วปลาย	20
3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่องการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศและกีฬา แบดมินตัน	21
3.1 วัตถุตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศความต้านทานของอากาศ	21
3.2 สมบัติทางฟิสิกส์ของลูกแบดมินตันขนไก่	22
3.2.1 สมบัติทางกายภาพ	22
3.2.2 สมบัติทางพลศาสตร์ของลูกแบดมินตันขนไก่	25
3.2.3 การเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่	28
3.3 การศึกษาการสับเสาะของวัตถุตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ	31
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา	33
4.1 ความหมายของสะเต็มศึกษา	33
4.2 หลักการจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษา	33
4.3 การบูรณาการของสะเต็มศึกษา	34
4.3.1 การบูรณาการภายในวิชา	35
4.3.2 การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ	35
4.3.3 การบูรณาการแบบสหวิทยาการ	35
4.3.4 การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา	35
4.4 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา	35
4.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา	36

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21	37
5.1 ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21	37
5.1.1 ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ	37
5.1.2 ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา ประกอบไปด้วย	37
5.1.3 ทักษะการสื่อสาร	38
5.2 ความคิดสร้างสรรค์	39
5.2.1 ความหมายของความคิดสร้างสรรค์	39
5.2.2 องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์	39
5.2.3 ความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์	40
5.2.4 แนวทางการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์	41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	44
1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง	44
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย	45
2.1 การสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อ ส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์	46
3. แบบแผนการทดลอง	59
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล	60
5. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล	60
บทที่ 4 ผลการศึกษา	63
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางการทดลองฟิสิกส์	63
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางฟิสิกส์ศึกษา	65
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	78
สรุปผลการวิจัย	78

อภิปรายผลการวิจัย	80
ข้อเสนอแนะ	89
บรรณานุกรม	90
ภาคผนวก.....	95
ประวัติผู้เขียน	115



สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย	6
ภาพประกอบ 2 การพิจารณาความเร็วของวัตถุในการตกในของเหลว	8
ภาพประกอบ 3 ขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุขณะตกในอากาศ.....	10
ภาพประกอบ 4 การแสดงตำแหน่งและการกระจัดของวัตถุบนแกน x	12
ภาพประกอบ 5 ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง	14
ภาพประกอบ 6 กราฟความเร็วกับเวลา กรณีความเร่งเป็นค่าคงตัว	16
ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง สำหรับกรณีความเร่งคงตัว	17
ภาพประกอบ 8 กราฟระหว่างความเร็วและเวลา ของวัตถุที่ถูกปล่อยให้ตกในของไหล	19
ภาพประกอบ 9 แรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตกในของไหลขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งและความเร็วคงตัว	20
ภาพประกอบ 10 สมบัติทางกายภาพของลูกแบดมินตัน 2 แบบ	22
ภาพประกอบ 11 กราฟระหว่าง สัมประสิทธิ์แรงต้าน และตัวเลขเรย์โนลด์	24
ภาพประกอบ 12 การทดลองเพื่อวัดหาความเร็วสูงสุดคงที่ ผ่านการปล่อยลูกแบดมินตันลงในของไหล	25
ภาพประกอบ 13 การตั้งกล้องเพื่อทำการทดลองการวัดการตกของลูกแบดมินตันขนไก่	27
ภาพประกอบ 14 การเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณกรณีเลขจำนวนจริง $n = 2$	27
ภาพประกอบ 15 การเปรียบเทียบระหว่าง วิธีการเคลื่อนที่จากการตีจริง กับวิธีการเคลื่อนที่ที่คำนวณได้ ด้วยเงื่อนไขเริ่มต้นที่แตกต่างกัน	29
ภาพประกอบ 16 วิธีของลูกแบดมินตัน 2 ชนิด ทั้งการคำนวณ และการทดลอง	30
ภาพประกอบ 17 การปล่อยวัตถุ และการบันทึกภาพโดยใช้ iPad	32
ภาพประกอบ 18 วิชาแกนหลักและประเด็นสำคัญในศตวรรษ 21 สำหรับการเรียนในปัจจุบัน ...	38

ภาพประกอบ 19	แผนภาพแสดงทิศทางของปริมาณในการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันชนไม้.....	49
ภาพประกอบ 20	แผนภาพการทดลองการวัดการตกของลูกแบดมินตันชนไม้ในแกน $y(t)$	50
ภาพประกอบ 21	การทดลองและการคำนวณ ความเร็วของลูกแบดมินตันชนไม้ต้นแบบ	50
ภาพประกอบ 22	การดัดแปลงลูกแบดมินตันชนไม้ทั้ง 10 แบบ.....	51
ภาพประกอบ 23	กราฟระหว่างความเร็วและเวลาของลูกแบดมินตันชนไม้ทั้ง 10 ลูก	52
ภาพประกอบ 24	ผังแสดงการดำเนินการทดลอง	53
ภาพประกอบ 25	การทดลองและการคำนวณความเร็วและเวลา ของลูกแบดมินตันชนไม้ลูกที่ 3 และลูกที่ 4	63
ภาพประกอบ 26	การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของลูกแบดมินตันชนไม้ ลูกที่ 3 ผ่านโปรแกรม Mathematica	65
ภาพประกอบ 27	แผนภูมิแท่งแสดงคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์หลังเรียน ทั้ง 5 กลุ่ม	66
ภาพประกอบ 28	ตัวอย่างการคิดคล่องแคล่วของนักเรียนในการออกแบบลูกแบดมินตันชนไม้... ..	69
ภาพประกอบ 29	แสดงตัวอย่างการพิจารณาสมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้น.....	70
ภาพประกอบ 30	แสดงถึงการวางแผนการเพิ่มเติมวัสดุอื่น ๆ ในลูกแบดมินตันชนไม้ของนักเรียน	70
ภาพประกอบ 31	แสดงถึงการวางแผนการเพิ่มเติมวัสดุอื่น ๆ ในลูกแบดมินตันชนไม้ของนักเรียน	71
ภาพประกอบ 32	แสดงชิ้นงานลูกแบดมินตันชนไม้ นักเรียนได้สร้างสรรค์ขึ้น	72
ภาพประกอบ 33	การนำเสนอชิ้นงานโดยการทำเป็นคลิปวิดีโอ	73
ภาพประกอบ 34	กราฟความเร็วและเวลาของลูกแบดมินตันชนไม้ที่นักเรียนได้วิเคราะห์ทั้ง 5 กลุ่ม	75
ภาพประกอบ 35	การทดลองการปล่อยตกของลูกแบดมินตันชนไม้	75
ภาพประกอบ 36	แบบประเมินตนเองของนักเรียน	108
ภาพประกอบ 37	แบบประเมินเพื่อนร่วมกลุ่มของนักเรียน.....	109

ภาพประกอบ 38 แบบประเมินของผู้วิจัยต่อกลุ่มของนักเรียน..... 110



สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 ข้อมูลเปรียบเทียบของลูกแบดมินตันในงานวิจัย	30
ตาราง 2 แสดงการดำเนินการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่.....	45
ตาราง 3 ปริมาณทางกายภาพของลูกแบดมินตันขนไก่ทั้ง 10 แบบ	52
ตาราง 4 เกณฑ์การประเมินความคิดสร้างสรรค์	59
ตาราง 5 แสดงแบบแผนการทดลอง One-Group Pre-test-Post-test Design.....	59
ตาราง 6 แสดงจำนวนกลุ่มของนักเรียนที่มีผลการประเมินหลังเรียนมากกว่า 22.4 คะแนน หรือคิดเป็นร้อยละ 70 จากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์.....	67
ตาราง 7 แสดงระดับทักษะการคิดคล่องแคล่ว ของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่.....	68
ตาราง 8 แสดงระดับทักษะการคิดยืดหยุ่น สำหรับนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่.....	69
ตาราง 9 ระดับทักษะการคิดริเริ่ม ของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่.....	72
ตาราง 10 แสดงระดับทักษะการคิดละเอียดลออของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่.....	74
ตาราง 11 แสดงระดับทักษะความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่.....	76
ตาราง 12 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่.....	77

ตาราง 13 ค่าความเหมาะสมขององค์ประกอบกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูก แบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับมัธยมศึกษา ตอนปลาย	99
ตาราง 14 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตก ของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับ มัธยมศึกษาตอนปลาย	101
ตาราง 15 แสดงค่า IOC ของแบบประเมินเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับทักษะด้านความคิด สร้างสรรค์.....	103
ตาราง 16 คะแนนนักเรียน ก่อน และ หลัง ทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูก แบดมินตันขนไก่.....	106
ตาราง 17 เกณฑ์แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดคล่องแคล่ว	111
ตาราง 18 เกณฑ์แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดยืดหยุ่น	112
ตาราง 19 เกณฑ์แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดริเริ่ม	113
ตาราง 20 เกณฑ์แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดละเอียดลออ	114

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

การเผชิญหน้ากับการเปลี่ยนผ่านที่สำคัญของเศรษฐกิจสำหรับในประเทศไทย ณ ปัจจุบัน โดยเป็นยุคเทคโนโลยีเพื่อสร้างสรรค์นวัตกรรม(Creative and innovation)มุ่งสร้างให้คนไทยสามารถที่จะมีการคิดเองได้(ชวลิต โพธิ์นคร, 2560) เพื่อการพัฒนาจะมีทิศทางสำหรับเยาวชนในยุคไทยแลนด์ 4.0 นั้นต้องเป็นการพัฒนาเยาวชนไทยให้มีทักษะในการประยุกต์ความรู้และความสามารถ เพื่อที่จะใช้นวัตกรรมใหม่ ๆ ให้สามารถแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ จึงจะเห็นว่าคุณภาพการศึกษาของชาติได้ถูกยกระดับอย่างสำเร็จ ทำให้ฉะนั้นแล้วการพัฒนาเยาวชน จึงจำเป็นต้องพัฒนาส่วนความรู้ ควบคู่กับส่วนทักษะการเรียนรู้สำหรับศตวรรษที่ 21 เพื่อที่จะก้าวอย่างเท่าทันการเปลี่ยนแปลงของโลกที่จำเป็นต้องอาศัยทักษะหลากหลาย ดังนั้นการศึกษาไทยเลยเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่จะได้ช่วยเตรียมความพร้อมให้แก่ประชากรที่อยู่ภายในประเทศ

การจัดการเรียนการสอนก้าวทันโลกปัจจุบันขององค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความต้องการยิ่งยวดสำหรับผู้ที่ได้รับการเรียนรู้เป็นอย่างมาก โดยโลกรอบตัวในทุกวันนี้ เทคโนโลยีมากมายที่ใช้อยู่กันนั้นได้มีบทบาทอย่างสำคัญจำเป็นนอกจากนี้เทคโนโลยีเหล่านั้นล้วนสร้างสรรค์จากทฤษฎีทางฟิสิกส์ ช่วยสามารถเข้าใจและทำนายผลของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเหล่านั้นได้ถ้าเราเข้าใจหลักการของฟิสิกส์ ดังนั้น การจัดการเรียนการสอนฟิสิกส์ที่มีคุณภาพให้กับเยาวชนจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น ทำให้เป็นส่วนหนึ่งในความสำคัญในการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าของประเทศ การเรียนการสอนที่จะตอบสนองต่อการเพิ่มพูนทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 และผลักดันการเรียนการสอนสำหรับวิชาฟิสิกส์นั้นคือ การใช้สะเต็มศึกษา (STEM education) มาเป็นเครื่องในการพัฒนานักเรียน ซึ่งSTEM Education เป็นการสอนแบบบูรณาการข้ามกลุ่มสาระวิชา (Interdisciplinary Integration) ซึ่ง แยก เป็น S:Science T:Technology E:Engineering และ M:Mathematics ซึ่งเป็นศาสตร์สาขาต่างๆ โดยมีการนำความรู้ทุกทักษะเพื่อใช้แก้ไขปัญหา ซึ่งเป็นจุดเด่นตลอดจนวิธีการสอนที่ผสมผสานกันอย่างลงตัว มากไปกว่านั้น STEM Education ก็ยังเป็นการส่งเสริมการพัฒนาทักษะที่สำคัญจำเป็นในโลกยุคโลกาภิวัตน์รวมถึงทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 อีกด้วย (Dejarnette, 2012)

STEM education มีรูปแบบการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ซึ่งได้สนับสนุนให้นักเรียนได้ลงมือทำโดยการเผชิญสถานการณ์จริงโดยใช้ความรู้เพื่อแก้ปัญหาได้รับการแก้ไข เป็นการเรียนจาก

การปฏิบัติจริง (Learning by doing) ซึ่งเป็นทฤษฎีการศึกษาในปัจจุบัน และการสอนตามแนวคิด Active learning ที่เน้นในการลงมือปฏิบัติจริงเพื่อการสำรวจค้นหาและเน้นคิดวิเคราะห์ คิด เชื่อมโยง สิ่งที่เรียนรู้ด้วยการนำเสนอ

ซึ่งในงานวิจัยจะมุ่งเน้นสถานการณ์ที่พบเห็นได้ในชีวิตจริง คือ กีฬาแบดมินตัน เนื่องจาก กีฬาแบดมินตันถูกบรรจุอยู่ในหลักสูตรการเรียนการสอนในระดับชั้นมัธยมศึกษา เป็นกีฬาที่นิยม เล่นกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งวิถีของลูกแบดมินตันขนไก่ที่ใช้ในกีฬาแบดมินตันมีวิธีการเคลื่อนที่ที่แตกต่างจากลูกกีฬาชนิดๆอื่น โดยมีวิถีที่โค้งที่เป็นพาราโบลาที่เคลื่อนที่โดยไม่โค้งเต็มรูป เนื่องจากความสัมพันธ์ของแรงต้านอากาศกับความเร็วแปรผันแบบผกผันกำลังสอง จึงต่างจากลูก กีฬาทั่วไปที่แรงต้านอากาศกับความเร็วจะแปรผันกำลังหนึ่ง ซึ่งส่งผลให้วิถีการเคลื่อนที่เกิดความ แตกต่างกัน ความสนใจของผู้วิจัยคือเพื่อที่จะพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาสำหรับวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ให้ส่งเสริมการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิด สร้างสรรค์ แก่นักเรียน โดยบูรณาการกีฬาแบดมินตัน และการใช้นวัตกรรมในการบันทึกและ วิเคราะห์การเคลื่อนที่การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ การออกแบบกิจกรรมเพื่อให้เข้าใจวิธีการ เคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่โดยใช้ทฤษฎีทางฟิสิกส์เป็นพื้นฐานเพื่อให้เกิดความเข้าใจในการ เรียนเรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ที่พิจารณาแรงต้านอากาศ และนำมาแก้ปัญหาเพื่อการ ประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีได้

ความมุ่งหมายของงานวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ ดังต่อไปนี้

1. เพื่อส่งเสริมการจัดการเรียนรู้ด้วยทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลังจากเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตก ของลูกแบดมินตันขนไก่ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. เพื่อใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ให้สามารถ ส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ทางด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ให้มี ประสิทธิภาพ
3. เพื่อเปรียบเทียบพัฒนาการด้านความคิดสร้างสรรค์ ก่อนและหลังเรียนของ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ผ่านกิจกรรมสะเต็ม ศึกษา

ความสำคัญของการวิจัย

การวิจัยนี้ทำเพื่อพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาที่การบูรณาการความรู้วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เชื่อมโยงเข้ากับกีฬาแบดมินตัน ที่วิธีการเคลื่อนที่แตกต่างจากลูกกีฬาชนิดอื่นๆ เป็นส่วนสำคัญในการจัดดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ให้ส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ โดยการให้นักเรียนลงมือปฏิบัติตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการประดิษฐ์ลูกแบดมินตันขนไก่เพื่อจำลองการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ ผ่านการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมแทรคเกอร์ (Tracker) และโปรแกรมเอ็กเซล (Excel)

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ 1 ห้องเรียน จำนวนทั้งสิ้น 35 คน ในโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่

กลุ่มตัวอย่าง

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ โดยการเลือกแบบเจาะจง 1 ห้องเรียน

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ ได้แก่ การจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่
2. ตัวแปรตาม คือ ประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ และทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

เนื้อหา

เนื้อหาในกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ 1 หน่วยการเรียนรู้ และระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง ความหนืดในของไหล 1 หน่วยการเรียนรู้ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์วิชา ฟิสิกส์ คือ หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 เรื่อง ความหนืดในของไหล

ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เก็บข้อมูลทั้งหมด 10 คาบ ใช้สัปดาห์ละ 2 คาบ โดยเก็บข้อมูล ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 เป็นเวลา 5 สัปดาห์

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. สะเต็มศึกษา นั่นคือ วิธีการดำเนินการเรียนรู้ โดยให้นักเรียนบูรณาการโดยการเชื่อมโยงเนื้อวิชาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี รวมถึงวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อสร้างสรรค์ เพื่อให้ลูกแบดมินตันชนไก่ นั้นเกิดความเร็วปลาย ในการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ โดยมีความสูงจำกัดในห้องเรียน

2. กิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันชนไก่ หมายถึง กิจกรรมที่ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นขั้นตอนในการสร้างสรรค์ชิ้นงานเกี่ยวกับลูกแบดมินตันชนไก่ เพื่อศึกษาการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ได้รวม 4 สาขาวิชา ดังนี้

วิศวกรรมศาสตร์ (E) หมายถึง การวางแผนกระบวนการออกแบบลูกแบดมินตันชนไก่ เพื่อให้เห็นการตกที่แสดงความเร็วปลาย ในระยะความสูงภายในห้องเรียน ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่

1. ระบุปัญหา: นักเรียนจะทำการวิเคราะห์ประเด็นปัญหา โดยมีข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อระบุขอบเขตในปัญหาที่ได้รับ ได้แก่ ทำไมวิธีการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันชนไก่ แตกต่างจากลูกกีฬาชนิดอื่น และการทำให้ลูกแบดมินตันชนไก่เกิดความเร็วปลายในการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศได้ในระยะที่สั้นที่สุด

2. รวบรวมข้อมูล: นักเรียนต้องสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับ ลูกแบดมินตันชนไก่ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ องค์ประกอบลูกแบดมินตัน และวิธีการเคลื่อนที่

3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา: นักเรียนร่วมกันออกแบบลูกแบดมินตันชนไก่ เพื่อใช้อธิบายผลการทดลองของกลุ่มตนเอง โดยบ่งบอกวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการประดิษฐ์ ขนาด และมวลของลูกแบดมินตันชนไก่

4. แก้ปัญหาตามที่ได้วางแผนไว้: นักเรียนร่วมกันกำหนดลำดับขั้นตอนเพื่อประดิษฐ์ หรือดัดแปลงลูกแบดมินตันชนไก่ และประดิษฐ์ลูกแบดมินตันตามทีออกแบบและวางแผนไว้

5. ทดสอบ และปรับปรุงแก้ไข: นักเรียนร่วมกันทดสอบ ปรับปรุง และแก้ไข ลูกแบดมินตัน ของกลุ่มตนเอง เพื่อใช้ในการอธิบายผลการทดลองเรื่องการตกของลูกแบดมินตันชนไก่ด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์

6. นำเสนอผลการแก้ปัญหา: นักเรียนร่วมกันพรีเซนต์กระบวนการออกแบบ ลูกแบดมินตันชนไก่ และผลการทดลองของกลุ่มตนเองที่ได้หลังจากการแก้ไขปัญหา โดยออกแบบกลวิธีวิธีนำเสนอข้อมูลให้มีความเข้าใจง่าย และน่าสนใจ เช่น การทำเป็นคลิปวิดีโอสั้นๆ หรือการใช้สื่อสังคมออนไลน์ เป็นต้น

วิทยาศาสตร์ (S) หมายถึง การเคลื่อนที่แนวตรง การตกโดยพิจารณาแรงต้านอากาศ ความเร็วปลาย แรงต้านอากาศ ความหนืดของอากาศ

เทคโนโลยี (T) หมายถึง การใช้เทคโนโลยีในการสืบค้น และรวบรวมข้อมูล เพื่อแสวงหาวิธีการดำเนินกระบวนการ และการวิเคราะห์การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศผ่านโปรแกรมแทรกเกอร์

คณิตศาสตร์ (M) หมายถึง การแปรผลจากกราฟการทดลองระหว่าง ความเร็ว และเวลา การคำนวณเงื่อนไขต่างๆของลูกแบดมินตันชนไก่ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง มวล จำนวนชนไก่ เป็นต้น

โดยกิจกรรมสะเต็มศึกษานี้จะประกอบด้วยหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ใน 1 มิติ เพื่อให้ผู้เรียนรู้นั้นเข้าใจเรื่อง การตกที่คำนึงถึงแรงต้านอากาศ ซึ่งแรงต้านอากาศที่กระทำต่อลูกแบดมินตันชนไก่ มากยิ่งขึ้น เมื่อความเร็วมากขึ้น รวมถึงหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง ของไหล เกี่ยวกับความหนืด

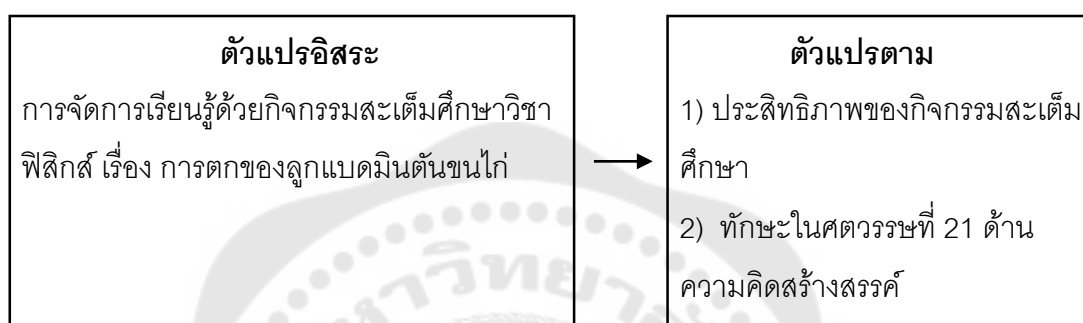
3. การตก คือการตกที่พิจารณาปัจจัยของของผลกระทบบที่เกิดขึ้นจากแรงต้านอากาศ เมื่อวัตถุตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกใน 1 มิติ โดยที่ผลกระทบบจากแรงต้านอากาศ จะทำให้วัตถุมีการเคลื่อนที่ 2 ช่วง ประกอบด้วยช่วงที่ 1 การตกด้วยความเร่ง โดยเมื่อความเร็วในการตกมากขึ้นจะทำให้แรงต้านอากาศยิ่งมากขึ้น จนแรงต้านอากาศสมดุลกับน้ำหนักของวัตถุ จะเป็นการเคลื่อนที่ช่วงที่ 2 ที่ ตกด้วยความเร็วปลาย หรือความเร็วสูงสุดคงที่

4. ลูกแบดมินตันชนไก่ หมายถึง ลูกกีฬา ที่ทำจากชนไก่ ใช้ในกีฬาแบดมินตัน ลักษณะคล้ายทรงกรวย โดยส่วนหัวลูกจะเป็นไม้คอร์ก และใช้ชนไก่ 18 ขน ปักให้ได้รูปเพื่อเพิ่มการต้านอากาศ โดยมวลของลูกแบดมินตันชนไก่ จะอยู่ที่ประมาณ 4.5 – 5 กรัม

5. ทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ (Creative thinking skill) นั้น หมายถึง ความสามารถของทางสมองที่สามารถจะคิดได้หลากหลายทาง โดยมีองค์ประกอบ

ความสามารถในการริเริ่ม ความคล่องแคล่วในการคิด ความยืดหยุ่นในการคิด และความคิดที่มีความละเอียดลออ นอกจากนี้ยังสามารถให้คำอธิบายใหม่ที่เป็นการติดตามหลักเหตุผลเพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องเพียงหนึ่งเดียวเท่านั้น

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานในการวิจัย

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับ ดี ขึ้นไป
2. ทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ อยู่ในระดับดีขึ้นไป
3. ทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

1. ทฤษฎีการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ
 - 1.1 การเคลื่อนที่ที่พิจารณาแรงต้าน
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างการเรียนรู้ เรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ
 - 2.1 วิเคราะห์โครงสร้างหลักสูตร วิชาฟิสิกส์ ที่เกี่ยวกับการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ
 - 2.2 การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ และการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ
 - 2.3 ของไหล
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการดำเนินการเรียนรู้ เรื่องการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศและกีฬาแบดมินตัน
 - 3.1 วัตถุประสงค์ในกรณีพิจารณาความต้านทานของอากาศ
 - 3.2 สมบัติทางฟิสิกส์ของลูกแบดมินตัน
4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา
 - 4.1 ความหมายของสะเต็มศึกษา
 - 4.2 หลักการดำเนินการเรียนการสอนแบบสะเต็ม
 - 4.3 การบูรณาการของสะเต็ม
 - 4.4 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็ม
 - 4.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็ม
5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21
 - 5.1 องค์ประกอบของทักษะในศตวรรษที่ 21
 - 5.2 ความคิดสร้างสรรค์

1. ทฤษฎีการตกที่พิจารณาแรงต้าน

1.1 การเคลื่อนที่ที่พิจารณาแรงต้าน

การเคลื่อนที่ที่พิจารณาแรงต้านจากของเหลวหรือของแก๊ส ซึ่ง \vec{R} คือแรงต้าน (Resistive forces) ที่จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างๆ เช่น ยานพาหนะกำลังเคลื่อนที่ จะมีแรงต้านอากาศ (Air drag force) หรือเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ในของเหลว จะมีแรงหนืด (Viscous force) กระทำ ทำให้วิเคราะห์แรงต้านได้ 2 รูปแบบ คือ แรงต้านที่เป็นสัดส่วนกับความเร็วของวัตถุ และแรงต้านที่เป็นสัดส่วนกับอัตราเร็ววัตถุยกกำลังสอง (Raymond A. Serway, 2014)

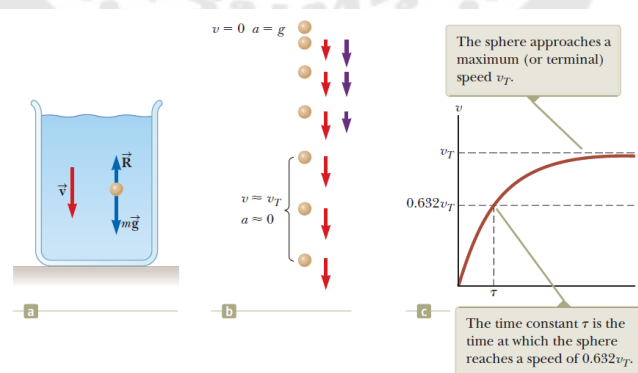
1.1.1 แรงต้านที่เป็นสัดส่วนกับความเร็วของวัตถุ

$$\vec{R} = -b\vec{v} \quad (1)$$

เมื่อ \vec{R} คือแรงต้าน
 \vec{v} คือความเร็วของวัตถุ ที่มีทิศทางตรงข้ามกับแรงต้าน
 b คือค่าคงตัวที่ขึ้นอยู่กับตัวกลางและรูปร่างของวัตถุ

พิจารณา การปล่อยวัตถุทรงกลมมวล m ขนาดเล็กให้ตกตามแนวตั้งในของเหลว ซึ่งมีพิจารณาแรงที่เกิดขึ้นกับวัตถุนั้นคือ $\vec{R} = -b\vec{v}$ และแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational force)

\vec{F}_g



ภาพประกอบ 2 การพิจารณาความเร็วของวัตถุในการตกในของเหลว

ที่มา : Serway R. A., Jewett J. W. (2014). Physics for scientists and engineers with modern physics. Ninth edition. Physical sciences. Boston. USA.

ความเร็วในขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่ในตอนแรกจะเป็นลักษณะที่มีความเร่ง และถัดมาจะเป็นลักษณะที่มีความเร็วคงที่ ซึ่งแรงที่พุ่งลงเป็นบวก จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันทำให้ได้

$$mg - bv = ma \quad (2)$$

พิจารณา ความเร่งในทิศลงเป็นบวกเช่นเดียวกัน จะได้

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{b}{m}v$$

ถ้าความเร็วเป็นศูนย์ จะทำให้แรงต้านมีค่าเป็นศูนย์ด้วยเช่นกัน และโดยเมื่อเวลาในการเคลื่อนที่นั้นมากขึ้น จะทำให้ขนาดของแรงต้านเพิ่มขึ้นในขณะที่ความเร่งในการเคลื่อนที่จะลดลงจนกระทั่งเป็นศูนย์ ซึ่งในขณะที่ความเร่งเป็นศูนย์ อัตราเร็วของวัตถุทรงกลมจะเป็นอัตราเร็วสูงสุดคงที่ (Terminal speed) v_T ซึ่งมีสมการดังนี้

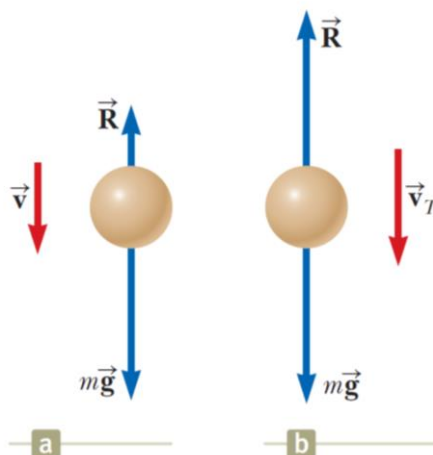
$$mg - bv_T = 0 \quad \text{หรือ} \quad v_T = \frac{mg}{b} \quad (3)$$

1.1.2 แรงต้านที่เป็นสัดส่วนกับอัตราเร็วของวัตถุยกกำลังสอง

วัตถุที่เคลื่อนที่ที่อัตราเร็วสูงผ่านอากาศ แรงต้านจะเป็นสัดส่วนกับอัตราเร็วยกกำลังสอง ซึ่งขนาดของแรงต้านที่กระทำกับวัตถุ คือ

$$R = \frac{1}{2}D\rho Av^2 \quad (4)$$

เมื่อ	D	คือสัมประสิทธิ์การต้าน
	ρ	คือความหนาแน่นของอากาศ
	A	คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุในระนาบตั้งฉากกับอัตราเร็ว
	v	คืออัตราเร็ว



ภาพประกอบ 3 ขนาดของแรงที่กระทำต่อวัตถุขณะตกในอากาศ

ที่มา : Serway R. A., Jewett J. W. (2014). Physics for scientists and engineers with modern physics. Nine edition. Physical sciences. Boston. USA.

พิจารณการปล่อยวัตถุให้ตกลงในแนวตั้งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกผ่านอากาศ จะมีแรงภายนอกกระทำต่อวัตถุ 2 แรง คือ ขนาดแรงโน้มถ่วงของโลก $F_g = mg$ ในทิศพุ่งลง และขนาดแรงต้าน R ในทิศพุ่งขึ้น จะได้ขนาดของแรงลัพธ์ คือ

$$\sum F = mg - \frac{1}{2} D\rho A v^2 \quad (5)$$

ให้ทิศทางพุ่งลงเป็นบวก สามารถคำนวณขนาดของความเร่งในการเคลื่อนที่ได้ดังนี้

$$a = g - \left(\frac{D\rho A}{2} \right) v^2 \quad (6)$$

สามารถพิจารณาอัตราเร็วปลาย (Terminal speed) เมื่อแรงโน้มถ่วงของโลกสมดุลกับแรงต้าน จะได้แรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุจะเป็นศูนย์ ทำให้ความเร่งในการเคลื่อนที่เป็นศูนย์ด้วย ดังนั้น

$$v_T = \sqrt{\frac{2mg}{D\rho A}} \quad (7)$$

เป็นสมการอัตราเร็วปลายของวัตถุที่ตกผ่านอากาศ

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ สาระการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ

2.1 วิเคราะห์หลักสูตรและเนื้อหา ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

สำหรับประเทศไทยนั้นการศึกษานั้นได้รับการพัฒนา ทำให้มีการจัดการมาตรฐานการเรียนรู้ที่เป็นไปอย่างเป็นระบบเพื่อให้เข้าถึงได้อย่างเท่าเทียมกันในการได้รับความรู้และยังมีความเท่าเทียมกันในการพัฒนาของผู้เรียน ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้ผู้เรียนซึ่งเป็นเยาวชนของชาติได้พัฒนาและรู้เท่าทันในความเปลี่ยนแปลงทางสังคม เศรษฐกิจ วัฒนธรรม สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี การพัฒนาการศึกษาจึงมุ่งเน้นที่จะปรับปรุงโครงสร้างหลักสูตร ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ปัจจุบัน ครูผู้สอนในหมวดวิทยาศาสตร์จึงได้ปรับปรุงแก้ไขตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง เพื่อให้ในห้องเรียนมีการเรียนรู้ที่พัฒนาในทางที่หลากหลายและทำให้ผู้เรียนรู้เท่าทันเหตุการณ์ โดยมีทักษะที่จะได้มีความสำคัญ ให้เรียนรู้ในห้องเรียนเพื่อนำประยุกต์ใช้สำหรับชีวิตประจำวันได้ ซึ่งส่งเสริมผู้เรียนให้พัฒนาความคิดที่เป็นเหตุเป็นผล คิดอย่างสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์ มีทักษะที่สำคัญ เพื่อให้สามารถสังเคราะห์องค์ความรู้จากการที่ได้แก้ไขปัญหอย่างเป็นระบบ และเป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สำหรับศตวรรษที่ 21

ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาระดับการเรียนรู้ของกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม ในสาระฟิสิกส์ที่ 1 ซึ่งเกี่ยวข้องกับ เรื่อง การเคลื่อนที่แนวตรง โดยมีผลการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องคือ ข้อที่ 1) ทดลองและอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ ตำแหน่ง การกระจัด ความเร็ว และความเร่ง ของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงที่มีความเร่งคงตัวจากกราฟและสมการ รวมทั้งทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก และคำนวณปริมาณต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ข้อที่ 2) อธิบายการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ เมื่อความเร่งเท่ากับศูนย์ โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์

2.2 การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ และการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ

2.2.1 การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ

2.2.1.1 ตำแหน่ง

Position คือการระบุให้ทราบว่า วัตถุหรือสิ่งของ ที่ได้รับการพิจารณา นั้นอยู่ตรงไหน โดยเทียบเฉพาะ บนเส้นตรงเส้นหนึ่งเมื่อทำการเทียบกับจุดอ้างอิง ที่กำหนดเพื่อความชัดเจน ซึ่ง อาจจะเป็นจุด ศูนย์ของระบบพิกัด xy เนื่องมาจากการที่พิจารณาจะทำในกรณีหนึ่งมิติก่อน โดย จะใช้เฉพาะแกน x เช่นบอกว่าวัตถุอยู่ที่ตำแหน่ง $x = x_1$ ณ เวลา t_1 หมายถึงวัตถุอยู่ที่ระยะทาง x_1 จากจุด 0 (จุดอ้างอิง) ที่เวลาดังกล่าว ถ้าวัตถุเคลื่อนไปอยู่ที่ x_2 ที่เวลา t_2 แสดงว่าวัตถุได้มีการ เคลื่อนที่ไประหว่างเวลา t_1 และ t_2 ตำแหน่งทั้งสองของวัตถุอาจแสดงดังภาพประกอบที่ 2 ซึ่งการ เปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุจาก $x = x_1$ ไปเป็น $x = x_2$ หรือ $(x_1 - x_2)$ เรียกว่าการกระจัด (displacement) การกระจัดมีทิศในที่นี้มีทิศจาก x_1 ไป x_2 ดังรูป โดยทั่วไปการกระจัดหมายถึงการ เปลี่ยนแปลงของวัตถุไปจากตำแหน่งปกติ



ภาพประกอบ 4 การแสดงตำแหน่งและการกระจัดของวัตถุบนแกน x

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1. โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ.

2.2.1.2 การกระจัดและระยะทาง

เมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ตำแหน่งของวัตถุก็จะเปลี่ยนไป ในการศึกษาการ เคลื่อนที่ของวัตถุจึงต้องระบุตำแหน่งในเวลาต่าง ๆ ของวัตถุ โดยทั่วไปนั้นจะกำหนดให้เวลา เริ่มต้นเป็น $t = 0$ และพิจารณาการเคลื่อนที่ของวัตถุหลังจากนั้น นั่นคือ จะพิจารณาเฉพาะที่มี ค่าเป็นบวกเท่านั้น

ปริมาณทางฟิสิกส์ที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนตำแหน่งในเส้นตรงคือ การกระจัด (Displacement) ในกรณีการเคลื่อนที่แนวตรงใช้สัญลักษณ์ Δx แทนการกระจัด การพิจารณา การกระจัดของวัตถุจะต้องระบุตำแหน่งที่เริ่มต้นและในตำแหน่งสุดท้ายในช่วงเวลาที่พิจารณา หน่วยในระบบเอสไอของการกระจัด คือ เมตร (m)

ปริมาณที่ทางฟิสิกส์อีกปริมาณหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับการกระจัด คือ ระยะทาง (Distance) d ซึ่งเป็นปริมาณสเกลาร์ที่แสดงถึงความยาวตลอดเส้นทางเคลื่อนที่ของวัตถุจากตำแหน่งหนึ่งไปที่อีกตำแหน่งหนึ่ง หน่วยในระบบเอสไอของระยะทาง คือ เมตร (m) เช่นเดียวกับการกระจัด

2.2.1.3 อัตราเร็วและความเร็ว

ในการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของวัตถุสองวัตถุจากตำแหน่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง วัตถุทั้งสองอาจใช้เวลาในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน ปริมาณที่ใช้บอกว่าวัตถุใดเคลื่อนที่เร็วหรือช้ากว่ากันคือ อัตราเร็ว (Speed) แทนระยะทางในหนึ่งหน่วยเวลา และ ความเร็ว (Velocity) แทนการกระจัดในหนึ่งหน่วยเวลา

อัตราเร็วเฉลี่ย (Average speed) คือ ระยะทางที่เปลี่ยนแปลงไปของวัตถุเคลื่อนที่ได้ต่อช่วงเวลา โดยอัตราเร็วเฉลี่ยมีหน่วยระบบเอสไอเป็น เมตรต่อวินาที (m/s) ใช้สัญลักษณ์ v แทนอัตราเร็ว และใช้สัญลักษณ์ v_{av} แทนอัตราเร็วเฉลี่ย $v_{av} = \frac{d}{\Delta t}$ โดย

$$\Delta t = t_f - t_i$$

ระยะทาง และเวลา เป็นปริมาณสเกลาร์ อัตราเร็วเฉลี่ยจึงเป็นปริมาณสเกลาร์ เช่นกัน อัตราเร็วเฉลี่ยบ่งบอกว่าวัตถุเคลื่อนที่เร็วแค่ไหน แต่ไม่ได้บอกว่าวัตถุนั้นกำลังจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใด ปริมาณทางฟิสิกส์ที่บอกให้รู้ว่าวัตถุเคลื่อนที่เร็วหรือช้าเท่าใดและบอกให้ทราบทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุก็คือ ความเร็วเฉลี่ย (Average velocity) ซึ่งเท่ากับ อัตราส่วนระหว่างการกระจัดต่อช่วงเวลาของวัตถุที่เคลื่อนที่ได้ ความเร็วเฉลี่ยมีทิศเดียวกับการกระจัดและมีหน่วยระบบเอสไอคือ เมตรต่อวินาที (m/s) ใช้สัญลักษณ์ \vec{v}_{av} แทนเวกเตอร์ ความเร็วเฉลี่ย ใช้สัญลักษณ์ $\vec{v}_{x,av}$ สำหรับความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน x และ $\vec{v}_{y,av}$ สำหรับความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน y ดังนั้น

$$\vec{v}_{x,av} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} \quad (8)$$

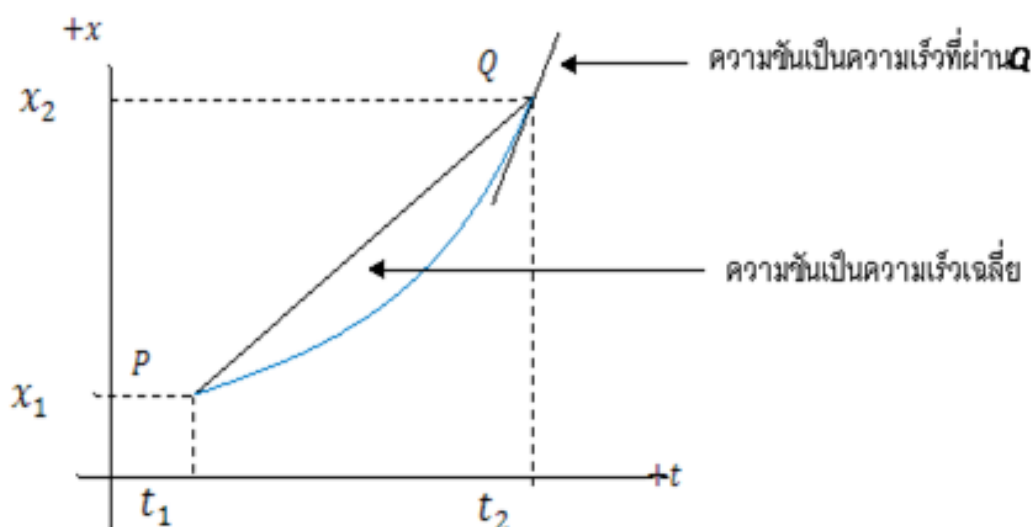
2.2.1.4 ความเร็วและอัตราเร็ว ณ ขณะใดขณะหนึ่ง

ความเร็ว ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous velocity) ซึ่งนั่นก็คือความเร็วของวัตถุในช่วงเวลาที่สั้นมากมากขณะที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งหรือที่เวลาใดเวลาหนึ่งซึ่งก็คือความเร็วน้อยๆต่อเวลาน้อยๆ หรือเป็นความเร็วในช่วงเวลาที่สั้นมาก นั่นคือ

$$\bar{v}_{\text{int}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \bar{x}}{\Delta t} \right) = \frac{d\bar{x}}{dt} \quad (9)$$

สัญลักษณ์ลิมิต เป็นสัญลักษณ์วิชาคณิตศาสตร์ที่เห็นในสมการข้างต้น เมื่อได้
 เจาะจงฟังก์ชันชัดเจนและค่า $\frac{d\bar{x}}{dt}$ (เป็นการทำอนุพันธ์ของ \bar{x} เทียบกับเวลา) เป็นสัญลักษณ์
 แทน $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \bar{x}}{\Delta t} \right)$

กราฟของตำแหน่งของวัตถุกับเวลา อาจเป็นดังรูป ระหว่างจุด \bar{x}_1 และ \bar{x}_2 ที่
 เวลา t_1 และ t_2 ซึ่งจะเรียกว่าจุด P และจุด Q การเคลื่อนที่อาจเป็นไปตามเส้นโค้ง



ภาพประกอบ 5 ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง

ที่มา: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). หนังสือเรียน
 รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1. โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ.

ถ้าเส้นโค้งจากตำแหน่งของวัตถุที่ผ่าน P และ Q ดังรูป การลากเส้นตรงที่เป็น
 ความชันระหว่างจุด PQ คือ $\frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{t_2 - t_1}$ ก็คือ ความเร็วเฉลี่ยระหว่าง P และ Q ช่วง $t_2 - t_1$ จะสั้นลง
 ถ้าจุด P เลื่อนไปใกล้จุด Q มากขึ้นๆ ทำให้ P อยู่ใกล้ Q มาก เส้นตรง PQ ก็จะกลายเป็นเส้น

สัมผัสเส้นโค้งที่จุด Q นั่นเอง และจำมีระยะหนึ่งที่เมื่อ P เข้าใกล้ Q มากขึ้น ความชันก็ไม่เปลี่ยนแปลง ความชันนี้คือ ลิมิต (Limit) หรือขีดจำกัด ของความชันและถือว่าค่าความเร็วของวัตถุที่ Q ซึ่งเป็นความเร็ว ขณะใดขณะหนึ่งที่เวลา t_2 หรือที่จุด Q

2.2.1.5 ความเร่ง

ความเร่ง (Acceleration) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อเวลา นั่นคือ ถ้าที่เวลา t_2 วัตถุมีความเร็ว \vec{v}_2 และที่เวลาก่อนหน้านั้นคือ t_1 วัตถุมีความเร็ว \vec{v}_1 ถือว่าความเร่งเฉลี่ยในช่วงเวลา t_1 ถึง t_2 คือ

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

ความเร่งขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous acceleration) โดยใช้สัญลักษณ์คือ

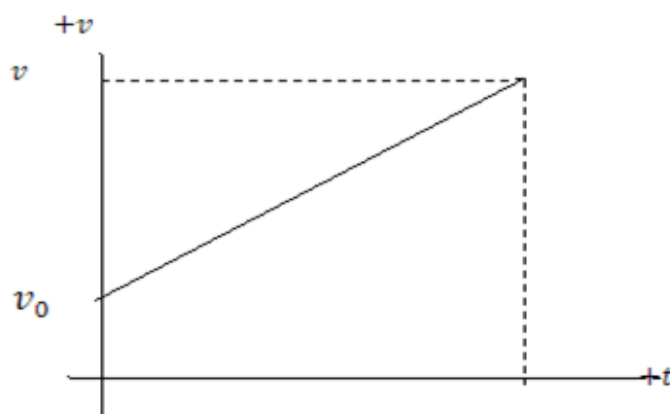
$$\vec{a}_{\text{int}} = \vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \right) = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (10)$$

หากเขียนกราฟของความเร็ว และเวลา จะได้ความชันที่จุดต่าง ๆ ก็คือ ความเร่ง สำหรับวัตถุที่จุดนั้น ๆ เช่นเดียวกันกับที่ความเร็วเป็นความชันของกราฟระหว่างตำแหน่งกับเวลา

2.2.1.6 สมการการเคลื่อนที่แนวตรง

การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว คือวัตถุที่เคลื่อนที่โดยไม่มีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ และความเร็วไม่มีการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือมีความเร่งเท่ากับศูนย์ ซึ่งในกรณีนี้ความเร็วเฉลี่ยมีค่าเท่ากับความเร็วขณะหนึ่ง

การเคลื่อนที่กรณีที่มีความเร่งมีการคงที่ คือการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ความเร็วมีการเปลี่ยนแปลงแบบสม่ำเสมอ กราฟของความเร็วจะเป็นดังภาพประกอบที่ 6 โดยกราฟเส้นตรงระหว่างความเร็วกับเวลา ความชันของเส้นตรงก็คือความชันที่ทุกจุดบนเส้นตรง



ภาพประกอบ 6 กราฟความเร็วกับเวลา กรณีความเร่งเป็นค่าคงตัว

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1. โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ.

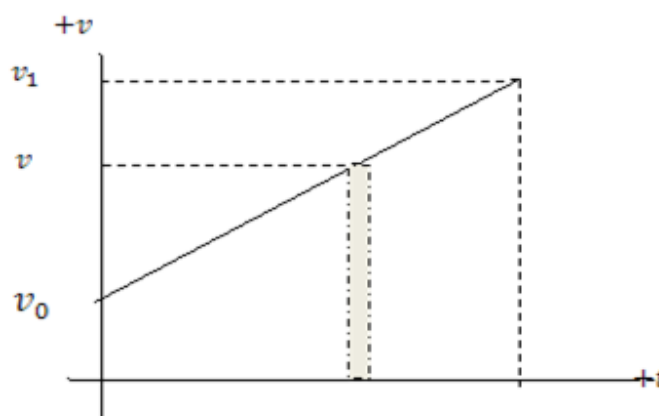
โดย $\frac{v-v_0}{t-0}$ จะเท่ากับ a_0 ซึ่งเป็นค่าคงตัว คือความชันของเส้นตรง

จะได้ $v-v_0 = a_0 t$

รูปแบบใหม่คือ

$$v = v_0 + a_0 t \quad (11)$$

จากสมการที่ (11) หมายความว่าเมื่อเวลาได้ผ่านไปหากความเร่งนั้นมีค่าคงที่ จะทำให้ความเร็วที่ค่าเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ โดยสมการสามารถใช้ได้ในกรณีที่ปริมาณต่าง ๆ เป็นได้ทั้งเวกเตอร์ และสเกลาร์



ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง สำหรับกรณีความเร่งคงตัว

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1. โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ.

จากภาพประกอบ 7 โดยกรณีเคลื่อนที่ใน 1 มิติ เครื่องหมาย บวก หรือ ลบ จะแทนทิศทางการเคลื่อนที่ ดังนั้นในกรณีนี้นั้นจึงสามารถที่จะไม่นำเสนอในรูปแบบเวกเตอร์ได้ ทำให้พิจารณาเฉพาะขนาดของปริมาณต่างๆ ดังนี้

พื้นที่ใต้กราฟมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2}(v_0 + v_1)(t - 0)$

นั่นคือ $x_1 - x_0 = \frac{v_0 + v_1}{2} t_1$

และเมื่อแทนค่า $v = v_0 + a_0 t$

จะได้ $x_1 - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2$

จาก $v = v_0 + a_0 t$

ดังนั้น $t = \frac{v - v_0}{a_0}$

แทนค่าใน $x_1 - x_0 = \frac{(v_0 + v_1)}{2} t_1$

จะได้ $v^2 - v_0^2 = 2a_0(x - x_0)$

ดังนั้นสมการจะเป็นดังนี้

$$v = u + at \quad (12)$$

$$s = \left(\frac{u+v}{2} \right) t \quad (13)$$

$$s = ut + \frac{1}{2} at^2 \quad (14)$$

$$v^2 - u^2 = 2as \quad (15)$$

สูตรเหล่านี้ใช้ได้เฉพาะกรณีที่ a เป็นค่าคงตัวเท่านั้น

2.2.2 การตกแบบเสรี

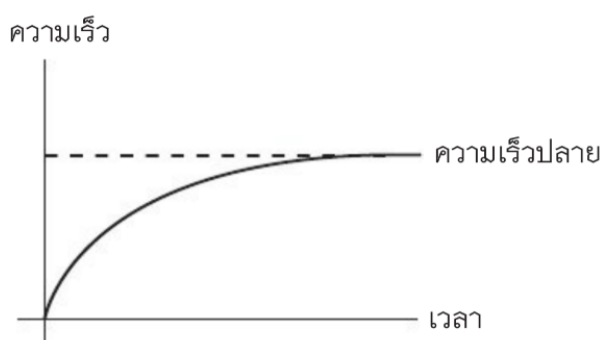
วัตถุที่ปล่อยให้ตกแบบเสรีนั้นจะมีขนาดของความเร็วเพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็วคงตัว เพราะกราฟที่เขียนระหว่างความเร็วกับเวลาเป็นเส้นตรง ความชันของเส้นกราฟคือความเร่งเฉลี่ย การเคลื่อนที่ และความเร่งเฉลี่ยนี้มีค่าคงตัวตลอด ดังนั้นความเร่งเฉลี่ยที่ได้ก็คือความเร่งขณะหนึ่ง ซึ่งความเร่งในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ตกแบบเสรี เรียกว่า ความเร่งโน้มถ่วง (Gravitational acceleration) ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ \bar{g} โดยขนาดของความเร่งโน้มถ่วงของโลก g สำหรับกรุงเทพมหานครมีค่า 9.783 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง และเนื่องจากการตกแบบเสรีเป็นกรณีหนึ่งของการเคลื่อนที่แนวตรงด้วยความเร่งคงตัว จึงใช้ความสัมพันธ์ของสมการการเคลื่อนที่ในแนวตรงได้

2.3 ของไหล

ปกติแล้วสสารจะมีสภาพ 3 สถานะ คือ แก๊ส ของเหลว และของแข็ง โดยสสารที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพง่ายคือ แก๊ส และของเหลว แตกต่างจากของแข็งเพราะที่อุณหภูมิหนึ่งของแก๊สมีรูปร่างและปริมาตรคงตัว ในขณะที่ส่วนของแก๊สมีรูปร่างและปริมาตรที่ไม่คงตัว โดยปริมาตรของแก๊สจะขึ้นกับปริมาตรของภาชนะที่บรรจุ และส่วนของของเหลวจะมีปริมาตรคงตัวและมีรูปร่างเป็นไปตามภาชนะที่บรรจุอยู่ ซึ่งแก๊สมีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้อยกว่าของเหลวมาก แม้อุณหภูมิหรือความดันจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยก็ตาม โดยเนื่องจากของเหลวและแก๊สมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน อีกทั้งยังสามารถไหลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ จึงอาจเรียกของเหลวและแก๊สว่า ของไหล

2.3.1 การเคลื่อนที่ในอากาศที่คิดความหนืด

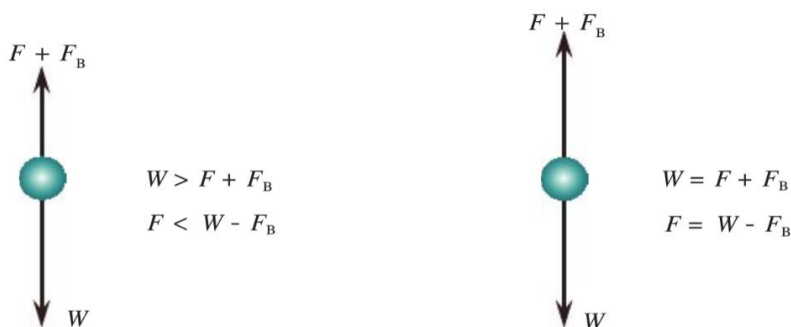
ของไหลที่มีความหนืดมากจะมีแรงต้านการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหลนั้นมาก แรงต้านการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากความหนืดของของไหล เรียกว่า แรงหนืด (Viscous force) ความหนืดของของไหลมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ กล่าวคือ ในการเคลื่อนที่ของวัตถุในของไหล ช่วงต้นของการเคลื่อนที่ วัตถุจะเคลื่อนที่โดยมีความเร่ง หลังจากนั้นจึงจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ให้นิยามความเร็วลักษณะนี้ว่า ความเร็วปลาย (Terminal velocity) (Sears F.W. , 1976)



ภาพประกอบ 8 กราฟระหว่างความเร็วและเวลา ของวัตถุที่ถูกปล่อยให้ตกในของไหล

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1. โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ.

ในช่วงต้นของการเคลื่อนที่ วัตถุเคลื่อนที่โดยมีความเร่งภายใต้แรงลัพธ์ขนาดหนึ่ง ต่อมาเมื่อลูกกลมโลหะมีความเร็วสูงขึ้น แรงลัพธ์นั้นลดลงๆ จนมีค่าเป็นศูนย์ วัตถุจึงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ด้วยอิทธิพลของ น้ำหนักของวัตถุ แรงพยาง และแรงหนืดของของไหล ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของวัตถุ



- ก. แรงที่กระทำต่อลูกกลมโลหะที่ตกในของเหลว ขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง
- ข. แรงที่กระทำต่อลูกกลมโลหะที่ตกในของเหลว ขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว

ภาพประกอบ 9 แรงที่กระทำต่อวัตถุที่ตกในของไหลขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งและความเร็วคงตัว

ที่มา : สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). หนังสือเรียน รายวิชาเพิ่มเติม ฟิสิกส์ เล่ม 1. โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว. กรุงเทพฯ.

เมื่อเริ่มเคลื่อนที่ แรงหนืดจะมีขนาดที่น้อยกว่าผลต่างของน้ำหนักและแรงพยุง เมื่อวัตถุเคลื่อนที่เร็วขึ้นแรงหนืดจะมีขนาดมากขึ้นจนทำให้แรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุเป็นศูนย์ วัตถุจึงเคลื่อนที่โดยมีความเร็วคงที่ พบว่า แรงหนืดที่กระทำต่อวัตถุขึ้นอยู่กับขนาดความเร็วของวัตถุ และแรงนี้จะมีทิศทางตรงข้ามสวนทางทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2.3.2 ความเร็วปลาย

อากาศเป็นของไหล ถึงจะเบาบางแต่ก็ถือว่ามีความหนืด ซึ่งทำให้เกิดแรงเสียดทานต่อวัตถุที่เคลื่อนที่ในอากาศ (เป็นการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ คือ อากาศเคลื่อนที่ไปหาวัตถุ เช่น ลมพัดใบก้านหรือวัตถุเคลื่อนในอากาศ เช่น รถวิ่ง เครื่องบิน จรวด เป็นต้น แม้ในการทดลองการตกแบบเสรีก็มีแรงเสียดทานของอากาศเข้ามาเกี่ยวข้องเสมอ แรงต้านอากาศของอากาศมีค่าน้อย บางครั้งเราไม่คิดแรงเสียดทานของอากาศทดลองปล่อยวัตถุที่ค่อนข้างเบา เช่น โฟม สาลี กระดาษใบไม้ เศษฟาง ฯลฯ จากที่สูง 1-2 เมตร จะพบว่าแรงเสียดทานจากอากาศมีค่ามาก เมื่อเทียบกับน้ำหนักวัตถุ แรงเสียดทานจากอากาศจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ ทำให้วัตถุเหล่านี้ตกลงมาด้วยความเร่งในกรณีวัตถุที่มีน้ำหนักมาตกลงสู่พื้น แรงเสียดทานของอากาศมีผลทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเร่งโน้มถ่วง เมื่อวัตถุมีความเร็วเพิ่มขึ้น แรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความเร่งของวัตถุมีค่าน้อยลง จนถึงความเร็วที่มีค่ามากที่สุดค่าหนึ่ง ที่ทำให้

ความเร่งของวัตถุมีค่าเป็นศูนย์ วัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัวจึงได้นิยามความเร็วค่านี้ว่า ความเร็วปลาย

จากการศึกษาเนื้อหาสาระและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ สรุปได้ว่า การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ คือการตกของวัตถุภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกใน 1 มิติ ที่มีส่งผลกระทบต่อแรงต้านอากาศ ซึ่งส่งผลให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปลาย หรือความเร็วสูงสุดคงที่ เมื่อผ่านไประยะเวลาหนึ่ง

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ เรื่องการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศและกีฬาแบดมินตัน

3.1 วัตถุตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศความต้านทานของอากาศ

วัตถุที่ตกพิจารณาแรงต้านอากาศภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกนั้นจะมีผลกระทบจากแรงต้านทานอากาศกระทำอยู่ตลอดเวลา โดยแปรผันตรงยกกำลังสองกับความเร็วในการเคลื่อนที่ (Lindemuth, 1971) ; (Cooke, 2002)

การทดลองนี้เหมาะสำหรับใช้ในหลักสูตรระดับปริญญาตรีสาขาฟิสิกส์ เพื่ออธิบายการวัดความต้านทานผลกระทบจากอากาศในการตกของวัตถุรูปทรงต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับที่คาดไว้ โดยทฤษฎีที่มีแรงต้านทานขึ้นอยู่กับความเร็วยกกำลังสอง

สมการแรงต้านของลูกบอล มีรัศมี A และมวล M

$$F_d = -\frac{1}{2} C_d \pi A^2 \rho_a V^2 \quad (16)$$

สำหรับลูกบอลที่ตก ที่ความเร็ว 75 ถึง 7500 เซนติเมตรต่อวินาที มีช่วงของเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 1,000 ถึง 100,000 ในขณะที่ $C_d \approx 0.5$ โดยสมการของตัวเลขเรย์โนลด์ คือ $R = \frac{2VA}{\nu}$ เมื่อ $\nu = 0.3 \text{ cm}^2 / \text{s}$ คือ ความหนืดจลนศาสตร์ของอากาศ และรัศมีของวัตถุคือ $A = 2 \text{ cm}$ จะได้สมการสำหรับความเร็วปลาย คือ

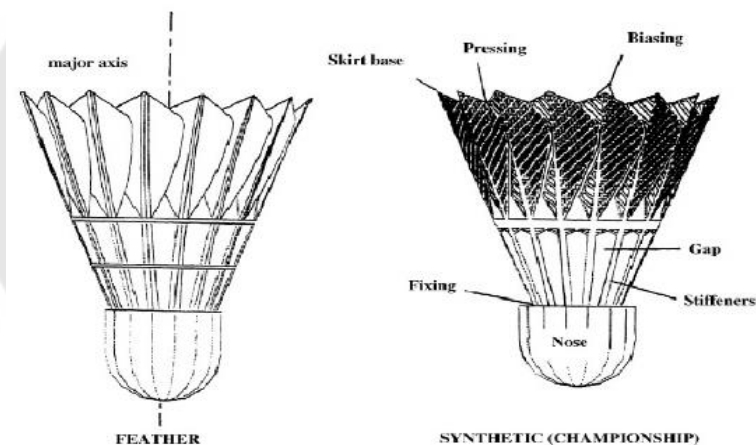
$$v_1^2 \equiv \frac{4Mg}{\pi A^2 \rho_a} \quad (17)$$

จากการศึกษางานที่เกี่ยวข้อง พบว่าสมการความเร็วปลายที่จะใช้ในการคำนวณยังคงมีรูปแบบสมการเหมือนกัน แม้จะเป็นวัตถุที่มีรูปร่าง มวล และวัสดุแตกต่างจากลูกแบดมินตันขนไก่ก็ตาม

3.2 สมบัติทางฟิสิกส์ของลูกแบดมินตันขนไก่

3.2.1 สมบัติทางกายภาพ

ใช้อากาศพลศาสตร์ของลูกแบดมินตันศึกษาสมบัติทางกายภาพ อธิบายถึงการทดลองที่ถุกคิดค้นเพื่อทำความเข้าใจกับระบบการไหลรอบลูกแบดมินตันขนไก่ และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของชุดข้อมูลสัมประสิทธิ์อากาศพลศาสตร์สำหรับลูกแบดมินตันขนไก่ และลูกแบดมินตันสังเคราะห์ ในกีฬาแบดมินตัน ผลที่ได้รับเป็นส่วนเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ดีขึ้น ซึ่งงานวิจัยได้ทดสอบระบบการไหลรอบ ๆ ลูกแบดมินตัน โดยการวัด และเปรียบเทียบของอากาศพลศาสตร์ ระหว่างลูกแบดมินตันขนไก่ กับลูกแบดมินตันสังเคราะห์ เพื่ออธิบายวิธีการเคลื่อนที่ที่ต่างกันของลูกแบดมินตันทั้ง 2 ชนิด นำไปสู่การเลือกใช้ชนิดของลูกแบดมินตันที่ใช้ในงานวิจัย (Cooke, 2002)



	Shuttlecock dimensions	
	Feather	Championship
Skirt diameter, d (mm)	66.0	65.5
Shuttlecock length, H (mm)	86.0	81.5

ภาพประกอบ 10 สมบัติทางกายภาพของลูกแบดมินตัน 2 แบบ

ที่มา: A.J. Cooke. (2002). Shuttlecock aerodynamics. *Sports Engineering*. 2, 85-96.

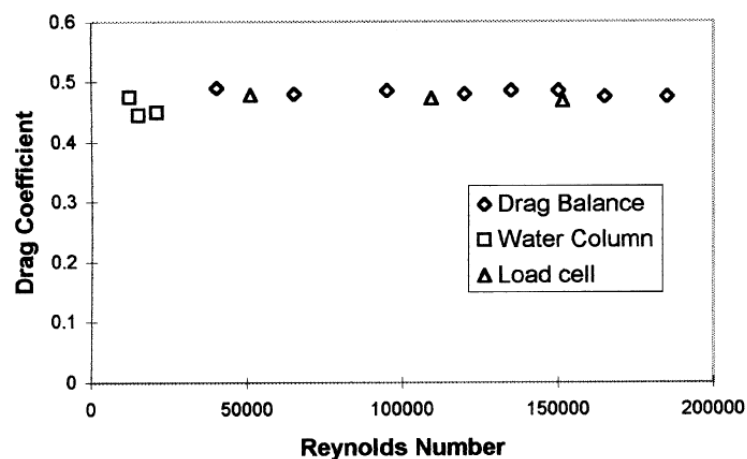
สำหรับการศึกษาการเคลื่อนที่ของอากาศที่ผ่านลูกแบดมินตัน พบว่า ด้านหลังของลูกแบดมินตันขนไก่ จะสามารถกั้นอากาศที่พุ่งผ่านได้ดีกว่า ลูกแบดมินตันสังเคราะห์ ซึ่งการไหลเวียนของอากาศด้านนอก กับด้านในจะมีความสัมพันธ์กัน ในรูปแบบที่ไม่คงที่ และไม่สามารถคาดเดาได้ คือการไหลเวียนด้านนอกจะไหลวนกลับเข้าไปด้านใน ทั้งนี้ยังสามารถเพิ่มความเร็วของอากาศเพื่อเพิ่มแรงต้านระหว่าง อากาศ และลูกแบดมินตัน ซึ่งรูปแบบที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับระบบการไหลของอากาศผ่านของแข็งทรงกรวย (Cooke, 2002)

การวัดแรงต้านของลูกแบดมินตัน จะยึดลูกแบดมินตันในอุโมงค์ลม แล้วจะเพิ่มแรงดันอากาศเข้าไป ซึ่งใช้เครื่องทดลองที่สามารถสร้างความเร็วลมได้ที่ 45 เมตรต่อวินาที จะวัดแรงดันในช่วง 0 นิวตัน ถึง 7 นิวตัน ให้ความคลาดเคลื่อนร้อยละ 2 นิวตัน พบว่ามีความเร็วที่ต่ำจะทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินไป ดังนั้นจะใช้วิธีเพิ่มความเร็วให้ถึงความเร็วสูงสุดคง เพื่อลดร้อยละของความคลาดเคลื่อนลง สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์แรงต้านผ่านสมการ

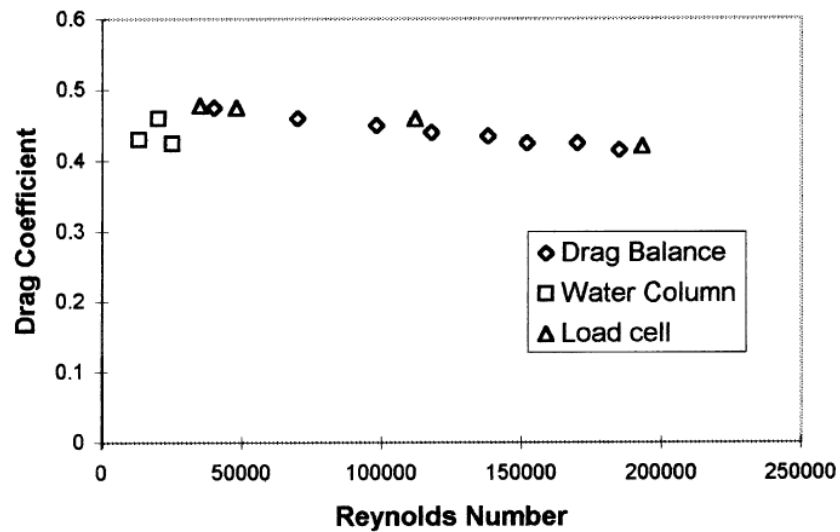
$$C_d = D / \frac{1}{2} \rho V^2 S \quad (18)$$

โดย	C_d	คือ	สัมประสิทธิ์แรงต้าน
	D	คือ	แรงต้าน
	ρ	คือ	ความหนาแน่นอากาศ
	V	คือ	ความเร็วสูงสุดเริ่มต้น
	S	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดของลูกแบดมินตัน

ก.



ข.



ภาพประกอบ 11 กราฟระหว่าง สัมประสิทธิ์แรงต้าน และตัวเลขเรย์โนลด์
 ก. ลูกแบดมินตันขนไก่ ข. ลูกแบดมินตันสังเคราะห์

ที่มา: A.J. Cooke. (2002). Shuttlecock aerodynamics. Sports Engineering. 2, 85-96.

การทดลองความเร็วสูงสุดคงที่สำหรับการวัดการต้านใช้การปล่อยลูกแบดมินตันลง
 ไปในตัวกลางที่เป็นของไหล และการวัดความเร็วสูงสุดคงที่จะใช้ระบบลำแสงเลเซอร์
 สามารถเขียนสมการการเคลื่อนที่ ได้จากกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน ดังนี้

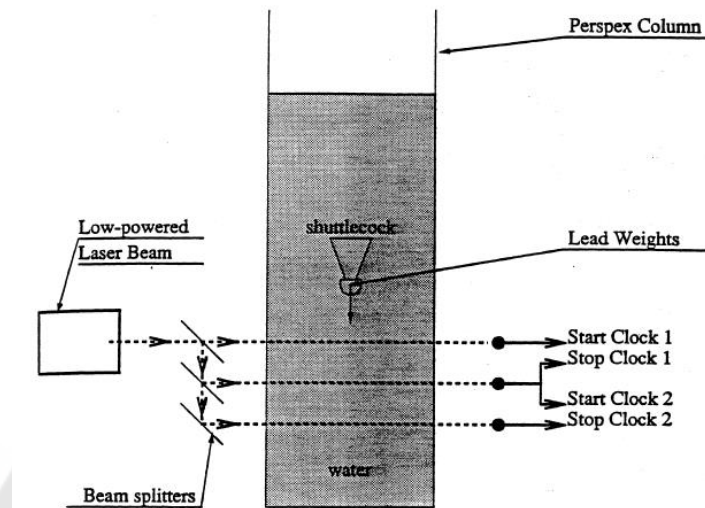
$$mv \frac{dv}{dy} = m_{eff} g - \frac{1}{2} C_d S \rho_1 v^2 \quad (19)$$

โดย m_{eff} คือ มวลรวม ได้จาก $m_{eff} = m - m_{buoyancy}$

ณ ตำแหน่งที่มีความเร็วสูงสุดและคงที่ทำให้ ความเร่งมีค่าเท่ากับศูนย์ จึงสามารถ
 คำนวณ ขนาดความเร็วสูงสุดคงที่ได้โดย

$$v_{term} = \sqrt{\frac{2m_{eff}g}{\rho_l C_d S}} \quad (20)$$

โดย v_{term} คือ ขนาดความเร็วปลายของการเคลื่อนที่



ภาพประกอบ 12 การทดลองเพื่อวัดหาความเร็วสูงสุดคงที่ ผ่านการปล่อยลูกแบดมินตันลงของไหล

ที่มา: A.J. Cooke. (2002). Shuttlecock aerodynamics. *Sports Engineering*. 2, 85-96.

ในกรณีนี้ จึงจะใช้ความสัมพันธ์ของ สัมประสิทธิ์แรงต้านจากของไหลและความเร็วปลาย ในสมการที่ (7.3) เพื่อนำมาใช้ในงานวิจัย

3.2.2 สมบัติทางพลศาสตร์ของลูกแบดมินตันขนไก่

สำหรับการศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันในกีฬาแบดมินตันขนไก่ ซึ่งมุ่งสร้างสมการการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่ที่เคลื่อนที่ เพื่อทำนายเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่ ในเงื่อนไขต่าง ๆ และเมื่อนำ ความเร็ว เวลา ทิศทาง และเส้นทาง กำหนดลงไป ในสมการ ทำให้นำไปส่งเสริมการฝึกฝนของกีฬาแบดมินตันแก่นักกีฬาได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งสมการการเคลื่อนที่ที่จะเริ่มการคำนวณโดยใช้ กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ประกอบกับ

สมการของแรงต้านอากาศเพื่อเป็นสมการเริ่มต้นในการหาสมการการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตัน
ขนไก่ในกีฬาแบดมินตัน (Lung-Ming Chen และคนอื่น ๆ, 2009)

$$\bar{W} + \bar{F}_v + \bar{B} = m\bar{a} \quad (21)$$

โดย \bar{W} คือ น้ำหนักของวัตถุ
 \bar{F}_v คือ แรงต้านอากาศ
 \bar{B} คือ แรงลอยตัว

และขนาดของแรงต้านอากาศ คือ

$$F_v = bv^n \quad (22)$$

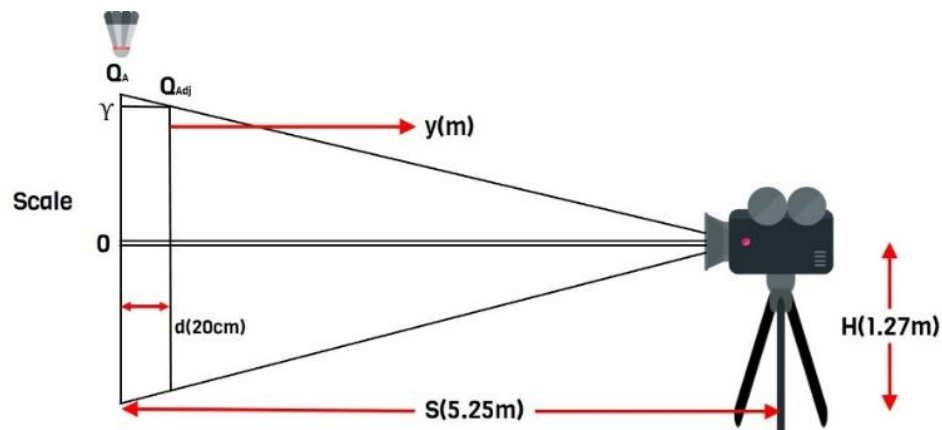
โดย F_v คือ ขนาดของแรงต้านอากาศ
 b คือ ค่าคงที่ คุณสมบัติ รูปทรง ของลูกแบดมินตันขนไก่
 v คือ อัตราเร็วของลูกแบดมินตันขนไก่
 n คือ เลขจำนวนจริง

เมื่อปล่อยตกแบบเสรีในแนวตั้ง ลูกแบดมินตันขนไก่จะมีอัตราเร็ว และแรงต้าน
อากาศที่เพิ่มมากขึ้น จนถึง ณ ขณะหนึ่ง ลูกแบดมินตันขนไก่ที่ตกลงมาจะเคลื่อนที่โดยไม่มี
ความเร่ง ทำให้อัตราเร็วของลูกแบดมินตันขนไก่ในการตกเป็นค่าคงที่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$v_T = \left(\frac{mg}{b} \right)^{1/n} \quad (23)$$

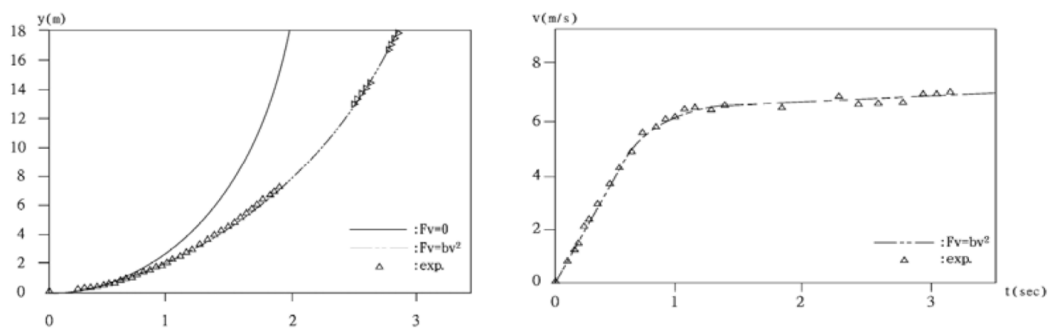
โดยจะพิจารณาเลขจำนวนจริง n ในกรณีที่ $n=2$ เนื่องจากผลการคำนวณ
สอดคล้องกับผลการทดลอง โดยการบันทึกภาพ เพื่อหาขนาดความเร็วสูงสุดคงที่

สามารถวัดความเร็วสูงสุดคงที่ได้จากการทำลองซึ่งอยู่ในช่วง 6.51 m/s ถึง 6.87 m/s สรุปได้ว่า สมการการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่ในกีฬาแบดมินตัน สามารถสร้างได้
โดยเพียงการหาความเร็วสูงสุดคงที่ ในหลักอากาศพลศาสตร์ และ แรงต้านอากาศเป็นสัดส่วนยก
กำลังสองของอัตราเร็วลูกแบดมินตันขนไก่ นอกจากนี้ยังพบว่า มุม และความแข็งแรงแรงในการตีลูก
แบดมินตันขนไก่จะส่งผลต่อวิถีของลูกแบดมินตันขนไก่อีกด้วย



ภาพประกอบ 13 การตั้งกล้องเพื่อทำการทดลองการวัดการตกของลูกแบดมินตันขนไก่

ที่มา : Lung Ming Chen.; et al. (2009). A study of shuttlecock's trajectory in badminton. *Journal of Sports Science and Medicine*. 8: 657-662.



ภาพประกอบ 14 การเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่เปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการคำนวณกรณีเลขจำนวนจริง $n = 2$

ที่มา : Lung Ming Chen.; et al. (2009). A study of shuttlecock's trajectory in badminton. *Journal of Sports Science and Medicine*. 8: 657-662.

สามารถวัดความเร็วสูงสุดคงที่ได้จากการทำลองซึ่งอยู่ในช่วง 6.51 m/s ถึง 6.87 m/s สรุปได้ว่าสามารถสร้างสมการการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่ในกีฬาแบดมินตันได้โดย

เพียงการหาความเร็วสูงสุดคงที่ในหลักอากาศพลศาสตร์ และแรงต้านอากาศเป็นสัดส่วนยกกำลังสองของอัตราเร็วลูกแบดมินตันขนไก่ นอกจากนี้ยังพบว่า มุม และความแข็งแกร่งในการตีลูกแบดมินตันขนไก่ จะส่งผลต่อวิถีของลูกแบดมินตันขนไก่อีกด้วย

การที่ได้ศึกษาทำให้ผู้วิจัย จึงได้เลือกการใช้การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศที่เกิดความเร็วปลาย เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาการเคลื่อนที่โดยไม่มีความเร็ว และเลือกใช้สมการ

$$v_T = \left(\frac{mg}{b}\right)^{1/2} \text{ มาใช้ประกอบการคำนวณ}$$

3.2.3 การเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่

สำหรับการศึกษาการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่ในกรณีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ลูกแบดมินตันขนไก่จะถูกพิจารณาว่ามีลักษณะรูปทรงเป็นรูปกรวย โดยจะพิจารณาตั้งแต่การกระทบของลูกแบดมินตันขนไก่กับไม้แบดมินตันที่ทำให้ลูกแบดมินตันขนไก่เกิดการกลับตัวแล้วเคลื่อนที่ต่อไปในอากาศจนเกิดความเร็วปลาย ซึ่งปรากฏการณ์การพลิก และพลศาสตร์ของการลอยขณะอยู่ในอากาศ ในสนามแบดมินตัน (Cohen, 2015)

กรณีการตีลูกโด่ง จะสังเกตจากวิถีโค้งของลูกแบดมินตันขนไก่ โดยสมการการเคลื่อนที่ในแนวโพรเจกไทล์ คือ

$$M \frac{d\bar{U}}{dt} = M\bar{g} - \frac{1}{2} \rho S C_d U \bar{U} \quad (24)$$

ซึ่งเส้นทางการเคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับความเร็วเริ่มต้น และมุมเริ่มต้นของการเคลื่อนที่

ความยาวพลาศาสตร์ $L = \frac{2M}{\rho S c_d} = 4.6 \text{ m}$

มวล $M = 5.0 \text{ g}$

ความหนาแน่น $\rho = 1.2 \text{ kg} / \text{m}^3$

พื้นที่ผิว $S = 28 \text{ cm}^2$

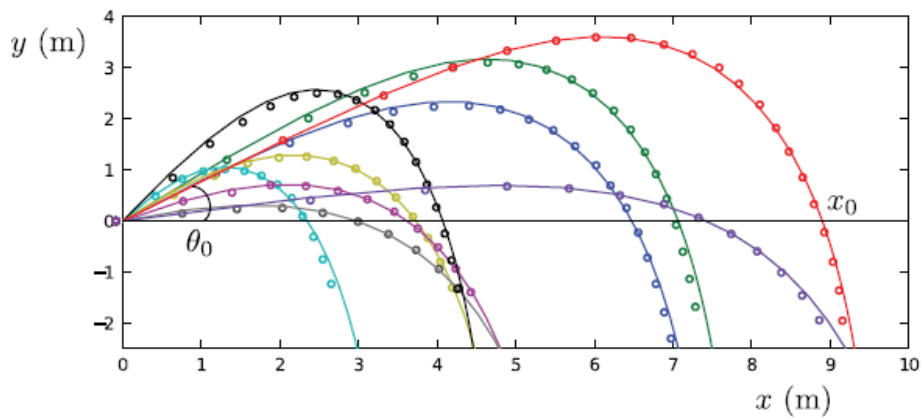
สัมประสิทธิ์แรงต้าน $C_d = 0.65 \pm 0.05$ (ได้จากการทดลองในอุโมงค์ลม)

ความเร็วสูงสุดคงที่

$$U_\infty = \sqrt{g \left(\frac{2M}{\rho S C_d} \right)} = \sqrt{gL} = 6.7 \text{ m/s} \quad (25)$$

เมื่อความเร็วคงที่ ทำให้ $\frac{dU}{dt} = 0$ จึงได้สมการการเคลื่อนที่ในแนวนอน

$$x_0 = \frac{L}{2} \cos \theta_0 \ln \left(1 + 4 \frac{U_0^2}{gL} \sin \theta_0 \right) \quad (26)$$



ภาพประกอบ 15 การเปรียบเทียบระหว่าง วิธีการเคลื่อนที่จากการตีจริง กับวิธีการเคลื่อนที่ที่คำนวณได้ ด้วยเงื่อนไขเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

ที่มา : C. Cohen.; et al. (2015). The physics of badminton. *New Journal of Physics*. 17, 2-17.

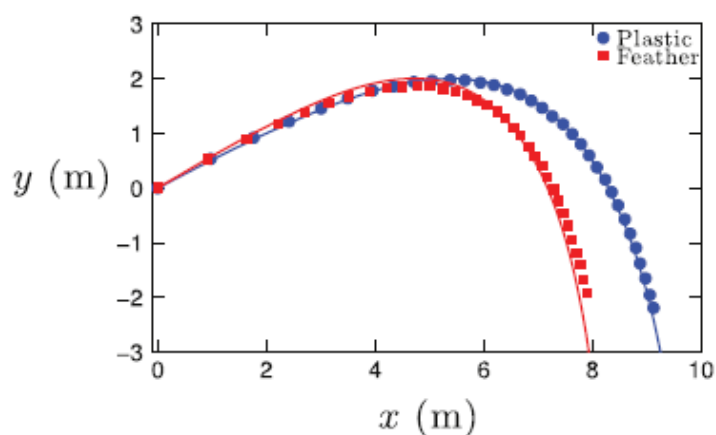
ความแตกต่างระหว่างลูกแบดมินตัน ประเภทของลูกแบดมินตันสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือลูกแบดมินตันขนไก่ กับลูกแบดมินตันพลาสติก ซึ่งจากการทดลองและการวัด ทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์แรงต้าน ขนาด มวล และความยาวของลูกแบดทั้งสองชนิด ดังนี้

ตาราง 1 ข้อมูลเปรียบเทียบของลูกแบดมินตันในงานวิจัย

ข้อมูล	ลูกแบดมินตันขนไก่	ลูกแบดมินตันพลาสติก
C_d	0.65 ± 0.05	0.68 ± 0.05
$S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$		28 cm^2
M	5.0	5.3
L	4.04 m	4.48 m

ที่มา : C. Cohen.; et al. (2015). The physics of badminton. *New Journal of Physics*. 17, 2-17.

ศึกษาวิถีการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันทั้ง 2 ชนิด จากนั้นนำข้อมูลไปแสดงในรูปแบบของกราฟระหว่าง ระยะในแนวดิ่ง และระยะในแนวราบ และใช้สมการการเคลื่อนที่คำนวณวิถีการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันทั้ง 2 ชนิด เพื่อนำเอาผลการทดลอง และผลจากการคำนวณมาเปรียบเทียบกัน



ภาพประกอบ 16 วิถีของลูกแบดมินตัน 2 ชนิด ทั้งการคำนวณ และการทดลอง

ที่มา : C. Cohen.; et al. (2015). The physics of badminton. *New Journal of Physics*. 17, 2-17.

จากการศึกษางานวิจัย ในกรณีที่ถูกแบดมินตันชนไก่ที่นักเรียนประดิษฐ์เอง มีลักษณะที่หลากหลาย จะวิเคราะห์เงื่อนไขเริ่มต้นของการทดสอบจากสมการ $U_\infty = \sqrt{g \left(\frac{2M}{\rho S C_d} \right)}$

ในกรณีการคำนวณหาระยะ

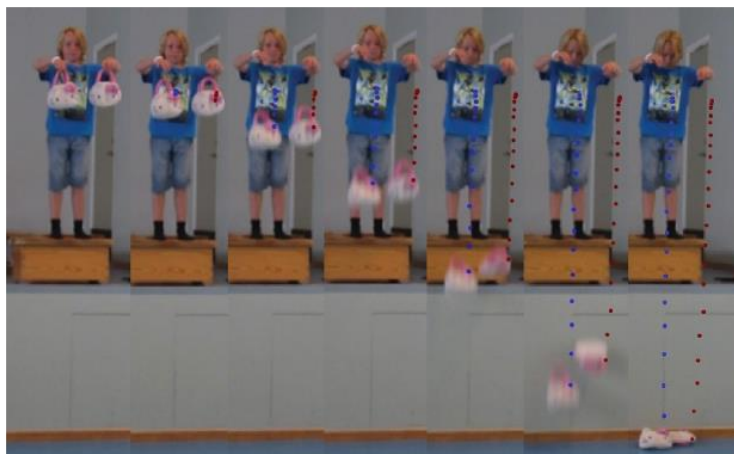
3.3 การศึกษาการสับสนของวัตถุตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ

การสอนการตกของวัตถุ โดยใช้วิธีการสับสนความรู้ ได้อธิบาย การเปรียบเทียบวัตถุ 2 ชนิด ที่ปล่อยตกลงในแนวตั้งพร้อมกัน นำเสนอการสับสนหาความรู้ โดยใช้กลุ่มทดลอง อายุ 10 ปี ซึ่งบันทึกภาพการตกของวัตถุเพื่อนำมาอภิปรายผล ให้นักเรียนเปรียบเทียบตำแหน่งที่ตกแตกต่างกัน และเพื่อจะแยกแยะสถานการณ์ที่จะมีความแตกต่างจากกัน เมื่อแรงต้านอากาศมีผล หรือไม่มีผล ต่อการเคลื่อนที่ โดยการพิจารณาจากสถานการณ์ที่คุ้นเคยและการตรวจสอบที่เรียบง่ายซึ่งสามารถทำได้ ในห้องเรียนโดยการปล่อยให้ลูกบอลที่มีมวลแตกต่างกัน สองลูกตกจากที่สูงระดับปานกลาง เป็นการสาธิตตำนานของกาลิเลโอ (Pendrill และคนอื่น ๆ, 2014)

สำหรับงานวิจัยของ Pendrill (Pendrill และคนอื่น ๆ, 2014) ได้ศึกษาเพื่อเปรียบเทียบการปล่อยวัตถุ 2 ชิ้น ตกแบบเสรี ตรวจสอบด้วยการใช้ ตา และหูของนักเรียนเอง ออกแบบการทดลองโดยการ เปลี่ยนตัวแปร ๆ ต่างของวัตถุ เช่น ขนาดเดียวกัน แต่เปลี่ยนแปลงมวล หรือรูปทรงเดียวกัน แต่เปลี่ยน ขนาดและมวล และมวลเท่ากันแต่เปลี่ยนรูปร่าง หลังจากนั้นจะบันทึกภาพ โดยใช้ iPad และจะวิเคราะห์ผลลัพธ์ผ่านแอปพลิเคชันในไอแพด จากที่ได้ทำการบันทึกผล ก็จะทำให้ให้นักเรียนได้อภิปรายผล และถกเถียงกัน โดยจากวิดีโอที่ถูกบันทึกโดยไอแพด ซึ่งเป็นข้อดีที่การทดลองถูกบันทึกผลเป็นวิดีโอ เพราะสามารถสังเกตสิ่งต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น และสามารถดูซ้ำได้ ทำให้นักเรียนได้สังเกตรายละเอียดเล็ก ๆ สำหรับการตกแบบเสรีได้อย่างดีมากขึ้น

การตั้งคำถามของครูในห้องเรียนจะช่วยให้นักเรียนนั้นสามารถที่จะสืบเสาะหาความรู้ได้ง่ายขึ้น ในกรณีนี้ การตกแบบเสรี ปัจจัยที่ส่งผลที่ทำให้การตกของวัตถุที่ต่างกัน ถึงพื้นไม่พร้อมกัน คืออะไร ? คำตอบจากนักเรียนคือ การต้านของอากาศ ครูจึงถามต่อว่า หากไม่มีอากาศ วัตถุจะตกอย่างไร ? คำตอบที่ได้คือ น่าจะถึงพื้นพร้อมกัน นั้นหมายความว่าหากปราศจาก แรงต้านอากาศ ก็จะทำให้วัตถุทุก ๆ อย่างตกลงสู่พื้นพร้อมกัน อย่างไรก็ตามนักเรียนคนอื่น ๆ คิดว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างกันไปซึ่งยังแสดงถึงการวางแนวคิดแบบ 'อริสโตเติล' โดยกล่าวว่ามวลมีอิทธิพลต่อความเร่งของวัตถุที่ตก

จากการศึกษา ผู้วิจัยจึงจะดำเนินการสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ โดยมีการถ่ายวีโอเพื่อบันทึก และวิเคราะห์ผลการทดสอบลูกแบดมินตันขนไก่ที่ประดิษฐ์เองได้



ภาพประกอบ 17 การปล่อยวัตถุ และการบันทึกภาพโดยใช้ iPad

ที่มา : A. Pendrill.; et al. (2014). The equivalence principle comes to school-falling objects and other middle school investigations. *Physics Education*. 49, 425-430.

เพื่อที่จะจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่ และการสอนแบบสืบเสาะความรู้ เพื่ออธิบายวิธีการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตัน ที่มีวิถีที่แตกต่างกับลูกกีฬาชนิดอื่น โดยที่ลูกแบดมินตันขนไก่ จะเกิดความเร็วปลาย (Terminal velocity) ได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่าลูกกีฬาชนิดอื่น จึงมีจุดประสงค์ที่จะสร้างสรรค์ลูกแบดมินตันขนไก่ให้เกิดความเร็วปลาย ในระยะเวลาอันสั้น หรือจะกล่าวคือทำให้แสดงความเร็วปลายได้ในความสูงน้อยกว่า 3 เมตร เพื่อใช้เป็นกิจกรรมภายในห้องเรียน โดยหลักการสร้างสรรค์ลูกแบดมินตันขนไก่ ต้องคำนึงถึงมวล รัศมี จำนวนขนไก่ของลูกแบดมินตันขนไก่ และการคำนวณเงื่อนไขการประดิษฐ์ลูกแบดมินตันขนไก่เริ่มต้น ผ่านสมการ (7) (20) (23) หรือ (25) ซึ่งเป็นสมการความเร็วปลาย ด้วยข้อสรุปเหล่านี้ จึงจะได้นำไปใช้เป็นเงื่อนไขในกิจกรรมสะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ในห้องเรียน

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา

4.1 ความหมายของสะเต็มศึกษา

สะเต็ม กลยุทธ์การใช้รูปแบบการศึกษาของประเทศสหรัฐอเมริกาที่สร้างขึ้นเพื่อพัฒนา การศึกษาให้ดียิ่งขึ้น โดยการศึกษาจะมีองค์ประกอบในแขนงวิชา วิทยาศาสตร์ (Science) คณิตศาสตร์ (Mathematics) เทคโนโลยี(Technology) และวิศวกรรม (Engineering) เรียกสั้น ๆ ว่า สะเต็ม(STEM) ซึ่งสะเต็มเป็นกลยุทธ์ที่จะรวมหลากหลายสาขาวิชา เพื่อเพิ่มความหลากหลาย ในการสร้างสรรค์รูปแบบการเรียนรู้ผ่านผู้สอนที่มีกลยุทธ์และทักษะเฉพาะด้าน นอกจากนี้เพื่อ เตรียมพลเมืองให้รับรู้ สะเต็มเพื่อเตรียมความพร้อม และรับมือกับความท้าทายอันยิ่งใหญ่ของ ศตวรรษที่ 21 ในปัจจุบันนั้นเทคโนโลยีและวิศวกรรมกร เข้ามาในบทบาทในการใช้ชีวิตในทุกวันนี้ มากขึ้น ดังนั้นการเรียนการสอนที่เน้นเฉพาะวิทยาศาสตร์กับคณิตศาสตร์ จึงไม่สอดคล้องกับ ปัจจุบัน การศึกษาในรูปแบบของสะเต็มจะเป็นในรูปแบบที่ควรจะทำให้ผู้เรียนได้เข้าใจในส่วนของ การทำงานและพัฒนาการใช้เทคโนโลยี โดยที่วิศวกรรมจะมีส่วนช่วยในทักษะการแก้ปัญหาและ นวัตกรรม ด้วยความสำคัญทางเศรษฐกิจต่อสังคม นักเรียนควรเรียนรู้เกี่ยวกับวิศวกรรม พัฒนา ทักษะและความสามารถบางอย่างที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบ (Bybee, 2010)

จากการที่ได้ศึกษาเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องนั้น ทำให้สรุปความหมายของสิ่งนี้ได้ว่า สะ เต็มศึกษา หมายถึง วิธีการอำนวยความสะดวกการเรียนรู้โดยเน้นให้นักเรียนบูรณาการเชื่อมโยงเนื้อวิชา วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์ เพื่อสร้างสรรค์ให้ลูกแบบมีต้นขาไก่ เกิดความเร็วปลาย ในการตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีความสูงจำกัดในห้องเรียน

4.2 หลักการจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษา

ในการอำนวยความสะดวกการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา เป็นการเรียนการสอนที่อำนวยความสะดวกให้นักเรียนให้ได้ ลงมือปฏิบัติจริง ในการสร้างชิ้นงาน หรือนวัตกรรมมาเพื่อสามารถแก้ไขปัญหา โดยใช้การวางแผน และการลงมือทำผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คำนวณทางคณิตศาสตร์ ใช้เทคโนโลยีช่วย และสร้างชิ้นงานผ่านทักษะทางด้านวิศวกรรม

ศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติ ระบุว่า การดำเนินการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย 5 ลักษณะ ซึ่งจะได้แก่

1. ดำเนินการสอนโดยเน้นการบูรณาการ
2. สร้างความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาวิชาทั้ง 4 กับชีวิตประจำวันและการทำอาชีพ ด้วยตัวนักเรียนเอง
3. เน้นการพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21

4. ทำทหายความคิดของนักเรียน

5. มีการให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็น และความเข้าใจที่สอดคล้องกับเนื้อหาทั้ง 4

วิชา

วัตถุประสงค์สำหรับการดำเนินการเรียนรู้ในแบบแนวทางสะเต็มศึกษา คือ ทำให้นักเรียนรัก เข้าใจ และเห็นคุณค่าของการเรียนวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ และตระหนักถึงเห็นว่าวิชาเหล่านั้นเป็นเรื่องใกล้ตัวที่สามารถนำมาใช้ได้ทุกวัน กล่าวคือ นักเรียนจะได้เรียนรู้ ทำความเข้าใจ นำองค์ความรู้ไปพัฒนาทักษะทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี และการออกแบบในทางวิศวกรรม เพื่อผลิตชิ้นงานที่ผ่านการลงมือทำของนักเรียน นอกจากนี้ นักเรียนจะต้องพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่น เพื่อรับฟังความคิดเห็น ไปสู่การแก้ปัญหา ส่วนสำคัญในการจัดการเรียนรู้ในรูปแบบสะเต็ม คือการบูรณาการ 4 วิชา การเชื่อมโยงสู่ชีวิตจริงและการทำงาน และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งกระบวนการทางวิศวกรรม มีกระบวนการทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน ได้แก่

1. Challenging Identify
2. Explore ideas
3. Developing and planing
4. Testing and evaluating
5. Presenting the solution

สรุป. การนำสะเต็มศึกษามาปรับรูปแบบเพื่อใช้ ณ ห้องเรียน ทำให้ช่วยส่งเสริมทัศนคติที่ดีต่อวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ นอกจากนี้ยังสร้างแรงบันดาลใจในการเรียนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์อีกด้วย และที่สำคัญการได้นำสะเต็มเข้ามาใช้ในห้องเรียนยังจะได้ทำให้ผลการประเมินการสอบระดับชาติทั้งในระดับประเทศ Ordinary National Education Test (ONET) และนานาชาติ Programme for International Student Assessment (PISA) สูงขึ้นกว่าเดิม

4.3 การบูรณาการของสะเต็มศึกษา

การใช้สะเต็มศึกษาจะทำให้ชั้นเรียนเกิดระดับการบูรณาที่แบ่งได้เป็นดังต่อไปนี้ คือ การบูรณาการภายในวิชา (Disciplinary), การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ (Multidisciplinary integration), การบูรณาการแบบสหวิทยาการ (Interdisciplinary integration) และ การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา (Transdisciplinary integration)

4.3.1 การบูรณาการภายในวิชา

คือการเรียนรู้ที่ทำได้โดยใช้ความรู้ทักษะความสามารถในวิชาเดียวเพื่อทำกิจกรรมสำหรับวิชาเดียวโดยไม่ได้ข้ามวิชากัน ซึ่งเป็นอยู่โดยปกติของการเรียนการสอน โดยครูนั้นจะดำเนินการทำกิจกรรมได้ด้วยตัวของครูเอง

4.3.2 การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ

การจัดการเรียนรู้ที่สร้าง Theme รวมขึ้นมาเพื่อโยงใยวิชาต่าง ๆ เข้าด้วยกันผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษา เพื่อให้นักเรียนได้เชื่อมโยงเนื้อหา สิ่งรอบตัว และทักษะที่ต้องใช้อย่างเข้ากัน เพื่อแก้ไขปัญหาสำหรับวิชาใดวิชาหนึ่ง

4.3.3 การบูรณาการแบบสหวิทยาการ

จัดการเรียนรู้โดยเชื่อมโยง 2 วิชารวมเข้ากัน เพื่อให้ได้เนื้อหาที่ขยายเพิ่มขึ้น และฝึกปรี้อทักษะมากขึ้น ผ่านความสัมพันธ์เพื่อให้เห็นความสอดคล้องโดยนักเรียน การพิจารณาตัวชี้วัดที่ตรงกันของครูผู้สอนซึ่งต้องทำงานร่วมกันจะทำให้ได้กิจกรรมที่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม

4.3.4 การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา

การที่นักเรียนต้องสามารถเชื่อมโยงศาสตร์และทักษะจากวิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี คณิตศาสตร์ และวิทยาศาสตร์เข้ากับสถานการณ์จริง ทำให้นักเรียนต้องได้ประยุกต์ใช้ความรู้และทักษะต่าง ๆ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่เผชิญอยู่จริง และสร้างสรรค์ประสบการณ์การเรียนรู้ของตัวเอง

อย่างไรก็ตาม กิจกรรมที่นักเรียนจะได้ทำ ต้องเริ่มจากประเด็นปัญหาที่นักเรียนมีความสนใจ สอดคล้องกับเนื้อหาในห้องเรียน และนักเรียนสามารถต่อยอดจากความรู้เดิมได้ การจัดการเรียนรู้แบบ Problem/ Project-based learning เป็น Instructional strategies ที่มีแนวทางใกล้เคียงกับแนวทางการบูรณาการแบบนี้

4.4 ประโยชน์จากการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา

โดยประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นนั้นจะเกิดอย่างหลากหลาย และเป็นวงกว้างทั้งต่อนักเรียน ครูผู้สอน กิจกรรมในห้องเรียน เพราะการเรียนรู้แนวนี้ได้รวมเอาสาขาวิชา 4 วิชา มารวมกันเพื่อให้ได้กิจกรรมเพียงกิจกรรมเดียวอย่างเหมาะสมสอดคล้องกับเนื้อหาที่นักเรียนสมควรได้รับ มากกว่าการที่นักเรียนจะได้ผลการเรียนที่ดีขึ้น คือการที่นักเรียนได้พัฒนาทักษะของตัวเองที่จำเป็นสำหรับอนาคต โดยใช้เพียงการลงมือทำเท่านั้น แล้วยังจะได้เสริมสร้างความคิดที่เป็นบวกต่อวิชาต่าง ๆ อีกด้วย

การนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาไปใช้ในการอำนวยความสะดวกการเรียนรู้ในชั้นเรียน โดยสามารถดำเนินการได้ 3 แนวทาง คือ

1. การจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาควรคำนึงถึงความเหมาะสมในเนื้อหาที่สำหรับนักเรียนจะได้รับ กับเวลาที่ใช้ดำเนินกิจกรรม ควรมีการระบุชั่วโมงกิจกรรมให้แน่ชัด เพื่อความสอดคล้องต่อบทเรียนนั้น ๆ

2. กิจกรรมที่จะจัดควรจัดในวิชาพิเศษเนื่องจาก ระยะเวลาในการดำเนินงานที่นานบวกกับความซับซ้อนของเนื้อหาที่มีมาก จึงควรเป็นโจทย์พิเศษหรือเป็นโครงการไปได้เลย เพื่อที่ครูผู้สอนจะได้เป็นที่ปรึกษาอย่างใกล้ชิดคอยแนะนำกับนักเรียนได้

3. จัดกิจกรรมกลางแจ้ง หรือใช้พื้นที่นอกห้องเรียนให้เกิดประโยชน์อย่างมาก สำหรับประเด็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งเกี่ยวกับปัญหาต่างๆในแบบ real time เพื่อร่วมกันสร้างนวัตกรรมที่จะนำมาใช้แก้สิ่งที่เกิดขึ้น มากไปกว่านั้นการที่นักเรียนได้ทำกิจกรรมอย่างต่อเนื่องก็จะช่วยให้นักเรียนฝึกปฎิบัติทักษะจนทำให้พัฒนาตนเองได้จากการที่ได้ลงมือลงแรงได้ด้วยตนเอง

อย่างไรก็ตามการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาแบบบูรณาการนี้มุ่งหวังให้ผู้เรียนเกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านการใช้ทักษะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการศึกษาค้นคว้า คิดค้น และแก้ไขปัญหาลงมือลงแรงทำโดยที่ซึ่งมีผู้สอนเป็นผู้ให้คำปรึกษา และต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องในการช่วยกันขับเคลื่อนให้การเรียน การสอน ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีก้าวไปข้างหน้าต่อไป

4.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสะเต็มศึกษา

กมลฉัตร กล่อมอิม ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษากับการดำเนินการเรียนรู้แบบปกติ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนหลังเรียนจะมากกว่าก่อนเรียนหลังจากที่นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 (กมลฉัตร กล่อมอิม, 2559)

รัชศิริ จิตอารี และคณะ ได้ศึกษาเรื่อง การพัฒนารูปแบบการสอนตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้และการจัดการเรียนรู้ สะเต็มศึกษา เพื่อเสริมสร้างการรู้วิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่าการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ที่ความสำคัญและเป็นสมรรถนะที่สำคัญยิ่งต่อ

นักเรียนจัดเป็นกิจกรรมการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาการรู้วิทยาศาสตร์ประกอบด้วย 5 ชั้น และผลการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิ พบว่า รูปแบบที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก และผลการทดลองใช้รูปแบบพบว่านักเรียนที่มีคะแนนการรู้เรื่องวิทยาศาสตร์ใน 3 ด้านสูงกว่าก่อนเรียน แยกรายด้านได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (รักษศิริ จิตอารี, 2560)

Micah ได้ศึกษา เรื่อง ข้อควรพิจารณาในการสอนสะเต็มศึกษาแบบบูรณาการ พบว่า สะเต็มศึกษาแบบบูรณาการสามารถกระตุ้นให้นักเรียนมีอาชีพในสาขาสะเต็ม และอาจเพิ่มความสนใจในผลงานทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ของพวกเขา เนื่องจากองค์ความรู้ใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นมานั้นเป็นความรู้ที่มาจากหลากหลายวิชา นอกจากนี้ สะเต็มยังสามารถใช้เป็นจุดเริ่มต้นสำหรับครูที่จะประสบความสำเร็จในการอำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ของนักเรียนในชั้นเรียนบูรณาการสะเต็ม (Stohlmann, Moore, และ Roehrig, 2012)

5. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับทักษะในศตวรรษที่ 21

5.1 ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21

สสวท. ระบุว่า การมีความเท่าทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกต้องอาศัยการเรียนรู้ในปัจจุบันที่เป็นการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ซึ่งต้องอาศัยทักษะต่างๆ เพื่อช่วยในการเรียนรู้ ได้แก่ ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา และทักษะการสื่อสาร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

คือการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการวิเคราะห์ เข้าถึง จัดการบูรณาการ วัตถุประสงค์และสร้างสรรค์ข้อมูลในรูปแบบและสื่อต่างๆ รวมทั้งเข้าใจในบทบาทของสื่อสังคม

5.1.2 ทักษะการคิดและการแก้ปัญหา ประกอบไปด้วย

1. ทักษะการคิด คือการใช้ความคิดระดับสูง เช่น การคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Critical thinking) การคิดสร้างสรรค์ (Creative thinking) เพื่อหาคำตอบในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง

การคิดอย่างมีวิจารณญาณ คือการใช้ความคิดอย่างมีเหตุผลโดยการวิเคราะห์ความชัดเจน ความน่าเชื่อถือ ความสัมพันธ์และความสมบูรณ์ของข้อมูล หรือจากพยานหลักฐานในการแก้ปัญหาแล้วลงความเห็นหรือประเมินหรือลงข้อสรุปได้อย่างสมเหตุสมผล

การคิดสร้างสรรค์ คือความสามารถในการคิดที่เกิดจากการเชื่อมโยงความคิด หลากหลายแนวทางแล้วนำมาจัดเป็นระบบความคิดทำให้มีจินตนาการและได้ความรู้ใหม่ โดย ที่มีความรู้และทักษะทั่ว ๆ ไป ทักษะเฉพาะและความรู้เรื่องที่ศึกษาเป็นพื้นฐาน

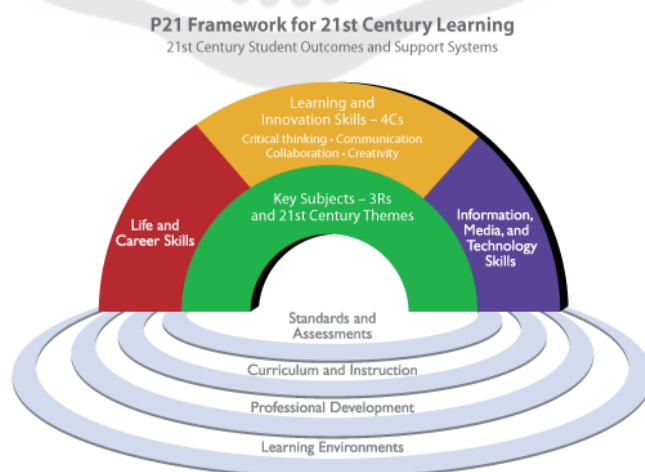
2. ทักษะการแก้ปัญหา คือการใช้ความคิดที่เป็นระบบ ความสามารถทางสติปัญญา ในด้านอื่น ๆ ทักษะและประสบการณ์เดิมมาประกอบกันเพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาหาแนวทาง ปฏิบัติหรือวิธีการที่สอดคล้องในการแก้ปัญหา

5.1.3 ทักษะการสื่อสาร

คือความเข้าใจ การจัดการและสร้างสรรค์ด้วยวาจาอย่างมีประสิทธิภาพ การสื่อสาร ด้วยการเขียนและการใช้สื่อมัลติมีเดียในรูปแบบและบริบทที่หลากหลาย

โดยนอกจากทั้ง 3 ทักษะที่สำคัญดังกล่าวแล้ว ภาศิพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ยัง ระบุถึงวิชาแกนหลักที่ควรเรียนรู้ด้วย ได้แก่ ภาษาอังกฤษ (การอ่าน และศิลปะการใช้ภาษา) ภาษา หลักของโลก ศิลปะ คณิตศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ภูมิศาสตร์ ประวัติศาสตร์ และการ ปกครองและหน้าที่พลเมืองที่ดี

ทักษะในศตวรรษที่ 21 เป็นทักษะสำคัญที่จะทำให้ให้นักเรียนสามารถดำเนินชีวิตใน สังคมปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ด้วยการส่งเสริมทักษะทั้ง 3 ด้าน และส่วนสำคัญในการ พัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 คือการดำเนินการสอนในชั้นเรียน ควรออกแบบการเรียนรู้ ที่ให้ผู้เรียนสามารถที่จะสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตัวนักเรียน ดังนั้นสะเต็มศึกษา ถือเป็นตัวเลือก ที่ดีในการที่ผู้วิจัยใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ 18 วิชาแกนหลักและประเด็นสำคัญในศตวรรษ 21 สำหรับการเรียนในปัจจุบัน

5.2 ความคิดสร้างสรรค์

5.2.1 ความหมายของความคิดสร้างสรรค์

มีผู้รู้และนักการศึกษาได้ให้นิยามของความคิดสร้างสรรค์ไว้ดังนี้

อาวี รังสินนท์ ได้กล่าวถึงความคิดสร้างสรรค์ว่า หมายถึง ความคิดที่คิดได้หลายทิศทาง หลายด้านมุมคิดและทำให้มีการคิดประดิษฐ์สิ่งแปลกใหม่รวมถึงการคิดค้นพบวิธีการแก้ปัญหาได้สำเร็จ ความคิดสร้างสรรค์ประกอบด้วยความคิดริเริ่ม (Originality) ความคล่องในการคิด (Fluency) ความยืดหยุ่นในการคิด (Flexibility) และความคิดละเอียดลออ (Elaboration) (อาวี รังสินนท์, 2532)

สุวรรณา ก้อนทอง กล่าวไว้ว่า ความคิดสร้างสรรค์ นั้นหมายถึง กระบวนการทำงานของความรู้สึกที่ว่องไวต่อการแก้ไขปัญหา แล้วรวบรวมความคิดตั้งเป็นสมมติฐานขึ้น สังเกตและทำการทดลอง นำมาซึ่งการสรุปผล และอภิปราย ความคิดสร้างสรรค์ของคนมีความแตกต่างกันตามระดับความมากน้อย ซึ่งความคิดสร้างสรรค์นั้นไม่จำเป็นต้องถึงขั้นสูงสุด โดยแบ่งเป็น 5 ขั้น ซึ่งไม่จำเป็นที่จะต้องถึงขั้นสูงสุด (สุวรรณา ก้อนทอง, 2547)

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยสรุปว่า ความคิดสร้างสรรค์ หมายถึง การคิดค้นสิ่งใหม่ หรือดัดแปลงสิ่งเดิมเพื่อนำมาแก้ไขปัญหา โดยผ่านการรวบรวมข้อมูลต่างๆ แล้วนำมาคิดอย่างละเอียดรอบคอบ ความยืดหยุ่นในการแก้ปัญหาต้องมี เพื่อแก้ไขข้อบกพร่อง จะได้ชิ้นงานที่แปลกใหม่มีเอกลักษณ์มีคุณค่า ซึ่งให้ประโยชน์ต่อสังคมและตนเอง

5.2.2 องค์ประกอบของความคิดสร้างสรรค์

Guilford ระบุความหมายสำหรับความคิดสร้างสรรค์ไว้ว่าองค์ประกอบมีดังนี้ (Guilford, 1967a)

1. ความคิดริเริ่ม (Originality) หมายถึง “ความคิดแปลกใหม่ไม่ซ้ำกันกับความคิดของคนอื่น และแตกต่างจากความคิดธรรมดา ความคิดริเริ่มอาจเกิดจากการคิดจากเดิมที่มีอยู่แล้วให้แปลกแตกต่างจากที่เคยเห็น หรือสามารถพลิกแพลงโดยไม่เคยคาดคิดมาก่อน ซึ่งเป็นการต่อยอดจากความคิดเดิมจนได้สิ่งใหม่”

2. ความคิดคล่องแคล่ว (Fluency) หมายถึง “ปริมาณความคิดที่คิดออกมาในเรื่องเดียวกันโดยไม่ซ้ำ ในเวลาที่จำกัด”

3. ความคิดยืดหยุ่น (Flexibility) หมายถึง “การคิดนอกกรอบที่ไม่คุ้นเคย ไม่อยู่ใต้กฎเกณฑ์ พยายามคิดได้หลายทางและอิสระ หรือความสามารถในการดัดแปลงความรู้ให้เกิดประโยชน์อย่างหลากหลายผ่านประสบการณ์ต่าง ๆ”

4. ความคิดละเอียดละออ (Elaboration) คือ “ความคิดในรายละเอียดเป็นขั้นตอนสามารถอธิบายให้เห็นภาพชัดเจน หรือเป็นแผนงานที่สมบูรณ์ขึ้น” (อชิร กลิ่นอำภา, 2016)

ในงานวิจัยนี้วัดความคิดสร้างสรรค์จากการประเมินชิ้นงานของนักเรียนที่สร้างขึ้น โดยเกณฑ์การประเมินทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ดัดแปลงมาจากการประเมินของ Guilford

5.2.3 ความสำคัญของความคิดสร้างสรรค์

ส่วนสำคัญสำหรับสังคม สำหรับตนเองของความคิดสร้างสรรค์ มีดังต่อไปนี้

ผุสดี ภูมิอินทร์ ได้กล่าวถึงคุณค่าของการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ไว้ 2 ประการ ดังนี้ (ผุสดี ภูมิอินทร์, 2526)

1. คุณค่าความคิดสร้างสรรค์ต่อสังคม ได้แก่ การที่บุคคลได้คิดสร้างสรรค์สิ่งหนึ่งเพื่อเป็นประโยชน์สุขและความก้าวหน้าของสังคม หรือหาวิธีแก้ไขจนประสบความสำเร็จมีประโยชน์ต่อสังคม

2. คุณค่าความคิดสร้างสรรค์ต่อตนเอง ความสามารถในการสร้างสรรค์นั้น นับเป็นความสามารถที่มีคุณค่าต่อผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์เองด้วย เพราะ การสร้างผลงานขึ้นใดชิ้นหนึ่งขึ้นมา ทำให้ผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์มีความพอใจและมีความสุข และสร้างความพึงพอใจให้แก่เด็ก

อารีย์ รังสินนท์ ระบุว่าความคิดสร้างสรรค์มีความสำคัญดังนี้

1. ต่อตนเอง

1.1 ลดความเครียดทางอารมณ์ โดยผู้ที่มีความอิสระในการคิดและการกระทำคือผู้ที่มีความคิดสร้างสรรค์ หากได้สนองความต้องการของตนเองในการคิดแล้ว จะทำให้ความเครียดและความกังวลลดลง

1.2 มีความสุข สนุกสนาน ผู้ที่ความคิดสร้างสรรค์เมื่อได้ทำ และทำลงในสิ่งที่ตนคิด จะรู้สึกพอใจตื่นเต้นกับผลงานที่ได้มา จะทำงานอย่างทุ่มเทเพลิดเพลีนและเต็มกำลังความสามารถ

1.3 มีความเชื่อมั่นและภาคภูมิใจในตนเอง เมื่อได้ทำตามสิ่งที่ตัวเองคิด และได้สร้างสรรค์งานได้สำเร็จ จะทำให้ผู้นั้นเกิดความภูมิใจในตนเอง ทั้งยังมีความเชื่อมั่น ในทางกลับกัน หากไม่สำเร็จก็จะยอมรับผลที่เกิดขึ้นด้วยความเข้าใจ สามารถสร้างบทเรียนจากความผิดพลาดได้ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่ก่อให้เกิดความมุ่งมั่น พยายาม ส่งผลให้มีความกล้าสำหรับการพยายามที่จะก้าวไปสู่ความสำเร็จ (ประนัดดา รัตนไตรมาศ, 2557)

2. ต่อสังคม (ทศนีย์ วงศ์นรา, 2559)

2.1 ชิ้นงานที่แปลกใหม่ สร้างสรรค์ จะทำให้สังคมเกิดการเปลี่ยนแปลง และเจริญก้าวหน้า

2.2 ช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในชีวิตประจำวันที่สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ผลงานที่สร้างสรรค์ จะเป็นนวัตกรรมที่สามารถที่จะนำมาแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้

2.3 ช่วยให้เกิดความสะดวกสบายและรวดเร็ว เช่น กรณียานพาหนะ ทำให้การคมนาคมสะดวกและรวดเร็ว ก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิด ความเข้าใจกัน มากยิ่งขึ้น

2.4 ความปลอดภัยในชีวิตและการมีชีวิตที่ยืนยาวขึ้นกับการค้นพบทางการแพทย์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี ทำให้การเสี่ยงอันตรายของมนุษย์น้อยลง การค้นพบยา ป้องกันโรค เช่นการค้นพบวัคซีนต่างๆ ทำให้มนุษย์รอดพ้นจากโรคร้ายต่างๆ ทำให้คนมีชีวิตยืนยาวขึ้น

2.5 ช่วยประหยัดเวลา แรงงานและระบบเศรษฐกิจ ผลการค้นพบในด้านต่าง ๆ ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการแพทย์การศึกษาการเกษตรช่วยให้มนุษย์มีเวลามากขึ้น ทำให้ประหยัดเวลา นำเวลาที่มีไปเพิ่มคุณภาพของชีวิตได้มากยิ่งขึ้น

2.6 ช่วยแก้ปัญหาของสังคม การเสาะหาวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในสังคมมีความต้องการมากยิ่งขึ้นเพราะสังคมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว

2.7 ช่วยทำให้เกิดความเจริญก้าวหน้าและดำรงซึ่งไว้มนุษยชาติ การยกมาตรฐานการดำรงชีวิต ผ่านความคิดสร้างสรรค์ ทำให้เกิดสันติต่อสังคมทำให้เจริญขึ้นตามลำดับ

จากที่กล่าวมาสรุปได้ว่า ความคิดสร้างสรรค์ส่งผลให้บุคคลมีสุขภาพจิตที่ดี มีความสุข และภาคภูมิใจในตนเอง รวมทั้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสังคม ทำให้เกิดการแก้ไขปัญหา ช่วยให้สังคมมีความเจริญก้าวหน้า

5.2.4 แนวทางในการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์

ความคิดสร้างสรรค์สามารถส่งเสริมได้ด้วยการสอน การฝึกฝน อบรม การสร้างบรรยากาศและสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมความเป็นอิสระในการเรียนรู้ มีผู้้นักการศึกษาได้ให้รายละเอียด ดังนี้

อารี พันธุ์มณี ได้กล่าวถึงการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ (อารี พันธุ์มณี, 2537)

ส่งเสริมให้นักเรียนตั้งคำถาม และพุ่งความสนใจไปที่คำถาม มีชุดคำตอบที่หลากหลาย ควรกระตุ้นให้คิดวิเคราะห์หาค้นหา เพื่อพิสูจน์โดยการใช้ในการสังเกตและประสบการณ์ส่วนของตนเอง รวมไปถึงความตั้งใจและเอาใจใส่ต่อความคิดแปลกๆ ด้วยใจเป็นกลาง ไม่ตัดสินความคิดที่แตกต่าง รับฟังอย่างเข้าใจ และกระตุ้นหรือรับต่อคำถามที่มีความแปลก แตกต่าง อย่างด้วยการตอบคำถามที่มีความเข้าใจ หรือช่วยชี้แนะแหล่งข้อมูลความรู้ เพื่อให้สามารถต่อยอดได้ การแสดงให้เห็นว่าความคิดนั้นๆจะมีคุณค่า และถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ มันจะทำให้เกิดความรู้สึภาคภูมิใจส่วนตัว และแรงขับเคลื่อนทางใจที่จะสร้างสรรค์ต่อไป และกระตุ้นให้ผู้เรียนได้เรียนรู้จากตนเอง สร้างโอกาสให้ได้เตรียมการด้วยตนเอง และจะให้สิ่งสำคัญที่มีการเรียนรู้ด้วยตนเอง ด้วยการเป็นผู้ชี้แนะของผู้สอน และลดการอธิบายและบรรยายลง สร้างวิธีที่นักเรียนจะได้ค้นคว้าอย่างสม่ำเสมอ โดยไม่ต้องใช้วิธีชู้ด้วยคะแนนหรือการสอบ ความคิดสร้างสรรค์จะไม่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วดังนั้นไม่ควรรีบร้อน ดังนั้นควรกระตุ้นให้มีการใช้จินตนาการ และยกย่องชมเชยเมื่อเด็กมีจินตนาการที่แปลกใหม่มีเอกลักษณ์และมีคุณค่า (ประนิตดา รัตนไตรมาศ, 2557) (บังเอิญ อินทรักษ์, 2555)

วราภรณ์ รักวิจัย ได้เสนอและบทบาทของครูในการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ดังนี้

1. จัดกิจกรรมหรือบรรยากาศแบบเรียนปนเล่น
2. จัดบรรยากาศในห้องเรียนแบบอิสระสบายๆ เป็นกันเอง
3. ยอมรับการแสดงออกของนักเรียนทุกคนด้วยความสนใจและกระตุ้น
4. ไม่กำหนดหรือจำกัดกิจกรรมในห้องเรียน
5. เปิดโอกาสให้เด็กได้ค้นคว้าทดลองและหาคำตอบเอง
6. ไม่ชมเชยเด็กไม่ว่าจะเป็นคำพูดหรือท่าทาง
7. ไม่ควรยึดแบบเรียนที่ตายตัวเพราะวิธีแก้ปัญหาที่หลากหลายวิธี
8. ใช้คำถามในห้องเรียนอย่างเปิดกว้าง
9. สร้างบรรยากาศในการยอมรับความเป็นกันเองระหว่างครูกับนักเรียน
10. พยายามสนับสนุนทางด้านความคิดที่กว้างและลึก
11. ให้เวลาแก่เด็กที่จะคิดค้นพัฒนาความคิดให้กว้างออกไปอีก
12. ปลุกฝังให้เด็กรู้จักคุณค่าของตัวเอง
13. ให้อิสระเสรีภาพในการแสดงออกของเด็ก

จากแนวทางการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสรุปว่าการจัดกิจกรรมส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน คำนึงถึงนักเรียนต้องมีอิสระให้คิด ไม้ตีกรอบ ต้องกำหนดเกณฑ์ชัดเจนสำหรับในการจัดการเรียนรู้ ทางด้านความคิด จะต้องรับฟัง และกระตุ้นให้ผู้เรียนได้มีแรงขับเคลื่อนทางใจเพื่อในการหาแนวทาง ตลอดจนอำนวยความสะดวกให้ผู้เรียนได้มีความเหมาะสมต่อการทำงานของนักเรียน เพื่อให้ให้นักเรียนสามารถพัฒนาทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ได้อย่างเต็มที่ นำมาสู่การสร้างนวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย จะดำเนินการตามแนวทาง ดังนี้

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง
2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. แบบแผนการทดลอง
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล
5. การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การกำหนดประชากรและการเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 กลุ่มการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 1 ห้องเรียน จำนวน 35 คน โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

กลุ่มตัวอย่าง

เลือกแบบสุ่มแบบกลุ่มมา 1 ห้องเรียน โดยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย คือ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2562 ใช้เวลาทั้งหมด 10 คาบ เป็นเวลา 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 2 คาบ โดยมีการแบ่งช่วงเวลาในการใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงการดำเนินการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูก
แบดมินตันขนไก่

สัปดาห์ที่	เนื้อหา	จำนวนคาบ
1	ทดสอบทักษะความคิดสร้างสรรค์ ก่อนเรียนด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่	1
1	นำเข้าสู่กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่	1
2	กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ แนะนำวิธีการใช้เล่มกิจกรรม	1
	หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่อง การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ และการตกที่พิจารณาแรง ต้านอากาศ พร้อมกับยกตัวอย่างสถานการณ์การตกของลูกแบดมินตัน เพื่อ นำไปสู่การระบุปัญหาของนักเรียน	1
3	ทำปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เรื่อง เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่	1
	ร่วมกันออกแบบวิธีการแก้ปัญหา	1
4	ดำเนินการดัดแปลง และออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่	1
	ทดสอบ ประเมิน และปรับปรุงลูกแบดมินตันขนไก่ที่ได้จากการทดลอง	1
5	นำเสนอกระบวนการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ และผลการทดลอง	2
	รวม	10

2. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

1. กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริม
ทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์

2. แบบประเมินทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์

2.1 การสร้างกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์

1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินกิจกรรม ดังนี้

1.1 ศึกษาผลการเรียนรู้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง พุทธศักราช 2560 ของกลุ่มสาระวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม สาระฟิสิกส์ คือ “ทดลอง และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่ง การกระจัด ความเร็ว และความเร่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวตรงที่มีความเร่งคงตัวจากกราฟและสมการ รวมทั้งทดลองหาค่าความเร่งโน้มถ่วงของโลก และคำนวณปริมาณต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง” อีกทั้งผู้วิจัยเพิ่มเติมสถานการณ์เกี่ยวกับ การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ ซึ่งเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมอีกด้วย โดยส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์

1.2 ศึกษาเนื้อหาเรื่อง การตก: โดยเนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย ประกอบไปด้วย การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก แรงต้านอากาศที่กระทำต่อวัตถุในการตก และความเร็วปลายในการตก และผู้วิจัยเชื่อมโยงเนื้อหาเรื่องการตกควบคู่ไปกับการดำเนินกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อให้นักเรียนสามารถใช้ความรู้เรื่อง เคลื่อนที่ใน 1 มิติ ภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก แรงต้านอากาศที่กระทำต่อวัตถุในการตก และความเร็วปลายของการตก ในการสร้างสรรค์ลูกแบดมินตันขนไก่ได้

1.3 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยเกี่ยวกับรูปแบบดำเนินกิจกรรม จากการสืบค้นข้อมูล ผู้วิจัยให้ความหมายของกิจกรรมในงานวิจัยนี้หมายถึง กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งในเล่มกิจกรรมประกอบด้วย ชื่อเรื่อง จุดประสงค์การเรียนรู้ สาระสำคัญของเรื่อง บทนำ เวลาที่ใช้ในการทำกิจกรรม แบบประเมินความสร้างสรรค์ ท้ายกิจกรรม

1.4 ศึกษาบทเรียน เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้สะเต็มศึกษา จากการศึกษาพบว่า การเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา คือการจัดการศึกษาเพื่อให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ และสามารถเชื่อมโยงความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี กระบวนการทางวิศวกรรม และคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่

2. วางแผนและออกแบบกิจกรรมในกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยกำหนดกรอบการดำเนินการเรียนรู้ เพื่อให้นักเรียนได้เรียนรู้และเชื่อมโยงทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี คณิตศาสตร์ ผ่านการแก้ไขปัญหาจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เพื่อให้บรรลุตามจุดประสงค์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ จากนั้นผู้วิจัยได้ทดลองปฏิบัติการเรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ โดยมีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

2.1 การพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศของลูกแบดมินตันขนไก่ โดยเลือกวิธีทำลูกแบดมินตันขนไก่ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย ราคาถูก และเป็นวิธีการที่เข้าใจได้ง่ายสำหรับนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

อุปกรณ์

1. ลูกแบดมินตันขนไก่
2. กระดาษบาง
3. เทปใส
4. กรรไกร
5. ไม้บรรทัด
6. คัตเตอร์
7. กาว
8. โปรแกรมวิเคราะห์วิถีดีไอแทรกเกอร์ (Tracker) free software version
9. โปรแกรม Excel version Microsoft Office 2010 ของสำนักคอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

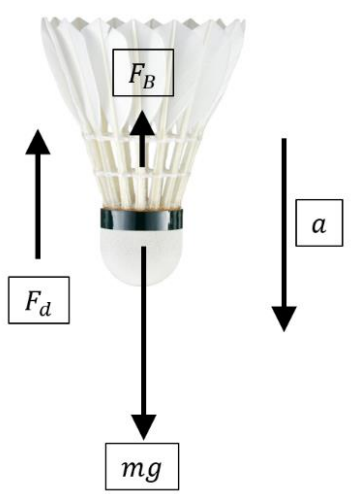
วิธีการทดลอง

ในการพัฒนาวิธีการทดลองและบทปฏิบัติการ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ นี้ได้ศึกษาการทำและดัดแปลงลูกแบดมินตันขนไก่ โดยการศึกษาผลของขนาดของมวล ปีกลูกแบดมินตันขนไก่ และระดับความสูงในการปล่อยลูกแบดมินตันขนไก่ที่มีผลต่อการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ

ตอนที่ 1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของลูกแบดมินตันขนไก่ โดยคำนึงผลของขนาดของมวล และลักษณะของปีกที่มีผลต่อการตก

1. ในการศึกษาผลของมวลที่มีผลต่อการตกคือการเตรียมลูกแบดมินตันขนไก่ ในลักษณะต่างๆ และวัสดุอื่นๆ มาสร้างเป็นลูกแบดมินตันจำลอง ที่แสดงในภาพประกอบที่ 19 แผนภาพแรงและทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่
2. ศึกษาการปล่อยที่ระดับความสูงภายในห้องทดลอง มีความสูง 2.80 เมตร
3. แรงต้านอากาศ จะส่งผลต่อลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งในกรณีที่ลูกแบดมินตัน ตกไม่นิ่งจะทำการแก้ไข ให้ตกนิ่งๆ ให้ได้ แล้วปล่อยให้ตกใหม่
4. เงื่อนไขเริ่มต้นจะถูกคำนวณ ผ่านสมการ (7) (20) (23) หรือ (25) นำไปสู่ การประดิษฐ์ มีข้อจำกัด ที่ใช้ความสูงให้เป็นประโยชน์ภายในห้องเรียน ลูกแบดมินตันขนไก่ควร จะมีมวลเป็นเท่าไร หลังจากนั้นแก้ไขลูกแบดมินตันขนไก่เพื่อให้มีมวลตามความเหมาะสม
5. หลังจากได้ลูกแบดมินตันขนไก่ที่ลงได้นิ่ง และมีมวลเหมาะสมแล้ว ก็จะไป บันทึกวิดีโอการตกเพื่อวิเคราะห์ผลผ่านโปรแกรม Tracker โดยพิจารณาจากกราฟความเร็ว และเวลา
6. การบันทึกวิดีโอ ถ่ายโดยกล้องจากโทรศัพท์อัจฉริยะ (Smart phone) มีความละเอียดในการแสดงผล 1080p และสามารถบันทึกภาพได้ อย่างน้อย 60 ภาพต่อวินาที ถ้าในความสูงประมาณ 3 เมตร ความยาวของวิดีโอ จะประมาณ 0.7-1.0 วินาที
7. ความละเอียด (Resolution) ของการบันทึกภาพ คือ ควรให้วัตถุที่เคลื่อนที่ กับฉากหลังมีสีที่ตัดกัน(Contrast) อย่างชัดเจน และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ควรทำ เครื่องหมาย (Mark) ที่ตัวของวัตถุ ระยะห่างระหว่างกล้องกับฉากต้องมีระยะห่างที่พอดีกับ ตลอดการตกของลูกแบดมินตันขนไก่
8. กราฟที่ได้ ควรแสดงลักษณะเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่เคลื่อนที่ด้วยความเร่ง และช่วงที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ หากวิเคราะห์แล้วยังไม่ได้กราฟดังนั้น ก็ทำการแก้ไขต่อไป

Free Body Diagram



ภาพประกอบ 19 แผนภาพแสดงทิศทางของปริมาณในการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่

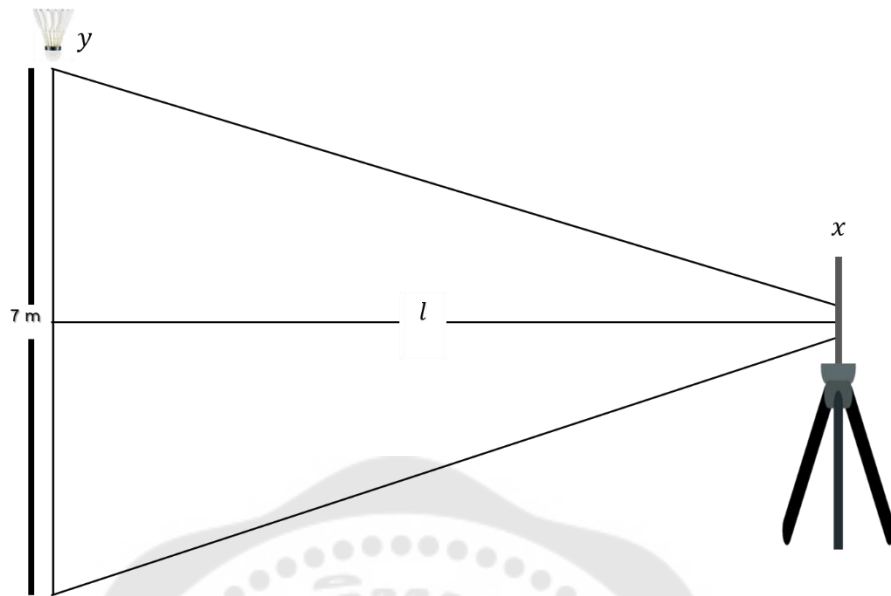
ตอนที่ 2 การตรวจสอบการตกของลูกแบดมินตันขนไก่

1. ในการทดลอง ตามภาพประกอบที่ 20 จะใช้โทรศัพท์อัจฉริยะ (Smart phone) ที่สามารถบันทึกวิดีโอ 60 เฟรมต่อวินาที ต่อเข้ากับขาตั้งกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ให้ห่างจากฉากหลังประมาณ 2.82 เมตร (ฉากหลังของการถ่ายภาพการเคลื่อนที่ควรเป็นพื้นหลังที่มีสีตัดกันกับลูกแบดมินตันขนไก่อย่างชัดเจน)

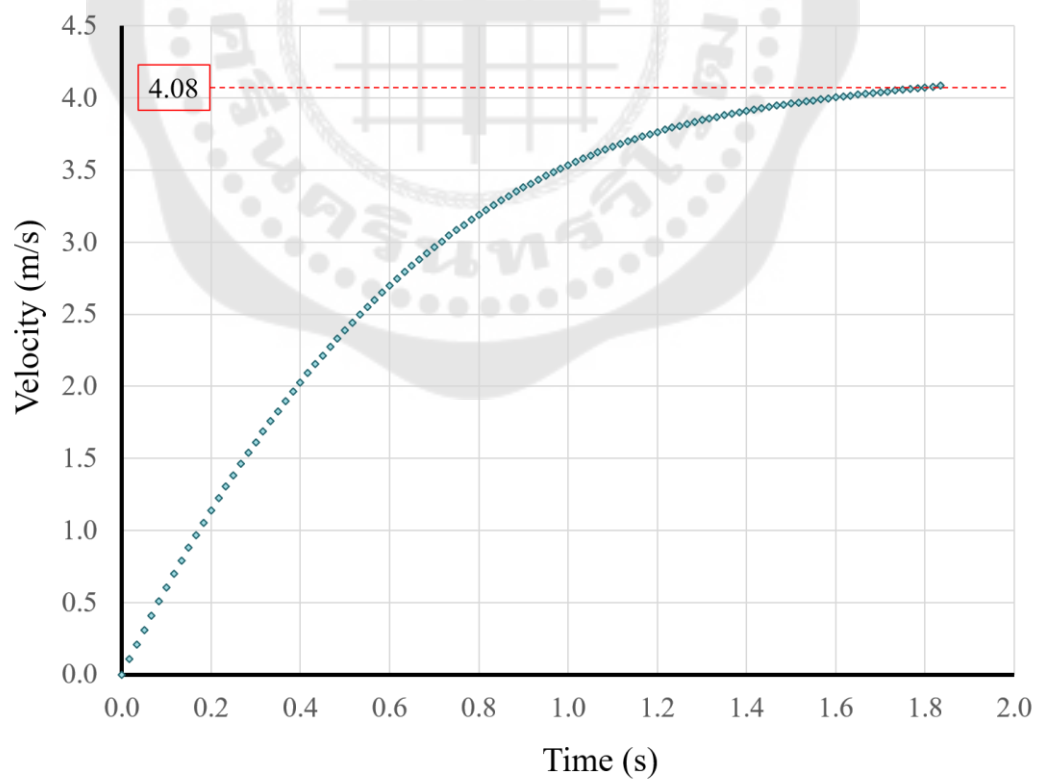
2. ลูกแบดมินตันขนไก่เชิงพานิชย์ชนิดขนไก่ จะได้รับการทดสอบ โดยการปล่อยให้ตกที่ระยะความสูง 7 เมตร ซึ่งได้ผลการเคลื่อนที่ ดังกราฟใน ภาพประกอบที่ 21 พบว่ามีขนาดของอัตราเร็วปลาย มีค่า 4.08 เมตรต่อวินาที โดยที่ระยะสูงประมาณ 5 เมตร จึงจะเริ่มสังเกตเห็นความเร็วปลาย

3. ใช้ลูกแบดมินตันแบบขนไก่ 10 ลูกซึ่งมีลักษณะทางกายภาพที่ต่างกัน โดยมวล และรูปร่าง เพื่อศึกษาความเร็วปลาย ปล่อยตกอย่างอิสระเพื่อบันทึกผลการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

4. ใช้โปรแกรม Tracker version 4.11.0 [14] สำหรับวิเคราะห์วิดีโอ การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ในการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยทำเป็นกราฟการเคลื่อนที่ กราฟความเร็วและเวลา



ภาพประกอบ 20 แผนภาพการทดลองการวัดการตกของลูกแบดมินตันชนไม้ในแกน $y(t)$

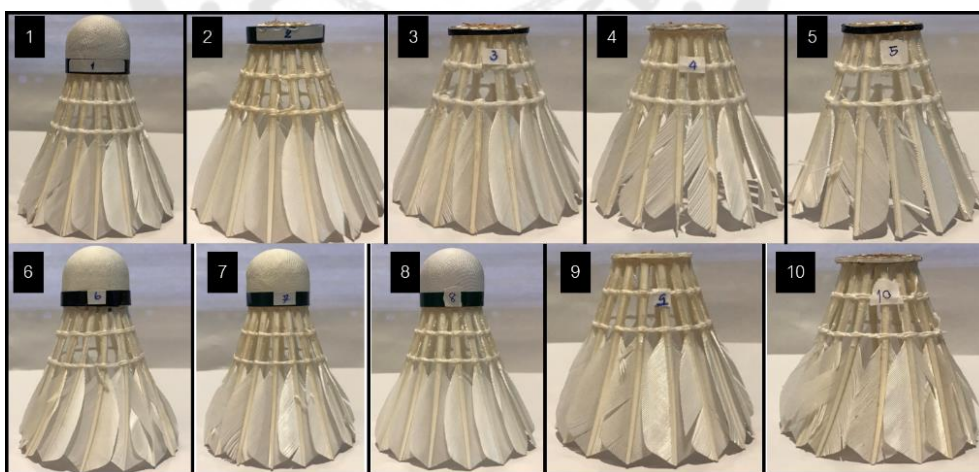


ภาพประกอบ 21 การทดลองและการคำนวณ ความเร็วของลูกแบดมินตันชนไม้ต้นแบบ

จากการจัดตั้งอุปกรณ์ในการถ่ายภาพ เมื่อตำแหน่ง x คือ สมาร์ทโฟน ตำแหน่ง y_i คือ ตำแหน่งเริ่มต้นของลูกแบดมินตันขนไก่ และระยะ l คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์กับระนาบการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ในลูกแบดมินตันขนไก่ต้นแบบ ที่มีมวล 5.19 กรัม จะมีความเร็วปลายที่ 4.08 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนหัวยาว 2.70 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนปลายยาว 6.50 เซนติเมตร และความยาวจากหัวลูกแบดมินตันขนไก่ถึงหางลูกแบดมินตันยาว 9.00 เซนติเมตร ซึ่งลูกแบดมินตันขนไก่ถูกปล่อยลงมาจากความสูง 7 เมตร และการวัดการทดลองในแนวตั้ง $y(t)$ ได้ในภาพประกอบที่ 21 จากนั้นเปลี่ยนระดับความสูงในการปล่อยให้สูงเพียง 2.80 เมตร พบว่า ความเร็วปลายของลูกแบดมินตันขนไก่ยังไม่คงตัว โดยช่วงทำอยู่ที่ยุ่ที่ 5.00 - 5.17 เมตรต่อวินาที

โดยในการทำการทดลองจะไม่พิจารณาผลกระทบของแรงลอยตัว ที่อากาศกระทำกับลูกแบดมินตันขนไก่ เนื่องจากขนาดของแรงลอยตัวจากการคำนวณโดยการใช้หลักของอาคิเมดิส มีค่าน้อยมาก ๆ ในระดับทศนิยม 5 ตำแหน่ง เนื่องจาก ปริมาณของลูกแบดมินตันขนไก่มีค่าน้อยมาก ๆ

จึงได้ดัดแปลงลูกแบดมินตันขนไก่ทั้งหมด 10 แบบ โดยใช้ลูกแบดมินตันขนไก่ที่นักกีฬาแบดมินตันใช้ในการแข่งขันทั่วไป คณะผลิตภัณฑ์ ประกอบไปด้วยลูกแบดมินตันขนไก่เชิงพาณิชย์ 4 แบบ ในราคาที่แตกต่างกัน

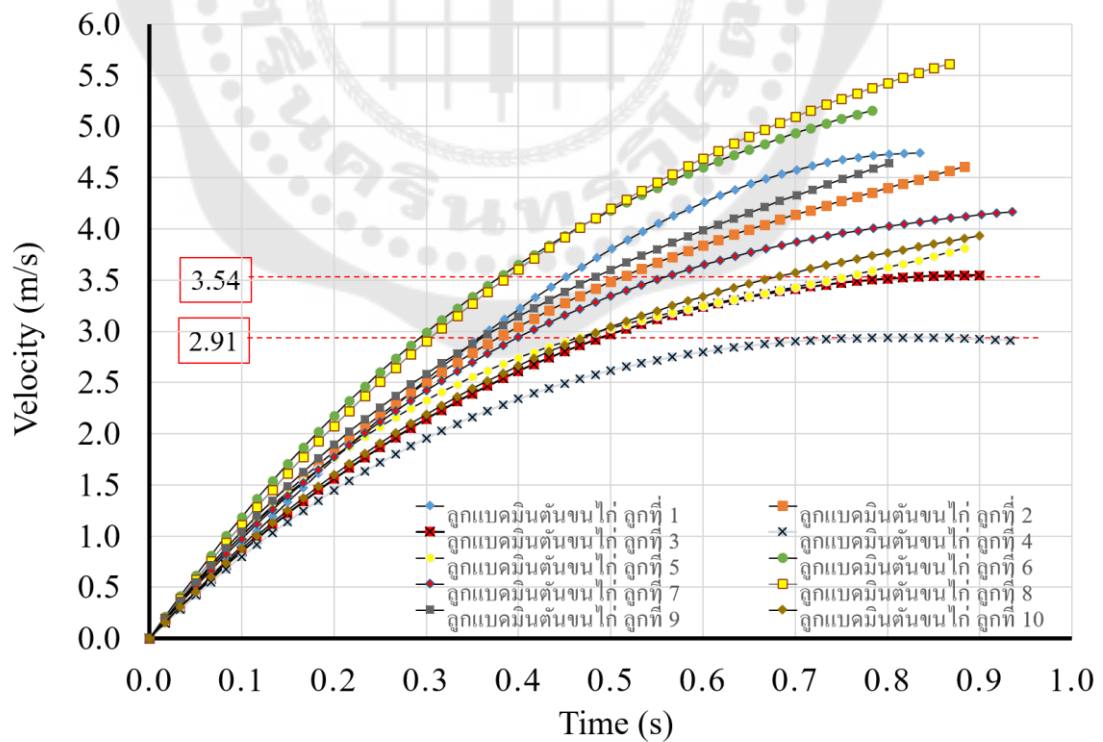


ภาพประกอบ 22 การดัดแปลงลูกแบดมินตันขนไก่ทั้ง 10 แบบ

ตาราง 3 ปริมาณทางกายภาพของลูกแบดมินตันขนไก่ทั้ง 10 แบบ

	ลูกแบดมินตันขนไก่ที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
มวล (g)	4.61	3.01	2.31	2.18	2.26	6.37	2.76	4.78	4.82	2.49
เส้นผ่านศูนย์กลางปีก (cm)	6.54	6.58	6.64	6.67	6.51	6.49	6.63	6.69	6.47	6.42
ความเร็วปลาย (m/s)	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	×

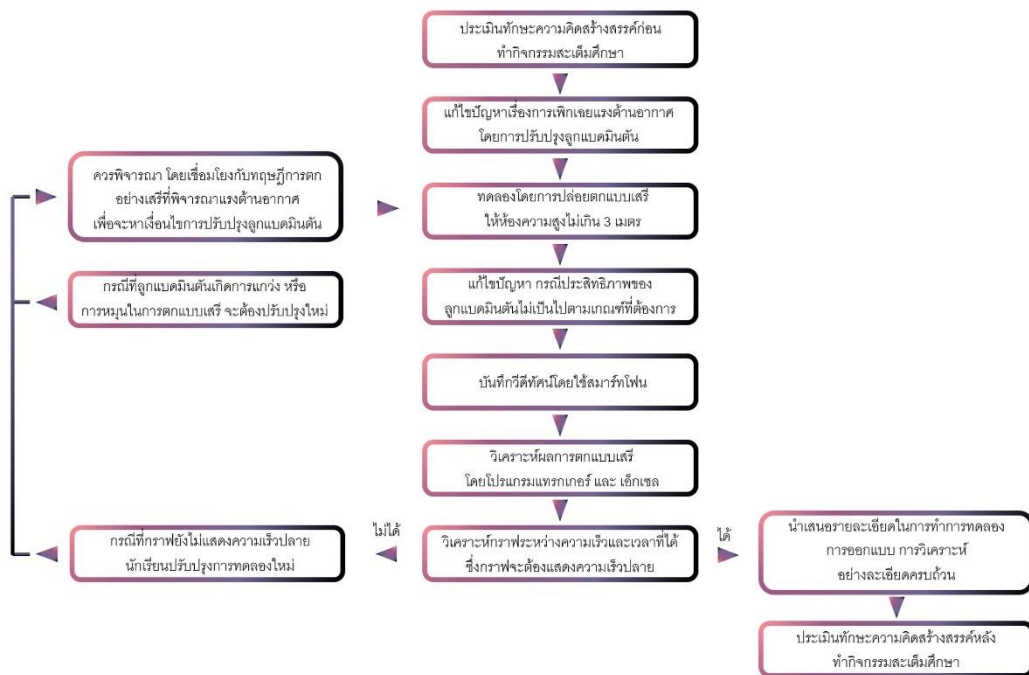
จากภาพการตัดแปลงลูกแบดมินตันทั้ง 10 แบบ และตารางที่ 3 การดำเนินการตัดแปลงลูกแบดมินตันขนไก่ทั้ง 10 แบบ และทำการวัดลักษณะทางกายภาพ เพื่อศึกษาความเร็วปลายในการเคลื่อนที่ภายใต้การปล่อยให้ตกใน ความสูง 2.8 เมตร ซึ่งการตัดแปลงลูกแบดมินตันขนไก่นั้น ได้ทำการลดมวล โดยตัดส่วนหัวไม้คอรั้งของลูกแบดมินตันขนไก่ออก และตกแต่งปีกของลูกแบดมินตันขนไก่ ให้มีการแหวกอากาศที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 23 กราฟระหว่างความเร็วและเวลาของลูกแบดมินตันขนไก่ทั้ง 10 ลูก

จากภาพประกอบที่ 23 แสดงให้เห็นว่ามีลูกแบดมินตันขนไก่เพียง 2 แบบที่สามารถเห็นความเร็วปลายในระยะความสูง 2.8 เมตร คือลูกแบดมินตันขนไก่หมายเลข 3 และหมายเลข 4 ซึ่งเป็นลูกแบดมินตันขนไก่ที่มีมีมวล 2.31 กรัม และ 2.18 กรัม ตามลำดับ และได้ตัดแต่งปีกเพื่อคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงตัวเลขเรย์โนลด์ คือไม่มีการเปลี่ยนรูปแบบมากเกินไป จึงได้นำเงื่อนไขของลูกแบดมินตันขนไก่ดังกล่าว เป็นรูปแบบในการแนะนำนักเรียนระหว่างการทำกิจกรรมเพื่อออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่

การนำเสนอสถานการณ์ จะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของรูปแบบกิจกรรมเพิ่มเติม โดยระบุปัญหาที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลของแรงต้านอากาศที่กระทำเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ให้นักเรียน เพื่อให้ นักเรียนช่วยกันวิเคราะห์ปัญหาของสถานการณ์นี้ แล้วให้ช่วยกันหาวิธีแก้ปัญหา หลังจากนั้นให้นักเรียนช่วยกันสังเกต และเสนอความคิดเห็น คาดคะเนว่าปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นได้อย่างไร ก่อนจะนำเข้าสู่บทเรียนเรื่อง การเคลื่อนที่ใน 1 มิติ



ภาพประกอบ 24 ผังแสดงการดำเนินการทดลอง

2.2 วิธีการหาคุณภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตกของลูกแบดมินตัน ขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะความคิดสร้างสรรค์

1. ประเมินคุณภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1.1 ด้านความเหมาะสมขององค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ กับการส่งเสริมทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ และเนื้อหาการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา 1 ท่าน ผู้สอนวิชาฟิสิกส์ 1 ท่าน และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน โดยแบบประเมินกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ มีลักษณะเป็นมาตราประมาณ 5 ระดับดังนี้

มากที่สุด	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	5
มาก	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	4
ปานกลาง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	3
น้อย	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	2
น้อยที่สุด	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น	1

นำคะแนนมาแปลความหมายซึ่งจะใช้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ได้แก่

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50	หมายถึง มีความเหมาะสม น้อยที่สุด
ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50	หมายถึง มีความเหมาะสม น้อย
ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50	หมายถึง มีความเหมาะสม ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50	หมายถึง มีความเหมาะสม มาก
ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00	หมายถึง มีความเหมาะสม มากที่สุด

จากการพิจารณาความเหมาะสมขององค์ประกอบของบทเรียนโดยผู้เชี่ยวชาญ ทั้ง 3 ท่าน พบว่ามีความเหมาะสมคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.38 ซึ่งหมายถึงกิจกรรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น มีความเหมาะสมขององค์ประกอบอยู่ในระดับเหมาะสมมาก (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

1.2 ด้านความสอดคล้องขององค์ประกอบของกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ กับการพัฒนาทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ และเนื้อหาเรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ โดยผู้เชี่ยวชาญประเมินจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วย ด้านเนื้อหา 1 ท่าน ด้านการสอนวิชาฟิสิกส์ 1 ท่าน และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน โดยใช้แบบประเมินกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ โดยเป็นมาตราประมาณ แบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้

มีความเห็นว่า	สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น +1
มีความเห็นว่า	ไม่แน่ใจ	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น 0
มีความเห็นว่า	ไม่สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนนเป็น -1

ปรับปรุงกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ตามที่ผู้เชี่ยวชาญได้มีการชี้แนะและชี้แนะ พบว่าค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ในระหว่าง 0.67-1.00 จากคำแนะนำที่เสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า รูปแบบกิจกรรมควรเพิ่มการระบุปัญหาของสถานการณ์เริ่มต้นให้มีความชัดเจน และเพิ่มเติมตัวอย่างการคำนวณเกี่ยวกับการเชื่อมโยงทฤษฎีการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศเพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินกิจกรรม มากไปกว่านั้นคือการที่ควรระบุสิ่งที่นักเรียนจะต้องได้ทำให้ชัดเจน และมีความละเอียดอย่างมากขึ้น

2. นำกิจกรรมที่ได้รับการปรับปรุงเรียบร้อยแล้วไปทดลองกับกลุ่มที่ไม่ใช่ตัวอย่างโดยเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายและปรับปรุงกิจกรรมเพิ่มเติม

2.1 ทดลองกับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยเป็นนักเรียนกลุ่มเล็ก 3 คน เพื่อการหาความเหมาะสมของเล่มกิจกรรมสะเต็มศึกษา ด้านขนาดตัวหนังสือ รูปภาพ การใช้ภาษา โดยการสังเกต และสัมภาษณ์โดยตรงระหว่างนักเรียนและผู้วิจัย พบว่า นักเรียนบอกว่าเล่มกิจกรรมมีสีสันสวยงาม ภาพประกอบเข้าใจง่าย แต่คำถามที่สอดแทรกไปในเนื้อหายังไม่ชัดเจน พบคำผิดในบางจุด และขนาดเส้นในเล่มมีความหนาเกินไป จากนั้นผู้วิจัยแก้ไขเล่มกิจกรรมตามที่นักเรียนระบุ โดยการ แก้ไขคำถาม แก้คำผิด และ ปรับขนาดของเส้น

2.2 ทดลองกับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยเป็นนักเรียนกลุ่มปานกลาง 9 คน เพื่อการหาความเหมาะสมของเล่มกิจกรรมสะเต็มศึกษา ด้านความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรม เพื่อหาข้อบกพร่องของการดำเนินงาน โดยการสังเกต และสัมภาษณ์โดยตรงระหว่างนักเรียนและผู้วิจัย พบว่า เนื้อหาบางจุดที่ใช้ในกิจกรรมมีความยากเกินไปจึงลดระดับความยากลงมาเพื่อให้เข้าใจได้โดยง่าย ในการใช้ลูกแบดมินตันขนไก่อนักเรียนมีความสนใจเพราะเป็นสิ่งที่นักเรียนคุ้นเคย

2.3 ทดลองกับกลุ่มที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยเป็นนักเรียน กลุ่มใหญ่ 30 คน เพื่อศึกษากระบวนการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ โดยให้นักเรียนทำกิจกรรมการเรียนรู้ และผู้วิจัยสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนระหว่างทำกิจกรรม พบว่านักเรียนมีความสนใจในกิจกรรมที่ให้ออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ และการตรวจสอบการตกในลูกแบดมินตันขนไก่ แต่ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่นักเรียนแต่ละกลุ่มใช้เวลาค่อนข้างนาน เพื่อ

ลดระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรม ผู้วิจัยจึงทำการแก้ไขโดยการตั้งค่าโปรแกรมไว้ก่อนให้นักเรียนวิเคราะห์

ขั้นตอนการสร้างแบบวัดประเมินความคิดสร้างสรรค์

ขั้นตอนการสร้างแบบวัดประเมินความคิดสร้างสรรค์ ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. กำหนดจุดประสงค์ในการออกแบบวัดประเมิน เพื่อสร้างแบบวัดประเมินความคิดสร้างสรรค์ เพื่อนำไปใช้ในงานวิจัย

2. ศึกษาวิเคราะห์เอกสารที่สอดคล้องกับการวัดและประเมินผล วิธีการสร้างและการเขียนแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ สำหรับการศึกษา ส่วนนี้ จะศึกษาจากการออกแบบผลงานของนักเรียนและผลงานที่นักเรียนสร้างขึ้น

3. สร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ โดยดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก Guilford โดยเกณฑ์การประเมินประกอบด้วย 4 ลักษณะ ทั้งหมด 8 ข้อ คือ Originality Fluency Flexibility และ Elaboration ซึ่งเป็นเกณฑ์ในการประเมินพฤติกรรมระหว่างการทำกิจกรรมและหลังกิจกรรมของนักเรียน รวมหัวข้อการประเมินทั้งหมด 8 หัวข้อ ซึ่งแต่ละหัวข้อการประเมินมีระดับทักษะตามเกณฑ์คะแนน ดังต่อไปนี้

ระดับทักษะ	คะแนน
ดีมาก	7 - 8
ดี	5 - 6
พอใช้	3 - 4
ปรับปรุง	0 - 2

3.1 ความคิดคล่องแคล่ว ประเมินโดยตอบปัญหาในเวลาที่กำหนดเกี่ยวกับแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วได้ตรงประเด็นถูกต้อง และมีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ มีหัวข้อการประเมิน 2 ข้อหัวข้อ ได้แก่

3.1.1 ตอบข้อคำถามเกี่ยวกับการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ

3.1.2 ปริมาณการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ที่มีความหลากหลาย

เกณฑ์การประเมินระดับทักษะความคิดคล่องแคล่ว มีหัวข้อการประเมินย่อยทั้งหมด 2 หัวข้อ คิดเป็นคะแนนเต็ม 8 คะแนน โดยแบ่งระดับทักษะเป็นช่วงคะแนน ดังนี้

ระดับทักษะ	ช่วงคะแนน
ดีมาก	7 - 8
ดี	5 - 6

พอใช้ 3 - 4

ปรับปรุง 0 - 2

3.2 ความคิดยืดหยุ่น มีการเลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น และมีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ทำให้ตกแบบช้าลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก

3.2.1 การเชื่อมโยงการตก กับสมการการเคลื่อนที่

3.2.2 การใช้วัสดุต่างๆ เพื่อเพิ่มแรงต้านอากาศ ให้ลูกแบดมินตันขนไก่ตกโดยไม่หมุน

เกณฑ์การประเมินระดับทักษะความคิดยืดหยุ่น มีหัวข้อการประเมินย่อยทั้งหมด 2 หัวข้อ คิดเป็นคะแนนเต็ม 8 คะแนน โดยแบ่งระดับทักษะเป็นช่วงคะแนน ดังนี้

ระดับทักษะ	ช่วงคะแนน
ดีมาก	7 - 8
ดี	5 - 6
พอใช้	3 - 4
ปรับปรุง	0 - 2

3.3 ความคิดริเริ่ม คิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตันขนไก่ และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง และคิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น

3.3.1 ออกแบบการทดลอง และสามารถให้ผลการทดลองอย่างถูกต้อง

3.3.2 วิเคราะห์ถึงปัญหาของแรงต้านอากาศที่กระทำกับลูกแบดมินตันขนไก่

เกณฑ์การประเมินระดับทักษะความคิดริเริ่ม มีหัวข้อการประเมินย่อยทั้งหมด 2 หัวข้อ คิดเป็นคะแนนเต็ม 8 คะแนน โดยแบ่งระดับทักษะเป็นช่วงคะแนน ดังนี้

ระดับทักษะ	ช่วงคะแนน
ดีมาก	7 - 8
ดี	5 - 6
พอใช้	3 - 4
ปรับปรุง	0 - 2

3.4 ความคิดละเอียดลออ บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการสร้างลูกแบดมินตันขนไก่ และเชื่อมโยงประเด็นปัญหาที่กราฟในการตก อย่างสอดคล้องตรงประเด็น และทำสื่อนำเสนอ ขั้นตอนการสร้างลูกแบดมินตันขนไก่ มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง

3.4.1 บอกรายละเอียดการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่โดยเชื่อมโยงทุกขั้นตอน

3.4.2 มีการนำเสนอที่ให้องค์ประกอบครบถ้วน

เกณฑ์การประเมินทักษะความคิดละเอียดลออ มีหัวข้อการประเมินย่อยทั้งหมด 2 หัวข้อ คิดเป็นคะแนนเต็ม 8 คะแนน โดยแบ่งระดับทักษะเป็นช่วงคะแนน ดังนี้

ระดับทักษะ	ช่วงคะแนน
ดีมาก	7 - 8
ดี	5 - 6
พอใช้	3 - 4
ปรับปรุง	0 - 2

วิธีการหาคุณภาพแบบวัดประเมินความคิดสร้างสรรค์

การหาคุณภาพแบบวัดประเมินความคิดสร้างสรรค์

1. ประเมินความสอดคล้องของทักษะกับองค์ประกอบของแบบแบบวัด ประเมินความคิดสร้างสรรค์ ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยใช้แบบประเมิน ความคิดสร้างสรรค์ เป็นเครื่องมือในการวัดประเมิน ที่มีลักษณะเป็นมาตราประมาณค่า 3 ระดับ เพื่อปรับปรุงแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ และนำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมา แปลงเป็นคะแนน ดังนี้

มีความเห็นว่า	ไม่สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนน เป็น	-1
มีความเห็นว่า	ไม่แน่ใจ	ให้ค่าน้ำหนักคะแนน เป็น	0
มีความเห็นว่า	สอดคล้อง	ให้ค่าน้ำหนักคะแนน เป็น	+1

จากคำแนะนำโดยผู้เชี่ยวชาญ แนะนำว่าควรกำหนดให้เกณฑ์ที่มีตัวเลขมีความชัดเจนมากกว่าเดิม เพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งระดับ และง่ายต่อการประเมิน

2. คัดเลือกแบบวัดประเมินทั้งหมด 8 ข้อ นำไปใช้กับกลุ่มอย่าง หลังจากปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

เกณฑ์การประเมินให้คะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์

ผู้วิจัยกำหนดวิธีการสำหรับการประเมินโดยดัดแปลงเกณฑ์การประเมินมาจาก Guilford (Guilford, 1967a) โดยมีวิธีให้คะแนนระดับพฤติกรรมของทักษะความคิดสร้างสรรค์ ซึ่ง

รายละเอียดการประเมินความคิดสร้างสรรค์จะอยู่ในภาคผนวก ง โดยแบ่งตามระดับพฤติกรรม 4 ระดับ ดังนี้

ตาราง 4 เกณฑ์การประเมินความคิดสร้างสรรค์

เกณฑ์การประเมินความคิดสร้างสรรค์	
ระดับพฤติกรรม	คะแนน
ดีมาก	7-8
ดี	5-6
พอใช้	3-4
ปรับปรุง	0-2

3. ดำเนินการสร้างแบบประเมิน 360 องศา นั่นคือ มีการประเมินรอบทิศทางและนับว่าเป็นระบบการประเมินแบบที่สร้างความยุติธรรมได้สูงมาก ซึ่งเป็นกระบวนการเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลย้อนกลับ เกี่ยวกับการปฏิบัติงานจากผู้เกี่ยวข้อง(दनัย เทียนพุด, 2547) จากกลุ่มตัวอย่างที่ประเมินตนเอง ประเมินกลุ่มของตนเอง และผู้วิจัยประเมินกลุ่มตัวอย่าง ดูได้จากภาคผนวก ง

3. แบบแผนการทดลอง

การศึกษาวิจัยเชิงทดลองครั้งนี้ ซึ่งทำการทดลองตามแบบแผน ในรูปแบบ One-Group Pretest-Posttest Design (พรวิณี ลีกิจวัฒน์, 2557)

ตาราง 5 แสดงแบบแผนการทดลอง One-Group Pre-test-Post-test Design

วัดก่อน	สิ่งทดลอง	วัดหลัง
T ₁	X	T ₂

สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง

X คือ การดำเนินการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

T_1 คือ การทดสอบก่อนเรียน

T_2 คือ การทดสอบหลังเรียน

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

มีวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

1. ทำการเลือกนักเรียนโดยการเลือกแบบเจาะจงมา 1 ห้องเรียน เป็นชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
2. Pre-test โดยใช้ใบกิจกรรมการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่เพื่อทดสอบทักษะก่อนเรียน ด้านความคิดสร้างสรรค์
3. ดำเนินการสอนโดยมีระยะเวลาในการสอนแค่ 10 คาบ (คาบละ 50 นาที)
4. เมื่อสิ้นสุดแล้ว จึงทำการทดสอบหลังเรียน (Post-test) โดยใช้ใบกิจกรรมการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่เพื่อทดสอบทักษะในศตวรรษที่ 21 ก่อนเรียน ด้านความคิดสร้างสรรค์
5. นำผลคะแนนจากการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ มาทดสอบสมมติฐานโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติ

5. การจัดทำและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งคำนวณประสิทธิภาพจาก นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับ ดี ขึ้นไป
2. วิเคราะห์ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่ใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ จากแบบประเมินทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ โดยใช้วิธีการทางสถิติ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. วิเคราะห์คะแนนทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งการใช้คะแนนที่ได้จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยการใช้วิธีการทางสถิติในรูปแบบ T-test for dependent samples
4. สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ มีดังต่อไปนี้

4.1 สถิติพื้นฐาน

4.1.1 การหาค่าเฉลี่ยคำนวณจากสมการ

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (27)$$

เมื่อ	$\sum x$	คือ	ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
	n	คือ	จำนวนของนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง
	\bar{x}	คือ	คะแนนเฉลี่ย

4.1.2 การหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนน

$$S = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (28)$$

เมื่อ	S	คือ	ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	$\sum x$	คือ	ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
	n	คือ	จำนวนของนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง
	$\sum x^2$	คือ	ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

4.2 สถิติที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

4.2.1 หาความเที่ยงตรงตามเนื้อหาของกิจกรรมสะเต็มศึกษาเรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ และแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องคำนวณจากสมการ

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (29)$$

เมื่อ	IOC	คือ	ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item-Objective Congruence Index)
	N	คือ	จำนวนผู้เชี่ยวชาญ
	$\sum R$	คือ	ผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

4.2.2 กิจกรรมส่งเสริมศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ จะได้รับการหาประสิทธิภาพ ซึ่งคำนวณจากสูตร

$$\% = \frac{x}{y} \times 100 \quad (30)$$

เมื่อ % คือ ร้อยละของนักเรียนที่มีทักษะความคิดสร้างสรรค์ระดับดี
 x คือ จำนวนของนักเรียนที่ได้รับทักษะความคิดสร้างสรรค์ในระดับดี
 y คือ จำนวนนักเรียนทั้งหมด

4.3 สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐาน

ใช้สถิติในการทดสอบสมมติฐานภายในกลุ่มทดลอง ที่คำนวณได้จากสมการ
 t - test Dependent Sample

$$t = \frac{\Sigma D}{\sqrt{\frac{n \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2}{n-1}}} \quad (31)$$

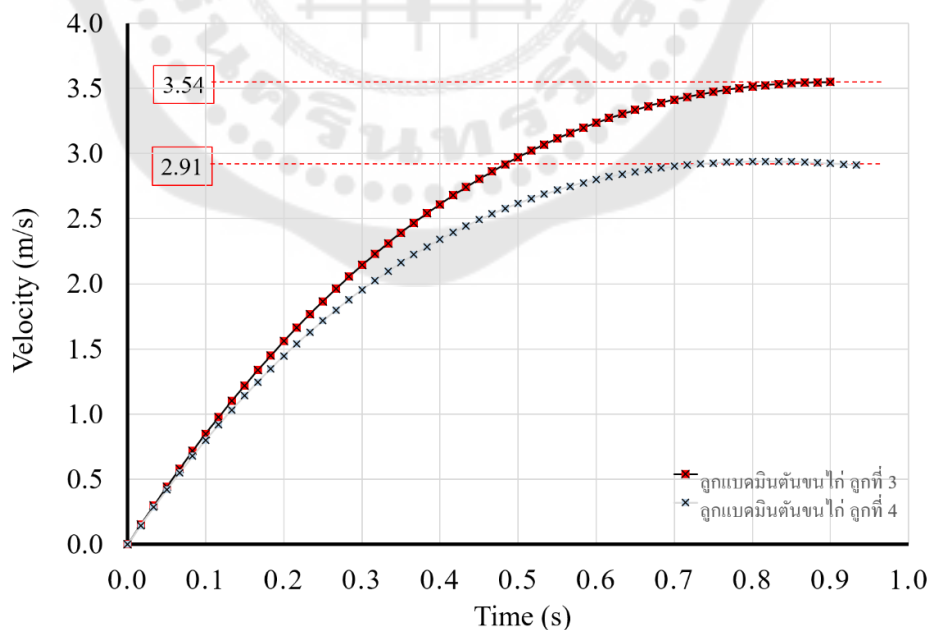
เมื่อ n คือ จำนวนคู่ของคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน
 t คือ ค่าที่ใช้พิจารณาการแจกแจงแบบที
 D คือ ความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่

บทที่ 4 ผลการศึกษา

วิธีวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนการดำเนินการทดลองทางฟิสิกส์ เป็นบทปฏิบัติการเกี่ยวกับการทดลองการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ส่วนที่สองคือฟิสิกส์ศึกษา ซึ่งเกี่ยวกับสมมติฐานเกี่ยวกับการหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ และใช้กิจกรรมนี้เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางการทดลองฟิสิกส์

การทดลองปล่อยลูกแบดมินตันขนไก่ภายในความสูง 2.8 เมตร พบว่ามีลูกแบดมินตันขนไก่ลูกที่ 3 และ ลูกที่ 4 ที่มีมวล 2.31 กรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.64 เซนติเมตร เกิดความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระ 3.54 เมตรต่อวินาที และลูกแบดมินตันขนไก่ที่มีมวล 2.18 กรัม มีเส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.67 เซนติเมตร เกิดความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระ 2.91 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ซึ่งจะได้มาจากการทดลองที่จะแสดงในภาพประกอบที่ 25



ภาพประกอบ 25 การทดลองและการคำนวณความเร็วและเวลา
ของลูกแบดมินตันขนไก่ลูกที่ 3 และลูกที่ 4

จากการพิจารณา free body diagram เมื่อลูกแบดมินตันชนไม้ตกจนมีความเร็วคงที่ กล่าวคือ เมื่อความเร่งมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะเคลื่อนที่ตามกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 1 ของนิวตัน ทำให้ สมการขนาดของแรง จะเป็น

จะได้

$$mg - F_d - F_B = 0 \quad (32)$$

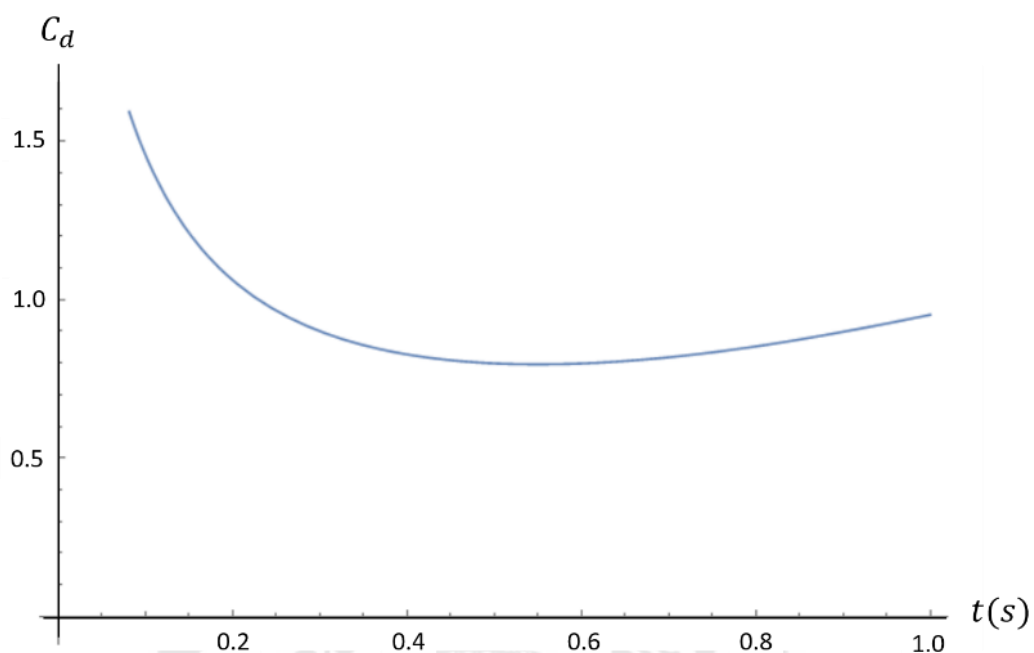
$$F_d = mg \quad (33)$$

(จะไม่นำ F_B มาพิจารณาเนื่องจากมีผลน้อยมาก) ดังนั้น ทำให้แรงต้านอากาศของลูกแบดมินตันชนไม้ลูกที่ 3 เท่ากับ 0.022 นิวตัน หลังจากนั้นเพื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของลูกแบดมินตันชนไม้ โดยวิเคราะห์จากสมการ

จาก
$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 \quad (34)$$

จะได้
$$C_d = \frac{2mg}{\rho A v^2} \quad (35)$$

เมื่อใช้ความเร็วปลายจากผลการวิเคราะห์การเคลื่อนที่จากภาพประกอบที่ 25 พิจารณาลูกแบดมินตันชนไม้ลูกที่ 3 เนื่องจากลักษณะของปีกชนไม้ในลูกแบดมินตันชนไม้ลูกที่ 3 นั้นมีความใกล้เคียงกับลูกแบดมินตันชนไม้ต้นแบบมากที่สุด ซึ่งมีความเร็วปลายเท่ากับ 3.54 เมตรต่อวินาที และมีมวล 2.31 กรัม สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์แรงต้านได้มีค่าเท่ากับ 0.88 ในขณะที่วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านผ่านโปรแกรม Mathematica ซึ่งแสดงในภาพประกอบที่ 26 โดยในช่วงวินาทีที่ 0.8-0.9 ซึ่งเป็นช่วงที่ลูกแบดมินตันชนไม้เกิดความเร็วมีความเร็วปลายสัมประสิทธิ์แรงต้านมีค่าประมาณ 0.8-1.0 ซึ่งทั้งการคำนวณและการวิเคราะห์ด้วยการใช้โปรแกรมได้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านใกล้เคียงกับงานวิจัยของ (Cohen, 2015)



ภาพประกอบ 26 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านของลูกแบดมินตันขนไก่ ลูกที่ 3 ผ่านโปรแกรม Mathematica

การวิเคราะห์และแปรผลข้อมูล ในส่วนฟิสิกส์ศึกษา เป็นการหาประสิทธิภาพและการพัฒนาทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งนำเสนอตามสมมติฐานในงานวิจัย

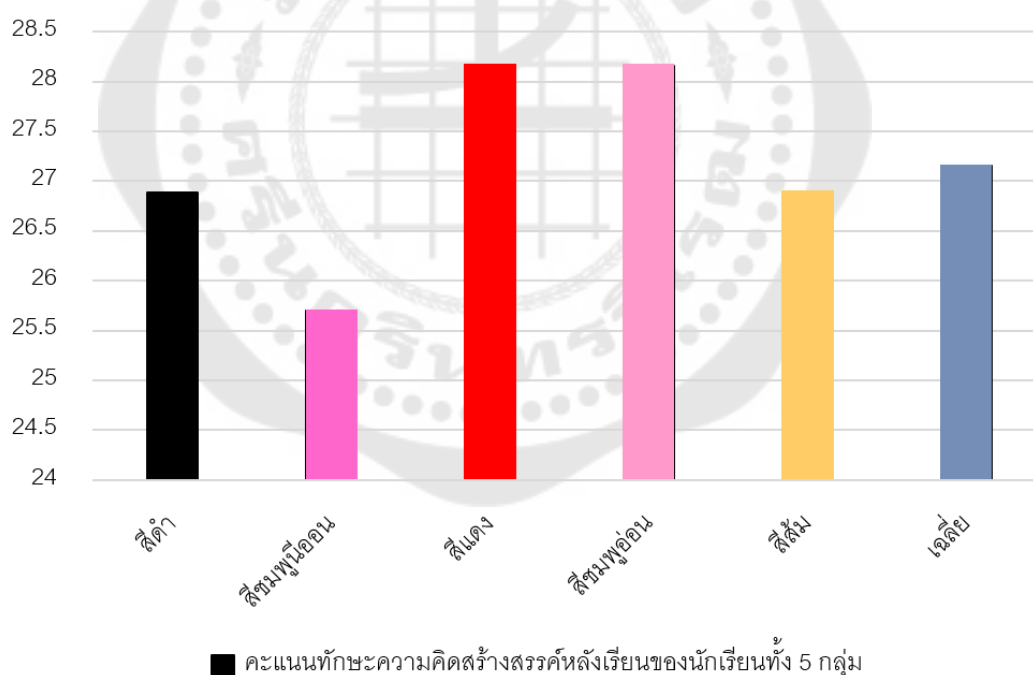
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางฟิสิกส์ศึกษา

จากกลุ่มเป้าหมายที่ทำการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้นักเรียนของโรงเรียนหอวัง โดยโรงเรียนแห่งนี้มีนักเรียนมัธยมปลายถูกแบ่งทั้งหมด 16 ห้อง โดยเป็นนักเรียนแผนวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ จำนวน 8 ห้อง เป็นนักเรียนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ปกติ 3 ห้อง ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ จำนวน 2 ห้อง ห้องเรียนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ Intensive จำนวน 1 ห้องเรียน และห้องเรียนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ สะเต็มศึกษา จำนวน 1 ห้อง ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้นักเรียนห้องเรียน สะเต็ม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เพศหญิง 15 คน เพศชาย 20 คน

ผู้วิจัยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกเสรีของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ ของผู้เรียน เพื่อทดสอบสมมติฐานดังต่อไปนี้

สมมติฐานข้อที่ 1 กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันชนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ โดยนักเรียนร้อยละ 70 จะได้รับคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับ ดี ขึ้นไป

ผู้วิจัยพัฒนากิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันชนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ และนำไปใช้กับนักเรียน โรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่ เพื่อหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยการให้นักเรียนทำแบบประเมินการคิดอย่างสร้างสรรค์ หลังจากเรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็ม โดยผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนทั้งหมด 5 กลุ่มจำนวน 35 คน (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค) จากนั้นนำผลการประเมินหลังเรียน มาจัดช่วงคะแนนเพื่อหาจำนวนนักเรียนที่มีผลการประเมินความคิดสร้างสรรค์ ไม่ต่ำกว่า 22.4 คะแนน จากคะแนนเต็ม 32 คะแนน หรือไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 จากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ แสดงในตารางที่ 6 และภาพประกอบที่ 27



ภาพประกอบ 27 แผนภูมิแท่งแสดงคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์หลังเรียน ทั้ง 5 กลุ่ม

ตาราง 6 แสดงจำนวนกลุ่มของนักเรียนที่มีผลการประเมินหลังเรียนมากกว่า 22.4 คะแนน หรือคิดเป็นร้อยละ 70 จากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์

ช่วงคะแนน (เต็ม 32 คะแนน)	จำนวนกลุ่ม (กลุ่ม)	ร้อยละของนักเรียน ทั้งหมด	ร้อยละนักเรียนทั้งหมด ที่ผ่านเกณฑ์ 70 %
25 – 32	5	100.00	100 % ผ่านเกณฑ์
17 – 24	0	0.00	
9 – 16	0	0.00	
0 – 8	0	0.00	
รวม	5	100.00	100.00 %

ในตารางที่ 6 พบว่า สำหรับการประเมินความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนของกลุ่มนักเรียน โดยที่มีการประเมิน 3 ทาง ได้แก่ผู้วิจัยประเมิน นักเรียนประเมินตนเอง และกลุ่มของนักเรียนเอง เรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ จำนวนทั้งหมด 8 ข้อ คิดเป็นคะแนนเต็มทั้งสิ้น 32 คะแนน โดยช่วงของคะแนนถูกอธิบายอย่างละเอียดด้วยภาพประกอบที่ 27 จากการประมาณพบว่า นักเรียนได้ 26 คะแนน จำนวน 1 กลุ่ม ได้ 27 คะแนนจำนวน 2 กลุ่ม และได้ 28 คะแนนจำนวน 2 กลุ่ม ส่งผลให้คะแนนของนักเรียนทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ที่ 27 คะแนน กลุ่มของนักเรียนได้ผลการประเมินช่วงคะแนน 25 – 32 คะแนน จำนวน 5 กลุ่ม คิดเป็นทั้งหมดร้อยละ 100 กล่าวได้ว่าผลการประเมินหลังเรียนของนักเรียนมากกว่า 22.4 คะแนน หรือคิดเป็นร้อยละ 70 จากแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ มีจำนวน 5 กลุ่ม คิดเป็นทั้งสิ้นร้อยละ 100 สูงกว่า ร้อยละ 70 ที่ตั้งเกณฑ์ไว้

ดังนั้น จะเป็นไปตามเกณฑ์ที่ได้กำหนด ไว้ใน สมมติฐานข้อที่ 1 กล่าวว่ กิจกรรมสะเต็มศึกษาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์

สมมติฐานข้อที่ 2 ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ อยู่ในระดับดีขึ้น

ในการดำเนินกิจกรรม นักเรียนกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ จากผู้วิจัย ครูผู้ควบคุมชั้นเรียน 2 ท่าน นักเรียนประเมินกลุ่มของตนเอง และ

นักเรียนประเมินตนเอง ซึ่งประกอบด้วย 4 ด้าน ได้แก่ คิดริเริ่ม คิดยืดหยุ่น คิดคล่องแคล่ว และคิดละเอียดลออ โดยมีระดับความคิดสร้างสรรค์แต่ละด้าน ดังนี้

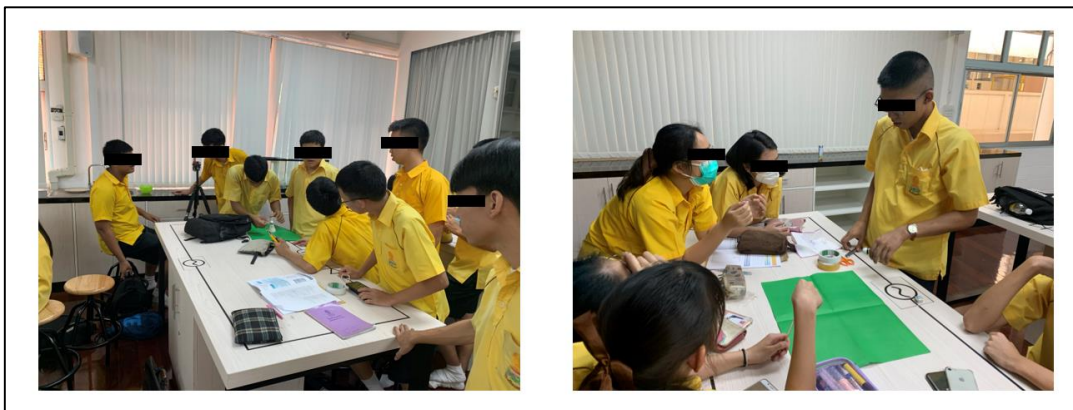
การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านการคิดคล่องแคล่ว ของนักเรียนที่เรียนรู้จากกิจกรรมสะเต็มวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ผ่านการออกแบบในเล่มกิจกรรมสะเต็มศึกษา ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 7

ตาราง 7 แสดงระดับทักษะการคิดคล่องแคล่ว ของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

กลุ่มที่ของนักเรียน	คะแนน (คะแนนเต็ม 8)	ระดับทักษะ
1	7.0	ดีมาก
2	6.2	ดี
3	7.2	ดีมาก
4	7.0	ดีมาก
5	6.8	ดี

จากตารางที่ 7 พบว่า การตอบปัญหาเกี่ยวกับแรงต้านอากาศที่มีผลต่อความเร็วและปริมาณที่หลากหลายของความคิดในการสร้างลูกแบดมินตันขนไก่ โดยพิจารณาระหว่างการดำเนินกิจกรรม และเล่มกิจกรรมสะเต็ม ระดับทักษะการคิดคล่องแคล่วของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ อยู่ในระดับดีมาก จำนวน 3 กลุ่ม และระดับดี จำนวน 2 กลุ่ม

นอกจากการนี้ในกิจกรรมสะเต็มศึกษายังสอดแทรกคำถามด้านความคิดสร้างสรรค์ เพื่อประเมินทักษะด้านความคิดคล่องแคล่ว เกี่ยวกับวิธีในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ โดยนักเรียนมีความคิดที่หลากหลายและแตกต่างกัน ดังนี้



ภาพประกอบ 28 ตัวอย่างการคิดคล่องแคล่วของนักเรียนในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่

จากตัวอย่างการคิดคล่องแคล่วในนักเรียนแต่ละกลุ่ม ร่วมพูดคุยเพื่อให้ความคิดที่นักเรียนได้ออกแบบมีความหลากหลาย ครอบคลุมประกอบ และมีจำนวนความคิดที่หลากหลาย โดยอยู่ในระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ระดับทักษะได้รับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก และดี

ทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านการคิดยืดหยุ่น ของนักเรียนได้รับการประเมิน หลังจากการเรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ผ่านการออกแบบในเล่มกิจกรรมสะเต็มศึกษา และการดำเนินกิจกรรมกลุ่มร่วมกัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 8

ตาราง 8 แสดงระดับทักษะการคิดยืดหยุ่น สำหรับนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

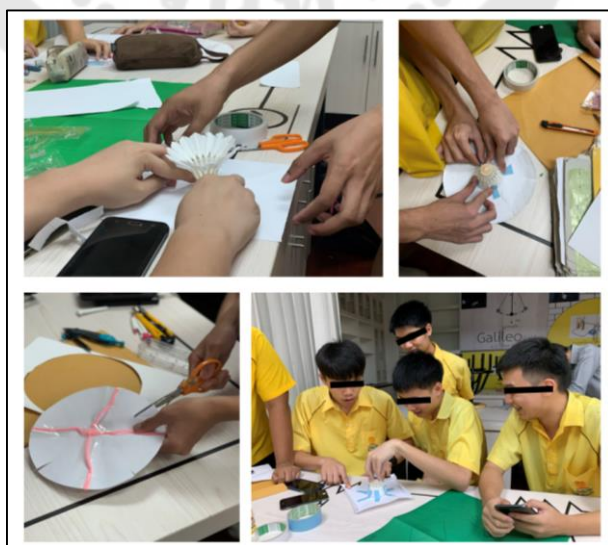
กลุ่มที่ของนักเรียน	คะแนน (คะแนนเต็ม 8)	ระดับทักษะ
1	6.6	ดี
2	6.5	ดี
3	6.5	ดี
4	6.7	ดี
5	6.1	ดี

ในตารางที่ 8 จากการประเมินการคิดยืดหยุ่น ในระหว่างการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา ระดับทักษะการยืดหยุ่นของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ อยู่ในระดับดีทั้งสิ้น จำนวน 5 กลุ่ม



ภาพประกอบ 29 แสดงตัวอย่างการพิจารณาสมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้น

จากภาพตัวอย่าง พบว่า นักเรียนมีการพิจารณาการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศของลูกแบดมินตันขนไก่ผ่านการวาด free body diagram และใช้สมการตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันในการพิจารณาความเร่งในการตกเพื่อให้เข้าใจความเร็วปลายของลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งต้องคำนึงถึงระยะในการตกเพื่อให้เกิดความเร็วปลาย ผ่านมวลและเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนปีกลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งการพิจารณาของนักเรียนมีความตรงประเด็น



ภาพประกอบ 30 แสดงถึงการวางแผนการเพิ่มเติมวัสดุอื่น ๆ ในลูกแบดมินตันขนไก่ของนักเรียน

ภาพประกอบที่ 30 พบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มมีการพูด การอธิบาย และการให้เหตุผล ถึงความคิดของตนเพื่อนำไปปรับปรุงและพัฒนาลูกแบดมินตันขนไก่ โดยเลือกวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีพื้นที่ในการผ่านอากาศมากมาเพิ่มเติมเข้าไปในลูกแบดมินตัน แสดงให้เห็นถึงการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตัน ให้มีการตกที่ช้าลง และขณะตกไม่เกิดการหมุน ทำให้ระดับการประเิมอยู่ในระดับดี



ภาพประกอบ 31 แสดงถึงการวางแผนการเพิ่มเติมวัสดุอื่น ๆ ในลูกแบดมินตันขนไก่ของนักเรียน

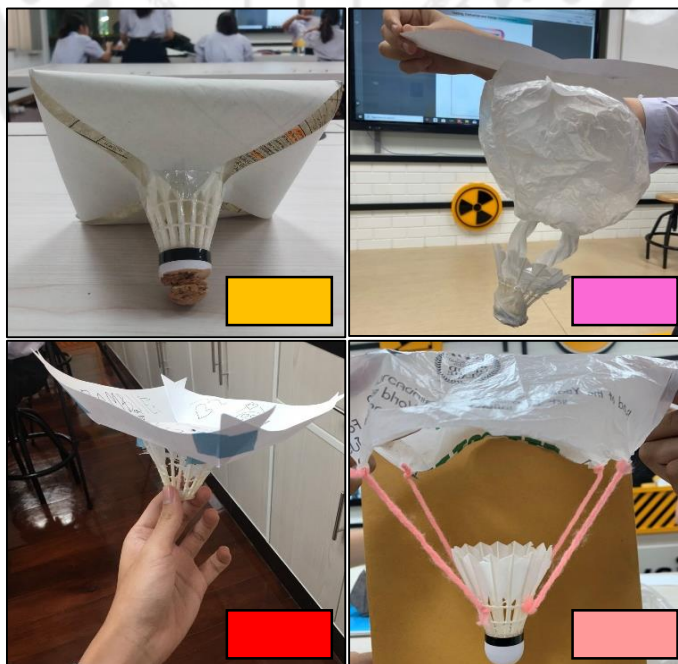
นอกจากนี้ในกลุ่มต่างๆของนักเรียนพบปัญหาในการปล่อยตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เช่น ในการปล่อยตกการที่นักเรียนเพิ่มเติมวัสดุที่มีการต้านอากาศมากทำให้การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ไม่ตกในแนวตั้งเพียงอย่างเดียว เนื่องจากแรงต้านอากาศที่มากเกินไปทำให้ลูกแบดมินตันขนไก่มีการพลิกตัว และเกิดการหมุน การวิเคราะห์การเคลื่อนที่จึงมีความคลาดเคลื่อนทำให้นักเรียนต้องแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น โดยนักเรียนพยายามแก้ไขจากโมเดลเดิม ให้การผ่านของอากาศมีทิศทางที่แน่นอน หรือให้มีการไหลผ่านของอากาศมากขึ้น การแก้ไขนี้ทำให้ลูกแบดมินตันมีการตกในแนวตั้งได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จนสามารถแสดงความเร็วปลายในกราฟการเคลื่อนที่ระหว่างความเร็วและเวลาได้ดังภาพที่ 31

ทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านทักษะการคิดริเริ่ม ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ได้ประเมินผ่านชิ้นงานลูกแบดมินตันขนไก่ที่ถูกดัดแปลงเพื่อเพิ่มการต้านอากาศ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 9

ตาราง 9 ระดับทักษะการคิดริเริ่ม ของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

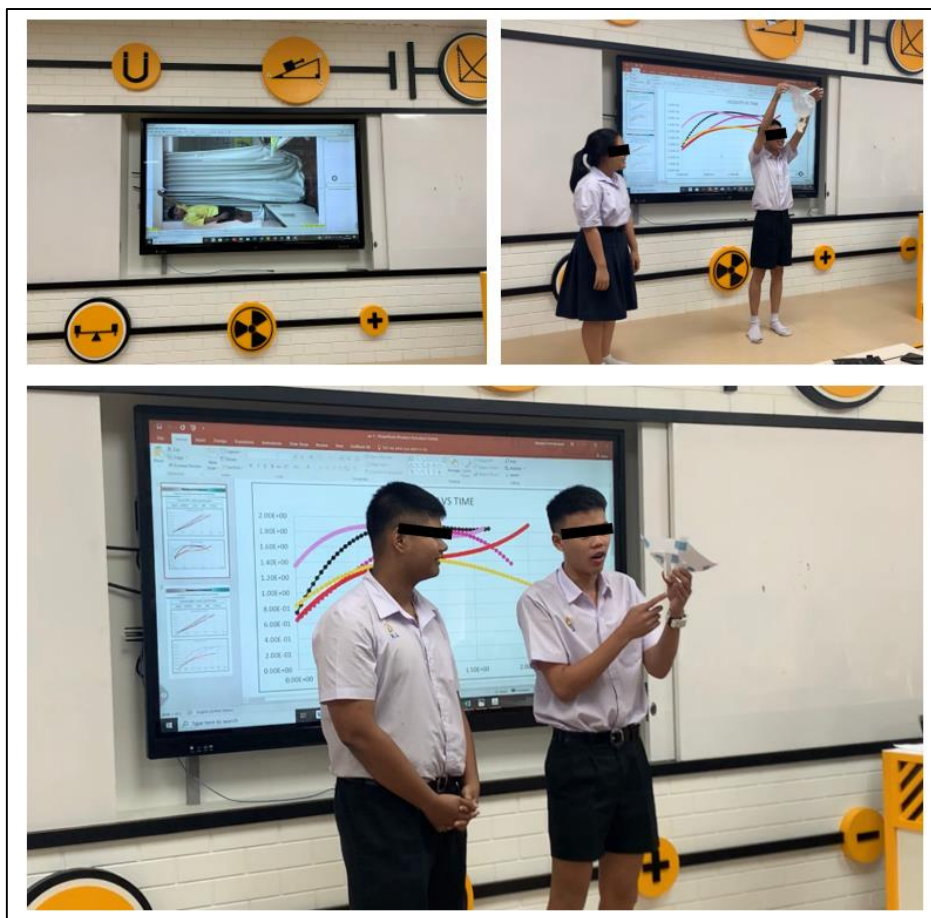
กลุ่มที่ของนักเรียน	คะแนน (คะแนนเต็ม 8)	ระดับทักษะ
1	6.7	ดี
2	6.6	ดี
3	7.3	ดีมาก
4	7.2	ดีมาก
5	6.9	ดี

จากตารางที่ 9 พบว่า ในการประเมินจากการคิดริเริ่ม ของชิ้นงานลูกแบดมินตันขนไก่ที่ถูกดัดแปลงเพื่อเพิ่มการต้านอากาศ ระดับทักษะการคิดริเริ่ม ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ อยู่ในระดับดีมาก จำนวน 2 กลุ่ม และดี จำนวน 3 กลุ่ม



ภาพประกอบ 32 แสดงชิ้นงานลูกแบดมินตันขนไก่ นักเรียนได้สร้างสรรค์ขึ้น

จากภาพประกอบที่ 32 แสดงลักษณะของชิ้นงานที่สอดคล้องตามที่นักเรียนร่วมกันออกแบบไว้ ได้แก่ ลักษณะรูปร่างที่ด้านอากาศได้มากขึ้นและมีมวลน้อยลง มีความคิดที่แปลกใหม่ต่างจากเดิม นำไปทดสอบประสิทธิภาพแล้วเป็นที่พึงพอใจ และการคำนึงถึงปัญหาของการเคลื่อนที่ที่พิจารณาแรงด้านอากาศ ใช้ภาพประกอบที่สื่อถึงชิ้นงาน ทำให้ระดับการประเมินอยู่ในระดับดี และดีมาก



ภาพประกอบ 33 การนำเสนอชิ้นงานโดยการทำเป็นคลิปวิดีโอ

ภาพประกอบที่ 33 แสดงให้เห็นถึงความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ในการนำเสนอลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งแต่ละกลุ่มจะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด และการวิเคราะห์การทดลองของกลุ่มสีแดง และสีชมพู ได้ผลกราฟระหว่างความเร็วและเวลาที่เห็นความเร็วปลายอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นรูปแบบลูกแบดมินตันรูปแบบสุดท้ายมีความน่าสนใจ แปลกใหม่โดยไม่ซ้ำกับกลุ่มอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนทุกกลุ่มประสบปัญหาเดียวกันดังที่กล่าวในการแก้ไขชิ้นงานของนักเรียน คือแรงด้านอากาศ

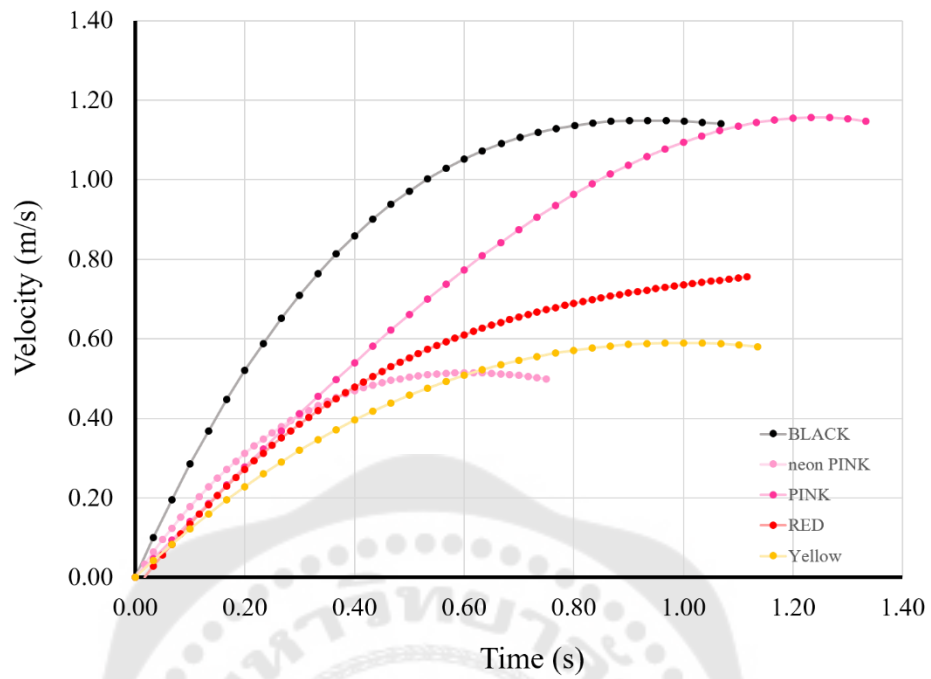
ซึ่งต่างจากที่นักเรียนเจอในห้องเรียนที่การเคลื่อนที่พิจารณาจะเพิกเฉยแรงต้านอากาศ ทำให้ระดับการประเมินอยู่ในระดับดีมาก

การประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านทักษะการคิดละเอียดลออ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ผ่านชิ้นงานลูกแบดมินตันขนไก่ที่ถูกดัดแปลงเพื่อเพิ่มการต้านอากาศ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 10

ตาราง 10 แสดงระดับทักษะการคิดละเอียดลออของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

กลุ่มที่ของนักเรียน	คะแนน (คะแนนเต็ม 8)	ระดับทักษะ
1	6.5	ดี
2	6.3	ดี
3	7.2	ดีมาก
4	7.3	ดีมาก
5	7.0	ดีมาก

ในตารางที่ 10 พบว่า ความคิดละเอียดลออที่ได้รับการประเมิน ผ่านเล่นกิจกรรมสะเต็มที่นักเรียนใช้ประกอบกิจกรรมในการเชื่อมโยงรายละเอียดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อเชื่อมโยงไปยังผลการทดลองที่อยู่ในเกณฑ์ที่ถูกต้อง และประเมินจากการนำเสนอขั้นตอนการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างละเอียดครบถ้วน ทำให้ระดับทักษะการคิดละเอียดลออของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ อยู่ในระดับดีมาก จำนวน 3 กลุ่ม และดี จำนวน 2 กลุ่ม



ภาพประกอบ 34 กราฟความเร็วและเวลาของลูกแบดมินตันชนไม้ที่นักเรียนได้วิเคราะห์ทั้ง 5 กลุ่ม



ภาพประกอบ 35 การทดลองการปล่อยตกของลูกแบดมินตันชนไม้

เมื่อคำนวณคะแนนจากการประเมินทักษะทั้ง 4 ด้าน ของนักเรียนที่ได้รับการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ สามารถนำมาเขียนเป็นตารางแสดงระดับความคิดสร้างสรรค์ ในตารางที่ 11

ตาราง 11 แสดงระดับทักษะความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนแต่ละกลุ่มที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

กลุ่มที่ของนักเรียน	คะแนน (คะแนนเต็ม 32)	ระดับ
1	27	ดีมาก
2	26	
3	28	
4	28	
5	27	

จากตารางที่ 11 พบว่า จากการประเมินทักษะทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ การคิดคล่องแคล่ว การคิดยืดหยุ่น การคิดริเริ่ม และการคิดละเอียดละออ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ นักเรียนมีทักษะความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมาก จำนวน 5 กลุ่ม ซึ่งนักเรียนทั้งหมดมีระดับทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีขึ้นไป โดยจะเป็นไปตามสมมติฐานข้อ 2

สมมติฐานข้อที่ 3 ทักษะในด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ มีคะแนนหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

เมื่อตรวจแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ก่อนเรียนและหลังเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ในจำนวนทั้งสิ้น 35 คน มีระดับทักษะความคิดสร้างสรรค์รายกลุ่ม โดยเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบคะแนนระดับทักษะความคิดสร้างสรรค์ ก่อนและหลังเรียน จากที่ได้รับการดำเนินการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ซึ่งได้ใช้วิธีการทางสถิติแบบ t-test dependent sample เพื่อทดสอบสมมติฐาน ได้ผลดังตารางที่ 12 นี้

ตาราง 12 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนแนวคิดก่อนเรียนและหลังเรียน ของนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่

การทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	\bar{x}	S.D.	t	P
ก่อนเรียน	5	32	20.036	1.280	2.776	.000
หลังเรียน	5	32	27.167	1.038		

นักเรียนที่ได้รับการดำเนินการเรียนรู้แบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ มีคะแนนแนวคิดเฉลี่ยก่อนเรียน เท่ากับ 20.036 และมีค่า S.D. เท่ากับ 1.280 และหลังการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ได้ว่านักเรียนมีคะแนนทักษะเฉลี่ยหลังเรียน เท่ากับ 27.167 และมีค่า S.D. เท่ากับ 1.038 เมื่อทดสอบด้วยสถิติ t-test dependent sample พบว่า ได้ค่า t เท่ากับ 2.776 มีค่านัยสำคัญทางสถิติประมาณ .000 ซึ่งน้อยกว่า .05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนได้รับคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนแตกต่างจากก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยตอบรับกับสมมติฐานข้อที่ 3 โดยสรุปได้ว่า การใช้ชุดกิจกรรมสะเต็มนี้สามารถพัฒนาทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kristy M. Meyrick (2011) Guy A. Boy (2013) Root-Bernstein Robert (2015) และศิวณัฐ ภูมิโคกรักษ์ (2019) ที่พบว่า การดำเนินการเรียนการสอนตามแบบของสะเต็มผ่านการลงมือปฏิบัติสามารถพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์หลังเรียนให้มากกว่าก่อนเรียนได้ (Meyrick, 2011) (Boy, 2013) (Root-Bernstein, 2015) (ศิวณัฐ ภูมิโคกรักษ์, 2019)

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเชิงทดลองนี้ ได้ออกแบบและใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งสามารถสรุปสาระสำคัญและผลการศึกษาได้ดังนี้

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยออกแบบและใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งมีจุดประสงค์ของการวิจัยคือ เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพของลูกแบดมินตันขนไก่ในการตกให้สามารถแสดงความเร็วปลาย และเพื่อส่งเสริมการดำเนินการเรียนรู้ด้วยทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลังจากเรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ให้สามารถส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ทางด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ให้มีประสิทธิภาพ และเพื่อเปรียบเทียบทักษะความคิดสร้างสรรค์ ก่อนและหลังเรียน เพื่อให้การวิจัยเป็นไปตามจุดมุ่งหมาย ผู้วิจัยจึงศึกษาการตกของลูกแบดมินตันขนไก่เพื่อหาประสิทธิภาพของลูกแบดมินตันขนไก่ที่สามารถแสดงความเร็วปลายในการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศได้ในระยะความสูงไม่เกิน 3 เมตร โดยมีรายละเอียดดังนี้ ในการศึกษาการตกลูกแบดมินตันขนไก่โดยการลดมวลในส่วนหัว และปรับปรุงปีกขนไก่รอบลูกแบดมินตันขนไก่ พบว่า มี 2 รูปแบบ ซึ่งมีมวล 2.31 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.64 เซนติเมตร และมวล 2.18 กรัม เส้นผ่านศูนย์กลางปีก 6.67 เซนติเมตร โดยเป็นลูกแบดมินตันขนไก่ หมายเลข 3 และหมายเลข 4 ตามลำดับ จากการพิจารณาลูกแบดมินตันขนไก่หมายเลข 3 จะมีแรงต้านอากาศเท่ากับ 0.022 นิวตัน และสัมประสิทธิ์แรงต้านประมาณ 0.88 การทดลองสามารถสังเกตความเร็วปลายได้โดยการบันทึกภาพเคลื่อนไหว ภายในความสูง 2.8 เมตรได้ ซึ่งเป็นความสูงที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในห้องเรียนที่มีเพดานสูงไม่เกิน 3 เมตร ซึ่งจะทำให้ นักเรียนสามารถสังเกตเห็นความเร็วปลายของลูกแบดมินตันขนไก่ที่เป็นวัตถุที่สามารถหาได้โดยง่าย โดยใช้สมาร์ตโฟนช่วยในการศึกษา และผู้วิจัยยังตั้งสมมติฐานการวิจัยดังนี้ สมมติฐานข้อที่ 1 กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้าน

ความคิดสร้างสรรค์ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ คือ นักเรียนร้อยละ 70 มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับ ดี ขึ้นไป 2. ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ อยู่ในระดับดีขึ้นไป และ 3. ทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สำหรับคะแนนหลังเรียนที่มากกว่าก่อนเรียน เพื่อพิสูจน์สมมติฐานข้างต้น จึงมีวิธีดำเนินการวิจัยได้ดำเนินการในแต่ละขั้นตอนดังนี้ ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้กำหนดเนื้อหา จุดประสงค์ การวัดและประเมินผลในการจัดกิจกรรม หลังจากนั้นนำผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาพัฒนากิจกรรม โดยกิจกรรมนี้ได้ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่า ความเหมาะสมขององค์ประกอบของกิจกรรมมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.30 แสดงว่าองค์ประกอบของกิจกรรมมีความเหมาะสมในระดับมาก และมีค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.67-1.00 จากนั้นนำกิจกรรม ไปทดลองใช้เพื่อศึกษาระบบการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 3 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 จำนวน 3 คน ครั้งที่ 2 จำนวน 9 คน และครั้งที่ 3 จำนวน 30 คน แล้วหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา จากผลการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ วิชาฟิสิกส์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ โรงเรียนมัธยมขนาดใหญ่พิเศษ พบว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ สามารถพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนให้สูงกว่าร้อยละ 50 ของแบบประเมิน คิดเป็นทั้งสิ้นร้อยละ 100 ซึ่งมากกว่าที่ตั้งเกณฑ์ไว้ที่ร้อยละ 70 จึงนำกิจกรรมสะเต็มศึกษาไปใช้กับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง

ในการศึกษาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อพัฒนาทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลายผู้วิจัยได้ศึกษาประสิทธิผลของกิจกรรมสะเต็มศึกษา ผ่านการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ โดยมีรายละเอียด 3 ด้าน ดังต่อไปนี้ 1. สร้างแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ 4 ด้าน แต่ละด้านมีการประเมินอย่างละ 2 ข้อ รวมมีการประเมินทั้งหมดมี 8 ข้อ 2. ประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบของแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวนทั้งหมด 3 ท่าน พบว่าผลการประเมินความสอดคล้องขององค์ประกอบของแบบประเมินความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ที่มีค่าตั้ง ตั้งแต่ 0.67-1.00 และ 3. นำแบบประเมิน

ความคิดสร้างสรรค์ไปปรับปรุงและแก้ไข ปรับปรุงตามความเห็นของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นจึงได้นำเอาไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวนทั้งสิ้น 35 คน

อภิปรายผลการวิจัย

จากการที่ได้ศึกษาส่วนของทฤษฎี และทำการทดลอง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อหาประสิทธิภาพของลูกแบดมินตันขนไก่เพื่อให้เห็นถึงความเร็วปลายในการตกภายในระยะความสูง 2.8 เมตร

ในทฤษฎีการตกภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลกเมื่อคิดแรงต้านจะมี 2 รูปแบบคือ แรงต้านแปรผันตรงกับความเร็วกว่า และแปรผันตรงกับความเร็วกำลังสอง (Raymond A. Serway, 2014) ซึ่งต่อมา Lung-Ming Chen และคนอื่น ๆ (2009) ได้ทำการศึกษาวิธีการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตันขนไก่โดยการปล่อยตกอย่างอิสระเพื่อหาความสัมพันธ์ของแรงต้านอากาศกับความเร็ว พบว่าแรงต้านอากาศจะสัมพันธ์กับความเร็วกำลังสอง และได้ทำการทดสอบเพิ่มเติมภายใต้ความสูงจำกัดแล้วพบว่า เมื่อใช้ ความเร็วรูปแบบที่สองและได้ค่า CD ซึ่งสอดคล้องกับ CD ที่ได้จากงานวิจัยของ Cohen (2015) แสดงว่าประสิทธิภาพของลูกแบดมินตันขนไก่ที่ได้สามารถปรับใช้ในห้องเรียนได้โดยมีการดัดแปลงลูกแบดมินตันขนไก่ที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าสามารถทำได้โดยการลดมวลแต่คงสภาพโครงสร้างเดิมไว้ ซึ่งในการดัดแปลงลูกแบดมินตันขนไก่เพื่อให้ได้ความเร็วปลายมีการตัดเอาส่วนหัวซึ่งเป็นส่วนที่มีมวลค่อนข้างมากออก ซึ่งการลดน้ำหนักจะช่วยให้แรงต้านอากาศสมดุลกับน้ำหนักได้ไวขึ้น ส่งผลให้ลูกแบดมินตันแสดงความเร็วปลายได้ไวยิ่งขึ้น ซึ่งการตัดหัวของลูกแบดมินตันขนไก่จะทำให้ เลขเรย์โนลด์ เปลี่ยนเพียงเล็กน้อยเพราะรูปร่างส่วนใหญ่ยังคงเดิม ทำให้เส้นทางการไหลของอากาศมีแนวโน้มเหมือนเดิมสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cohen (2015) ซึ่งระยะในการตกอย่างอิสระในงานวิจัยเพื่อให้เกิดความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระใช้ห้องที่มีเพดานสูงเพียง 2.8 เมตร โดยลูกแบดมินตันขนไก่ หมายเลข 3 และหมายเลข 4 มีแนวโน้มจะเกิดความเร็วปลายที่ 2.5 เมตร และ 2.0 เมตร ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากความสูงในการวิจัยของ Lung-Ming Chen และคนอื่น ๆ (2009) ที่จุดปล่อยลูกแบดมินตันสูงจากพื้นถึง 18 เมตรและเริ่มเกิดความเร็วปลายที่ระยะ 6 เมตร

จากผลการสร้างและออกแบบ กิจกรรมสะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสามารถอภิปรายดังต่อไปนี้

1. เมื่อจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษา วิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบบดัมมันตันชนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ แล้วจำนวนนักเรียนทั้งหมดร้อยละ 100 มีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์ หลังเรียนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 1 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบบดัมมันตันชนไก่ ได้พัฒนาขึ้นโดยคำนึงถึงการสอดแทรกผลการเรียนรู้ เรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ อย่างละเอียดทำให้สามารถครอบคลุมเนื้อหาตามการเรียนรู้ในห้องเรียน นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงปัญหาการเพิกเฉยแรงต้านอากาศในบทเรียน (Yun-Ju Chiu, 2012) ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการต้านอากาศของอากาศที่กระทำต่อวัตถุเมื่อมีความเร็วมีค่าที่มากยิ่งขึ้น รวมไปถึงกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ได้สร้างให้มีเรียนรู้ผ่านการลงมือทำเป็นทีม เพื่อให้อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีการสร้างองค์ความรู้ด้วยการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคม ที่เน้นการจัดบรรยากาศใยการเรียนรู้ให้เอื้อต่อการมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างผู้เรียน ซึ่งเป็นส่วนช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้เอง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐริกา ภูคำชู (2019) ที่จัดการเรียนรู้โดยใช้แบบ Team based learning พบว่าในการสอนจะสามารถส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน ซึ่งจะยกระดับความเข้าใจกันของผู้เรียน นอกจากนี้ในกิจกรรมยังมีการเชื่อมโยงกีฬาแบบดัมมันตันกับเนื้อหาการเรียนเพื่อให้นักเรียนสามารถเห็นถึงความสัมพันธ์ของแรงต้านอากาศกับความเร็วในการเคลื่อนที่ในอากาศได้ดียิ่งขึ้น (Texier, Cohen, Quere, และ Claneta, 2012) และการใช้สิ่งของที่นักเรียนมีความคุ้นชินเพื่อทำให้ได้รับความสนใจของผู้เรียนได้โดยง่าย ทำให้เรียนรู้มากยิ่งขึ้น (สมจิตร จันทร์ฉาย, 2557) ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ลูกแบบดัมมันตันชนไก่ที่นักเรียนจะได้รับการเรียนรู้ผ่านวิชาแบบดัมมันตันพื้นฐานในโรงเรียนซึ่งจะทำให้นักเรียนมีความคุ้นเคยและกระตุ้นความสนใจได้ง่าย รวมทั้งมีการบูรณาการความรู้จากศาสตร์ทั้ง 4 สาขาวิชา คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างครบถ้วน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพิทพนธ์ พิทักษ์ (2562) ที่กล่าวว่า การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ในวิชาฟิสิกส์แบบแนวคิดสะเต็มศึกษา นั้นจะช้ทำให้นักเรียนบูรณาการความรู้ด้านต่างๆอย่างสมดุลและเกิดการใฝ่เรียนรู้อย่างต่อเนื่อง ผ่านการบูรณาการความรู้ใน 3 สาระหลัก เชื่อมโดยกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมที่สอดแทรกเข้าไป รวมทั้งสร้างสถานการณ์ที่เป็นปัญหาเกี่ยวกับชีวิตจริง(พิทพนธ์ พิทักษ์, 2562) เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนได้ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ สนับสนุนตนเองให้เกิดกระบวนการคิดหาคำตอบ และสามารถสร้างองค์ความรู้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fikroturrofiyah Suwandi Putri(2017) ที่ศึกษาการใช้กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์เพื่อพัฒนาทักษะในศตวรรษ

ที่ 21 ซึ่งกล่าวว่า การใช้การจัดการเรียนรู้แนวสะเต็มศึกษาฟิสิกส์สามารถทำให้ทักษะหลังเรียนของนักเรียนสูงกว่าก่อนเรียนได้ (Fikroturrofiyah Suwandi Putria and Edi Istiyonoa, 2017) นอกจากนี้กิจกรรมสะเต็มได้ผ่านการประเมินและตรวจสอบในด้านเนื้อหา และผลการเรียนรู้ เพื่อให้สอดคล้องความรู้ในห้องเรียน จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ทั้ง ประกอบด้วย ด้านเนื้อหา 1 ท่าน ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 1 ท่าน และครูด้านการสอนวิชาฟิสิกส์ 1 ท่าน เมื่อได้รับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ จึงนำไปปรับใช้ ทั้งด้านความเหมาะสมของเนื้อหาการเรียนการสอนกับสอดคล้องของบทเรียนที่พัฒนาขึ้น และด้านแบบวัดประเมินให้เหมาะสม และนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างตั้งแต่ต้นนักเรียนกลุ่มเล็กจำนวนทั้งสิ้น 3 คน และกลุ่มปานกลางจำนวนทั้งสิ้น 9 คน เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมที่ใช้และหาข้อบกพร่องของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น จากนั้นเอาไปใช้กับนักเรียนกลุ่มใหญ่ทั้งสิ้น 30 คน โดยที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อศึกษาระบบการจัดการเรียนรู้ และหาประสิทธิภาพของกิจกรรมสะเต็มศึกษา พบว่า กิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อพัฒนาทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุวันดา อินทรวาสดี (2562) ที่พัฒนาการจัดการเรียนรู้โดยนำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง เพื่อดูความเหมาะสมของกิจกรรมและหาข้อบกพร่องของการจัดการเรียนรู้อีกก่อนนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ทำให้การจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด (ยุวันดา อินทรวาสดี และ ภูริทัต สิงห์เสม, 2562)

2. ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ อยู่ในระดับดีขึ้นไป โดยเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 2 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

ในการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมที่ทำให้ผู้เรียนสามารถพิจารณาการตกแบบเสรีใน 1 มิติ โดยคำนึง เกี่ยวกับแรงต้านอากาศ ผ่านการใช้ลูกแบดมินตันขนไก่ที่ผู้เรียนคุ้นเคยทำให้สามารถถึงความสนใจของผู้เรียนได้โดยง่าย ซึ่งการดำเนินการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมที่มีความซับซ้อนและมีกระบวนการในการแก้ไขปัญหาหลากหลายแบบ โดยมีความแปลกใหม่ในการแก้ปัญหาจะช่วยส่งเสริมผู้เรียนให้มีทักษะความคิดสร้างสรรค์ โดย ธนะวัชร จรรย์ภูมิ (2558) กล่าวว่า ถ้ามีการระดมความคิดจากบุคคลจากหลาย ๆ กลุ่มและมากประสบการณ์มาช่วยกันแก้ปัญหานั้นยังทำให้ได้วิธีการแก้ไขที่หลากหลายขึ้น และมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้เกิดการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชลธิชา ชิวปรีชา (2554) เนื่องจากการที่นักเรียนสามารถเลือกใช้อุปกรณ์ และวัสดุ ต่าง ๆ ในการคิดรูปแบบของชิ้นงาน

ผ่านการลงมือปฏิบัติเพื่อค้นหาคำตอบด้วยตนเองนับว่าเป็นหัวใจสำคัญของการส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งจากการประเมินความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนในชั้นตอนการออกแบบชิ้นงานรายกลุ่ม พบว่า นักเรียนแต่ละกลุ่มสร้างความคิดที่แปลกใหม่เพื่อให้ได้ลูกแบดมินตันขนไก่ที่สามารถต้านอากาศได้ดีมากกว่าเดิม ซึ่งลูกแบดมินตันขนไก่ในแต่ละกลุ่มมีหลากหลายรูปแบบแตกต่างกัน เช่น นักเรียนกลุ่มสีชมพูใช้โมเดลของร่มชูชีพในการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มไปในลูกแบดมินตันขนไก่ ในขณะที่กลุ่มสีเหลืองเลือกที่จะตัดเอาส่วนหัวของลูกแบดมินตันขนไก่ออกเพื่อลดมวลของลูกแบดมินตันขนไก่ แล้วยังเพิ่มการต้านอากาศโดยการแฉ่ลูกแบดมินตันขนไก่ออกแล้วติดกระดาษเข้าไปแทน แต่นักเรียนกลุ่มสีดำได้ทำการแบ่งลูกแบดมินตันขนไก่ออกเป็น 2 แบบ คือแยกส่วนหัวกับส่วนปีก แล้วออกแบบให้แต่ละส่วนมีการต้านอากาศที่มากขึ้น ทำให้เห็นว่านักเรียนกลุ่มสีดำนี้อาจมีความคิดที่หลากหลาย มากไปกว่านั้นในกลุ่มต่าง ๆ นักเรียนได้แก้ไข้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการตกจากลูกแบดมินตันรูปแบบเดิมสู่ลูกแบดมินตันขนไก่รูปแบบใหม่ ที่สามารถแสดงผลการทดลองได้ชัดเจนกว่าเดิม เห็นได้ชัดจากกลุ่มสีแดง ที่พัฒนาการออกแบบจนแสดงกราฟระหว่างความเร็วและเวลาได้เป็นที่น่าพอใจซึ่งผลจากการออกแบบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีการสร้างความคิดที่แปลกใหม่กว่าผู้อื่น อีกทั้งยังสอดคล้องกับทฤษฎีการออกแบบทางวิศวกรรม ในงานวิจัยของ Charyton, Jagacinski, Merrill, Clifton, และ DeDios (2011) นำมาสู่การสร้างสรรค์ที่สามารถนำไปใช้ในการเรียนการสอนฟิสิกส์ในเรื่องการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศได้

การวัดประเมินความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งความคิดสร้างสรรค์เป็นความสามารถในการคิดหลายทางของสมอง โดยมีความสามารถในการริเริ่ม ความคล่องแคล่วในการคิด ความยืดหยุ่นในการคิด และความคิดที่มีความละเอียดลออ นอกจากนี้ยังสามารถให้คำอธิบายใหม่ที่เป็นการติดตามหลักเหตุผลเพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องเพียงคำตอบเดียว (Guilford, 1967b)

ผู้วิจัยได้ประเมินความคิดริเริ่มของนักเรียนที่มีความคิดที่แตกต่าง และแปลกใหม่ไปจากเดิม สามารถดัดแปลงหรือประยุกต์ลูกแบดมินตันขนไก่แล้วนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง และประเมินการมีความคิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่เพิกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้องอย่างประเด็นตามที่ Torrance (1962) กล่าวว่าความคิดริเริ่มเป็นกระบวนการทางสมองที่สามารถคิดให้แตกต่างไปจากสิ่งธรรมดา (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2555) วัดประเมินจากชิ้นงานที่ต่างออกไปจากเดิมตามที่โจทย์กำหนด เพื่อนำไปศึกษาความเร็วปลายของการตกที่คิดแรงต้านอากาศ และประเมินความคิดริเริ่มของนักเรียนในส่วนของคำตอบข้อคำถามถึงประเด็นแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ในเล่มกิจกรรม ซึ่งนักเรียนมีเกณฑ์ความคิดริเริ่มอยู่ในระดับดี และดีมาก

ความคิดคล่องแคล่วได้วัดประเมิน จากที่ผู้วิจัยประเมินการตอบปัญหาเกี่ยวกับ แรงด้านอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วได้ตรงประเด็นถูกต้องภายในระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ในเล่ม กิจกรรมที่ได้จากการระดมความคิด และประเมินจากการมีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการ ออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ในเวลาที่กำหนด สอดคล้องกับ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษา ขั้นพื้นฐาน (2555) กล่าวว่า ความคล่องแคล่วในการคิดเป็นความสามารถที่จะคิดสิ่งที่ต้องการให้ ได้มากในเวลาที่จำกัด โดยความคิดคล่องแคล่วนับว่าเป็นความสามารถที่จะทำให้ได้ความคิดที่ดี และเหมาะสมที่สุด ผู้วิจัยจึงประเมินจากการที่นักเรียนสามารถลงความเห็นและประเด็นที่เป็น ปัญหาเพื่อพยายามหาทางที่ดีที่สุดในการออกแบบของลูกแบดมินตันขนไก่โดยกำหนดเวลาในการ ออกแบบควบคุมไปด้วย ซึ่งนักเรียนมีคะแนนความคิดคล่องแคล่วอยู่ในระดับ ดี และดีมาก

ความคิดยืดหยุ่นได้วัดประเมิน ผู้วิจัยประเมินจากการเลือกใช้สมการในการ คำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างถูกต้อง และประเมินจาก การที่นักเรียนมีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตัน ขนไก่ ทำให้ตกแบบช้าลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก จากสำนักงาน คณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (2555) กล่าวว่า การพยายามคิดอย่างหลากหลายประเภท และคิดไม่ซ้ำกัน ถือเป็นความคิดยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นความคิดคล่องแคล่ว จะได้รับการเสริมจาก ความคิดยืดหยุ่นมีความแปลกแตกต่างออกไป หลีกเลี่ยงการซ้ำซ้อน หรือเพิ่มคุณภาพความคิดให้ มากขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงประเมินสอดคล้องโดยต่อยอดจากการประเมินความคิดคล่องแคล่ว เมื่อ นักเรียนตอบปัญหาได้ ก็ต้องสามารถที่จะคิดเพิ่มเติมไปยังการเลือกใช้สมการได้ และเมื่อนักเรียน ออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่อย่างหลากหลายได้ก็ต้องสามารถคิดเพิ่มเติมไปยังการเลือกใช้ อุปกรณ์ต่าง ๆ มาใช้เพิ่มประสิทธิภาพการต้านอากาศของลูกแบดมินตันได้ขนไก่ ซึ่งจากการ ประเมินนักเรียนมีความคิดยืดหยุ่นอยู่ในระดับ ดี และดีมาก

ความละเอียดลออได้รับการประเมิน จากการบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการ ออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการตก ได้อย่าง ถูกต้อง และ ประเมินจากการทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ มีขั้นตอนที่มีความละเอียดอย่างครบถ้วนและถูกต้อง ดังที่ Kneller (1956) กล่าวว่า ความคิดละเอียดลออเป็น คุณลักษณะที่จำเป็นในการสร้างผลงานที่มีความแปลกใหม่เป็นพิเศษให้สำเร็จ หรือกล่าวได้ว่าเป็นการตระหนักถึงความสำเร็จในการสร้างสรรค์ผลงานอีกด้วย ดังนั้นผู้ประเมินจึงประเมินจาก การที่นักเรียนสามารถบอกรายละเอียดของกระบวนการทำงานในกระบวนการต่างๆได้ และสามารถนำเสนอกระบวนการต่างๆได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น (สำนักงานคณะกรรมการ

การศึกษาระดับพื้นฐาน, 2555) ซึ่งเกณฑ์การประเมินทักษะความคิดละเอียดลออของนักเรียนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และดีมาก

จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้น เป็นเหตุผลที่สอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งนี้ คือ นักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกแบบเสรีของลูกแบดมินตันขนไก่ มีการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ โดยมีระดับความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีขึ้นไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Root-Bernstein (2015) Kakarndee, Kudthalang, และ Jansawang (2018) และ Chomngam และคนอื่น ๆ (2018) ที่ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้กิจกรรมตามแนวสะเต็มต่อการพัฒนาทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ พบว่า การเรียนรู้จากกิจกรรมสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้

3. ทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ ที่เรียนรู้ผ่านกิจกรรมสะเต็มวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ มีคะแนนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานข้อที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

ผู้วิจัยได้ทำการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนก่อนทำกิจกรรม พบว่า นักเรียนมีทักษะความคิดคล่องแคล่ว ความคิดยืดหยุ่น ความคิดริเริ่ม และความคิดละเอียดลออ อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ค่อนข้างดี แสดงว่านักเรียน พอมีความคิดสร้างสรรค์อยู่ก่อนแล้วบ้าง เพียงแต่ยังไม่สามารถบูรณาการทักษะความคิดสร้างสรรค์ที่มีในแต่ละด้านให้เป็นรูปเป็นร่างพอที่จะบรรลุผลตามสถานการณ์ที่ตั้งไว้ได้ นอกจากนี้ นักเรียนยังไม่สามารถที่จะเชื่อมโยงสมการในการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศของวัตถุมาใช้ในกรณีต่าง ๆ ได้ เนื่องจากในห้องเรียนที่ให้นักเรียนพิจารณาโจทย์ปัญหาส่วนใหญ่ นั้นจะเพิกเฉยต่อแรงต้านอากาศ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Yun-Ju Chiu (2012) กล่าวว่า ในการเรียนของนักเรียนมัธยมปลาย จะพิจารณา การตกแบบเสรีในอุดมคติ หมายความว่า เป็นการตกโดยที่ไม่คำนึงถึงแรงต้านอากาศซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การพิจารณาวัตถุขณะตกในเหตุการณ์จริง นักเรียนจะลืมที่จะพิจารณาแรงต้านอากาศ ที่เกิดขึ้นขณะวัตถุกำลังเคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้ นักเรียนยังไม่สามารถที่จะบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการตรวจสอบการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศว่าควรทำอย่างไรจึงจะสังเกตความเร็วปลายในการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศได้อย่างแม่นยำ สอดคล้องกับ Montecinos (2014) กล่าวว่า ควรแก้ไข ปัญหาความเข้าใจผิดของการตกแบบเสรีโดยใช้การสร้างกราฟ ประกอบด้วยกราฟตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่ง เก็บสถิติโดยการ วิเคราะห์กราฟของนักเรียน

ประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ระหว่างการทำกิจกรรมของนักเรียน จากการดำเนินกิจกรรม ซึ่งเริ่มต้นนำเข้าสู่บทเรียนโดยใช้สถานการณ์ วิดีโอ และสร้างสถานการณ์จำลอง

ขึ้นมา เพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความอยากรู้และเกิดแรงจูงใจในการเรียนมากยิ่งขึ้น Meece (1988) ในระหว่างการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา ผู้วิจัยพยายามสร้างเงื่อนไขให้นักเรียนสร้างลูกแบบดมินตันชนไก่ที่เชื่อมโยงความรู้ในเรื่องการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ ซึ่งในเล่มกิจกรรมสะเต็มศึกษามีเนื้อหาเรื่อง การตกพิจารณาแรงต้านอากาศ เพื่อพัฒนาทักษะแทรกอยู่ตามผลการเรียนรู้ได้แสดงเนื้อหาเรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ เพื่อให้นักเรียนได้พิจารณาแรงต้านอากาศ โดยศึกษาจากรูปแบบสมการของการตกในรูปแบบที่ขึ้นกับความเร็วรูปแบบที่หนึ่งและความเร็วรูปแบบที่สอง (Raymond A. Serway, 2014) เพื่อให้นักเรียนนำไปประกอบการออกแบบลูกแบบดมินตันชนไก่ โดยมีเงื่อนไขว่า นักเรียนต้องสร้างลูกแบบดมินตันชนไก่ด้วยกัน ให้สามารถสังเกตความเร็วปลายของการเคลื่อนที่โดยใช้วัสดุอุปกรณ์เพิ่มเติมที่นักเรียนสามารถหาได้ และวางแผนวิธีการพลอตกราฟความเร็วและเวลา เพื่อประเมินว่าลูกแบบดมินตันชนไก่ในกลุ่มของนักเรียนมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

โดยการสอดแทรกของเนื้อหาดังกล่าวทำให้ ความรู้ที่นักเรียนได้เรียนมาถูกประยุกต์ใช้ผ่านการทำงานกลุ่มในการสร้างสรรค์ลูกแบบดมินตันชนไก่ สอดคล้องกับลักษณะของการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานในงานวิจัยของ (Blumenfeld และคนอื่น ๆ, 1991) และเนื่องด้วยรูปแบบการจัดกิจกรรมสะเต็มศึกษาเป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนร่วมกันนำองค์ความรู้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหา ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม National Research Council (2012) 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ระบุปัญหา 2) รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ทดสอบ และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหา 6) นำเสนอผลการแก้ปัญหา ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะเป็นกระบวนการที่สามารถย้อนกลับไปได้ตลอด ส่งเสริมให้นักเรียนเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการสร้างสรรค์ชิ้นงาน หรือการเรียนรู้ด้วยการปฏิบัติ (Berry III และคนอื่น ๆ, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับปรัชญา พิพัฒนาการนิยม (Progressivism) ที่เน้นให้นักเรียนได้เรียนรู้จากการลงมือทำ นำมาสู่เรียนรู้ที่ดียิ่งขึ้น (Ord, 2012) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ราชานนท์ อุดมสูงเนิน (2560) ที่จัดกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ Project-Based Learning ตามแนวทาง STEM พบว่า การเรียนรู้แบบโครงงานนั้น มีแนวคิดสอดคล้องกับ John Dewey เรื่อง “Learning by doing” ซึ่งได้กล่าวการจัดการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติขณะที่เรียน ทำให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะต่าง ๆ ได้ และสอดคล้องกับ Johnstone (1993) เนื่องจากในกระบวนการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบบดมินตันชนไก่ นักเรียนสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว จากกราฟการเคลื่อนที่ ที่ได้จากโปรแกรมการวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์

และเชื่อมโยงไปถึงสูตรคำนวณต่าง ๆ ในเรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ ทำให้นักเรียนมองภาพได้ง่ายขึ้น และเข้าใจมากขึ้น อีกทั้งในระหว่างการทำกิจกรรมนักเรียนจะมีการแสดงความคิดเห็นเพื่อวิจารณ์ แกไขลูกแบดมินตันขนไก่ของกลุ่มตัวเอง รวมถึงตรวจสอบความเข้าใจในเนื้อหาเรื่อง การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ ของสมาชิกภายในกลุ่ม ก่อนจะนำเสนอวิธีการและขั้นตอนการสร้างและออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ของผู้อื่น ซึ่งจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จะทำให้นักเรียนมาสู่ขั้นตอนการแก้ไข หากทำได้ไม่ดี ก็ต้องทำให้ได้ดี และถ้าหากทำได้ดีแล้วจะทำให้ดีขึ้นอีกได้อย่างไร จากกระบวนการดังกล่าวจะทำให้นักเรียนสามารถพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้ จากการอภิปรายร่วมกันเป็นกลุ่มสามารถพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ผ่านการลงมือทำซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Fikroturrofia Suwandi Putria and Edi Istiyonoa (2017) ทำให้นักเรียนลงมือปฏิบัติจริง เป็นการดำเนินการเรียนรู้ ทำให้มีอิสระในการแสดงความคิดเห็นอย่างเต็มที่ ฝึกให้รู้จักวิธีการคิด การตั้งคำถาม และแก้ปัญหา ทำให้นักเรียนรู้จักนำองค์ความรู้ในสาขาต่าง ๆ มาบูรณาการ เพื่อแก้ไขปัญหที่พบในชีวิตจริง โดยผลการวิจัยพบว่าการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนากระบวนการคิดของนักเรียนได้ ทำให้นักเรียนมีผลการเรียนเพิ่มขึ้น

หลังจากการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มในเรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่นักเรียนกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ผ่านแบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง การตกของลูกแบดมินตันขนไก่ จากการตรวจแบบประเมิน พบว่านักเรียนทั้งหมดมีการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ ดีขึ้น มากกว่าก่อนเรียนในการที่ได้ประเมินโดยกิจกรรมสะเต็มศึกษาสามารถพัฒนาทักษะในหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ ได้มากที่สุดโดยเฉลี่ยแล้วทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนทุกด้าน ประกอบด้วยด้านความคิดคล่องแคล่ว ความคิดยืดหยุ่น ความคิดริเริ่ม และความคิดละเอียดลออ คิดเป็นร้อยละ 100.00 เนื่องจาก ในกิจกรรมสะเต็มศึกษาขั้นตอนการรายงานส่วนประกอบ ในด้านทักษะความคิดสร้างสรรค์ โดยด้านที่ 1 ด้านความคิดคล่องแคล่ว ทักษะหลังเรียนของนักเรียนอยู่ในระดับ ดีที่ถึงสิ้น 2 กลุ่ม และดีมากทั้งหมด 3 กลุ่ม โดยผู้วิจัยประเมินจากการตอบปัญหาเกี่ยวกับแรงต้านอากาศที่พิจารณาเงื่อนไขของความเร็ว และปริมาณความคิดที่มีความหลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ ระหว่างทำกิจกรรม โดยนักเรียน มีการตอบปัญหาได้ถูกต้องตรงประเด็น และมีความหลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ภายในระยะเวลาที่กำหนด ทำให้การประเมินอยู่ในระดับ ดี และดีมาก ด้านที่ 2 ความคิดยืดหยุ่น มีคะแนนทักษะหลังเรียนอยู่ในระดับดี โดยผู้วิจัยประเมินจากการที่นักเรียนมีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของลูกแบดมินตัน

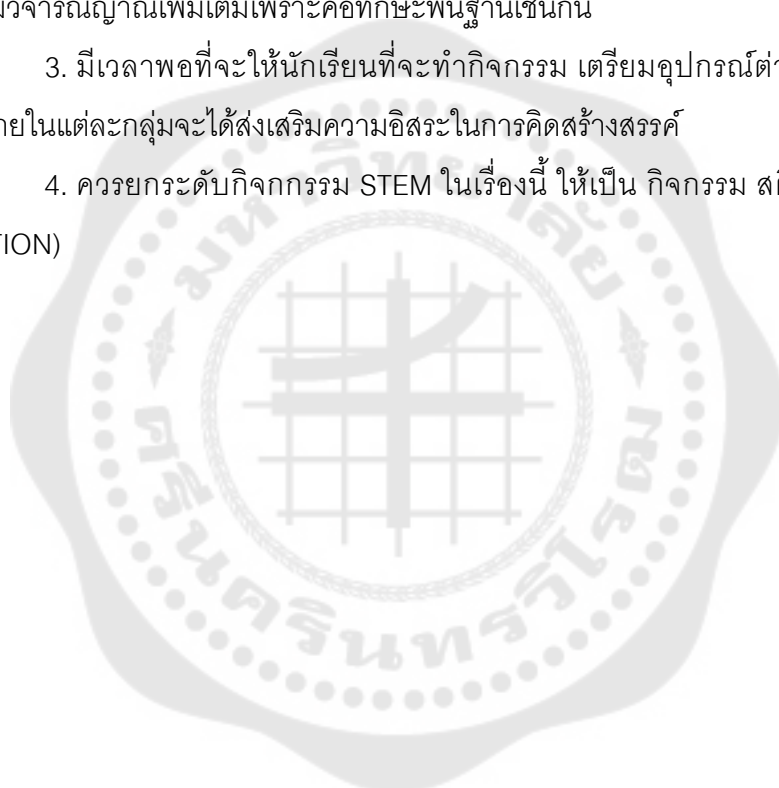
ชนไก่ผ่านการวาด free body diagram และใช้สมการตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตันในการพิจารณาความเร่งในการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศเพื่อที่จะได้เข้าใจความเร็วปลายของลูกแบดมินตันชนไก่ ซึ่งในด้านนี้นักเรียนนั้นมีการได้คำนวณอย่างดี เพียงแต่ยังไม่ได้เชื่อมโยงเข้าสู่การออกแบบของลูกแบดมินตันชนไก่มากนัก ทำให้นักเรียนทุกกลุ่มมีคะแนนทักษะความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับดี ด้านที่ 3 ความคิดริเริ่ม มีคะแนนทักษะอยู่ในเกณฑ์ ดี 3 กลุ่ม และ ดีมาก 2 กลุ่ม ผู้วิจัยประเมินจากลูกแบดมินตันของนักเรียนที่ผ่านการออกแบบ และประดิษฐ์กันเป็นกลุ่ม โดยตัดแปลงให้มีการเพิ่มการต้านอากาศด้วยการติดตั้งอุปกรณ์เข้าไป และลดมวลของลูกแบดมินตันชนไก่โดยการตัดเอาส่วนหัวออก ในขั้นตอนนี้นักเรียนจะประสบปัญหา เนื่องจากการต้านอากาศที่มากเกินไปทำให้การตกของลูกแบดมินตันชนไก่ที่ประดิษฐ์เอง ไม่ตกในแนวตั้ง ซึ่งนักเรียนได้แสดงให้เห็นถึงการแก้ไขปัญหาที่ดี โดยทำที่ดีที่สุด เมื่อนำลูกแบดมินตันชนไก่ไปทดลอง แล้วให้ผลการทดลองเป็นกราฟความเร็วกับเวลาที่มีความถูกต้อง ทำให้นักเรียนมีคะแนนทักษะความคิดริเริ่มอยู่ในระดับ ดีและดีมาก ด้านที่ 4 ความคิดละเอียดลออ นักเรียนมีคะแนนทักษะอยู่ในเกณฑ์ ดี 2 กลุ่ม และดีมาก 3 กลุ่ม โดยผู้วิจัยประเมินจากการที่นักเรียนสามารถเชื่อมโยงรายละเอียดต่างๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนด และการทบทวนประเด็นปัญหา ก่อนนำไปเสนอหน้าชั้นเรียนเป็นกลุ่มร่วมกัน ประกอบกับการนำเสนอของนักเรียนแต่ละกลุ่มมีความละเอียดครบถ้วนในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทำให้นักเรียนมีคะแนนทักษะอยู่ในระดับ ดี และดีมาก ดังนั้นสำหรับการพิจารณาผลของทักษะความคิดสร้างสรรค์ ในภาพรวมคะแนนหลังเรียนของนักเรียนทั้งหมดอยู่ในระดับที่สูงกว่ากว่าเดิมอย่างชัดเจน

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันชนไก่ สามารถพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นเหตุผลที่สอดคล้องกับผลการวิจัยในครั้งนี้ คือ ทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนที่เรียนรู้ผ่านสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์เรื่องการตกของลูกแบดมินตันชนไก่ มีคะแนนหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เหมือนกับงานวิจัยของ Meyrick (2011) Boy (2013) และ ศิวณัฐ ภูมิโคกรักษ์ (2019) ที่ได้ชี้ให้เห็นว่า การดำเนินการเรียนการสอนในแบบของ STEM ที่ผ่านการลงมือปฏิบัติสามารถพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ให้มีระดับหลังเรียนให้มากกว่าก่อนเรียนได้

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานนั้นได้ทำให้ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้และการศึกษาวิจัย ดังนี้

1. ในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ควรให้นักเรียนออกแบบภายใต้รูปทรงที่ทำให้เลขเรย์โนลด์ต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก นั่นคือรูปทรงของลูกแบดมินตันขนไก่ไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก
2. กิจกรรมสะเต็มวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ควรมีการวัดทักษะคิดอย่างมีวิจารณญาณเพิ่มเติมเพราะคือทักษะพื้นฐานเช่นกัน
3. มีเวลาพอที่จะให้นักเรียนที่จะทำกิจกรรม เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้มีความหลากหลายในแต่ละกลุ่มจะได้ส่งเสริมความอิสระในการคิดสร้างสรรค์
4. ควรยกระดับกิจกรรม STEM ในเรื่องนี้ ให้เป็น กิจกรรม สเต็มศึกษา (STEAM EDUCATION)



บรรณานุกรม

- Berry III, R. Q., Reed, P. A., Ritz, J. M., Lin, D. C. Y., Hsiung, S., และ Frazier, W. (2005). STEM initiatives. *SolidWorks®*, 1001, 23.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., และ Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational psychologist*, 26(3-4), 369-398.
- Boy, G. A. (2013). *From STEM to STEAM: toward a human-centred education, creativity & learning thinking*. Paper presented at the Proceedings of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics, Toulouse, France.
<https://doi.org/10.1145/2501907.2501934>
- Bybee, R. W. (2010). What Is STEM Education? *Science*, 329(5995), 996.
- Charyton, C., Jagacinski, R. J., Merrill, J. A., Clifton, W., และ DeDios, S. (2011). Assessing creativity specific to engineering with the revised creative engineering design assessment. *Journal of Engineering Education*, 100(4), 778-799.
- Chomngam, C., Na Phatthalung, R., Wongta, J., Dokkhularb, S., Vinarukwong, N., และ Boonpho, W. (2018). The Development of Creativity and Teamwork Through the STEM Education Learning Process of the Students in the Engineering Science Classroom, King Mongkut's University of Technology Thonburi (ESC-KMUTT). *CMU Journal of Education*, 2(1).
- Cohen, C. (2015). The physics of badminton. *New Journal of Physics*, 17(6), 063001.
- Cooke, A. J. (2002). *Shuttlecock Aerodynamics* (2).
- Dejarnette. (2012). America's children: providing early exposure to STEM (science, technology, engineering and math) initiatives. *Education*, 133, 77-84.
- Fikroturrofiah Suwandi Putra and Edi Istiyonoa. (2017). The Development of Performance Assessment of Stem-Based Critical Thinking Skill in the High School Physics Lessons. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL & SCIENCE EDUCATION*, 12(5), 1269-1281.
- Guilford, J. P. (1967a). *The nature of human intelligence*. New York US: McGraw-Hill.

- Guilford, J. P. (1967b). The One-Way Relation Between Creative Potential and IQ. *The Journal of Creative Behavior*, 7(4), 247-252.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of chemical education*, 70(9), 701.
- Kakarndee, N., Kudthalang, N., และ Jansawang, N. (2018). The integrated learning management using the STEM education for improve learning achievement and creativity in the topic of force and motion at the 9th grade level. *AIP Conference Proceedings*, 1923(1), 030024.
- Lindemuth, J. (1971). The effect of air resistance on falling balls. *American Journal of Physics*, 39, 757-759.
- Lung-Ming Chen, Yi-Hsiang Pan, และ Chen, Y.-J. (2009). A study of shuttlecock's trajectory in badminton. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8, 657-662.
- Meece, J. L. B., Phyllis C. Hoyle, Rick H. (1988). Students' goal orientations and cognitive engagement in classroom activities. *Journal of Educational Psychology*, 80(4), 514-523.
- Meyrick, K. M. (2011). How STEM Education Improves Student Learning. *Computer Technologies Journal*, 14(1).
- Montecinos, A. M. (2014). Free Fall Misconceptions: Results of A Graph Based Pre-Test of Sophomore Civil Engineering Students. *European J of Physics Education*, 5(3), 1-7.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*: National Academies Press.
- Ord, J. (2012). John Dewey and Experiential Learning: Developing the theory of youth work. *Youth & Policy*, 108(1), 55-72.
- Pendrill, A.-M., Ekström, P., Hansson, L., Mars, P., Ouattara, L., และ Ryan, U. (2014). The equivalence principle comes to school - Falling objects and other middle school investigations. *Physics Education*, 49, 425.
- Raymond A. Serway, J. W. J. (2014). *Physics for scientists and engineers with modern physics* (9). Boston ,USA: Physical Sciences: Mary Finch.

- Root-Bernstein, R. (2015). Arts and crafts as adjuncts to STEM education to foster creativity in gifted and talented students. *Asia Pacific Education Review*, 16(2), 203-212.
- Sears F.W. , Z. M. W., Young H. D. . (1976). *University Physics* (5). Massachusetts ,USA: Addison-wesley publishing company.
- Stohlmann, M., Moore, T., และ Roehrig, G. (2012). *Considerations for Teaching Integrated STEM Education* (2).
- Texier, B. D., Cohen, C., Quere, D., และ Claneta, C. (2012). Shuttlecock dynamics. *Procedia engineering*, 34, 176-181.
- Yun-Ju Chiu, F.-Y. C. (2012). *Students' Misunderstanding of Galileo's Experiment on the Leaning Tower of Pisa* Paper presented at the New Perspectives in Science Education, Firenze Italy.
- กมลฉัตร กล่อมฉิม. (2559). การพัฒนาการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษา. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, เพชรบูรณ์. (กลุ่มวิชาหลักสูตรและการสอน คณะครุศาสตร์).
- ชลธิชา ชิวปรีชา. (2554). ความคิดสร้างสรรค์ของเด็กปฐมวัยที่ทำกิจกรรมศิลปะด้วยใบตอง. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. (ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต).
- ชวลิต โพธิ์นคร. (2560, 23/3/2560). การศึกษาไทยในยุคไทยแลนด์ 4.0. Retrieved from <https://km.li.mahidol.ac.th/thai-studies-in-thailand-4-0/>
- दनัย เทียนพุด. (2547). ธุรกิจและกลยุทธ์ HR การประเมินระบบ 360 องศา(360 Degree Feedback). กรุงเทพมหานคร: โครงการ Human capital.
- ทัศนีย์ วงศ์นรา. (2559). การพัฒนาบทเรียนบนเว็บที่ส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ โดยใช้รูปแบบการสอนแบบซินเนคติกส์ ร่วมกับเทคนิคการคิดนอกกรอบ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 11(2), 153-162.
- ธนวัชร จริยภูมิ. (2558). รูปแบบการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ในศตวรรษที่ 21 วารสารปัญญาภิวัฒน์, 7(3), 292-302.
- บังเอิญ อินทร์กำ. (2555). การศึกษาความคิดสร้างสรรค์ของเด็กปฐมวัยที่ได้รับการจัดกิจกรรมการละคร. (ครุศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, เพชรบุรี. (การศึกษาปฐมวัย).

- ประนัดดา รัตนไตรมาศ. (2557). ผลการจัดกิจกรรมศิลปะสร้างสรรค์งานปั้นแบบร่วมมือที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์ของเด็กปฐมวัย. (การศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร. (การศึกษาปฐมวัย).
- ผลสุดี ภูมิอินทร์. (2526). เด็กกับการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ เอกสารการสอนวิชาพฤติกรรมวัยเด็ก หน่วย 8-15 (2). นนทบุรี: สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- พรรณณี ลีกิจวัฒน์. (2557). วิจัยทางการศึกษา (9). กรุงเทพมหานคร: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พวงรัตน์ ทวีรัตน์. (2543). การสร้างและพัฒนาแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ สำนักทดสอบทางการศึกษา และจิตวิทยา. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- พิทพนธ์ พิทักษ์, ท. จ., ดวงเดือน พินสุวรรณ, มนัส บุญประกอบ,. (2562). การพัฒนารูปแบบการสอนพิสิทธ์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาพิสิทธ์ความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณและความสามารถในการเผชิญและฝ่าฟันอุปสรรคของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย. วารสารวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ สาขามนุษศาสตร์และสังคมศาสตร์, 6(1), 39-52.
- ยุวันดา อินทสวัสดิ์ และ ภูริทัต สิงหเสม. (2562). การจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการสร้างจินตภาพร่วมกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของโพลยา เพื่อส่งเสริมความสามารถในการใช้ทักษะแก้ปัญหาโจทย์ทางพิสิทธ์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนพัทลุงพิทยาคม. Paper presented at the งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิตประจำปี 2562, กรุงเทพฯ.
- เยาวพา เดชะคุปต์. (2542). การจัดการศึกษาสำหรับเด็กปฐมวัย. กรุงเทพฯ: แม็ค จำกัด.
- รชานนท์ อุดมสูงเนิน. (2560). การจัดการเรียนรู้ตามแนวทาง STEM ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบ Project-Based Learning. <https://prezi.com/bqpahyjiucqj/copy-of-project-based-learning/>
- รัชศิริ จิตอารี. (2560). การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนตามแนวทฤษฎีการสร้างความรู้และการจัดการเรียนรู้ STEM EDUCATION เพื่อเสริมสร้างการรู้วิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 19(2), 202-214.
- วราภรณ์ รักรวิชัย. (2540). การอบรมเลี้ยงดูเด็กปฐมวัย (2). กรุงเทพมหานคร: ต้นอ่อน.
- ศิวณัฐ ภูมิโคกรักษ์. (2019). การศึกษาผลการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา. วารสารราช

พฤษ, 17(2), 73-79.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2554). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มพินิจเล่ม 1

(3). กรุงเทพมหานคร: สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2555). หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมพินิจเล่ม

5 (1). กรุงเทพมหานคร: สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557). เอกสารการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สะ

เต็มศึกษา (1). กรุงเทพมหานคร.

สมจิตร จันทร์ฉาย. (2557). การออกแบบและพัฒนาการเรียนการสอน 1. จังหวัดนครปฐม: บริษัท

เพชรเกษมพริ้นติ้ง กรุ๊ป จำกัด

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2555). การคิดสร้างสรรค์. Retrieved 20

กุมภาพันธ์ 2563 <http://www.obec.go.th>

สุวรรณ ก้อนทอง. (2547). ผลการจัดศิลปะประกอบเสียงดนตรีคลาสสิกที่มีต่อความคิดสร้างสรรค์

ของเด็กปฐมวัย. (กศ.ม.). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. , กรุงเทพมหานคร. (การศึกษา
ปฐมวัย).

อชิร กลิ่นอำภา. (2016). ผลของโปรแกรมฝึกกีฬาตาบอดไทยตามแนวคิดของกิลฟอร์ดที่มีต่อความคิด

สร้างสรรค์ของนิสิตนักศึกษาในสถาบันอุดมศึกษา. (ปริญญาามหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. (สุขศึกษาและพลศึกษา).

อารี พันธุ์มณี. (2537). ความคิดสร้างสรรค์. กรุงเทพมหานคร: ต้นอ่อน.

อารี รังสินนท์. (2532). ความคิดสร้างสรรค์ (3). กรุงเทพมหานคร: แพ้พิทยา.





ด้านเนื้อหา

อาจารย์ ดร.สุรวุฒิ วิจารณ์

อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

ด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริ สิรินิลกุล

อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ

ด้านการสอนวิชาฟิสิกส์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

ครูพิกามาศ สุขเมือง

ครู คศ.2 โรงเรียนหอวัง กรุงเทพฯ





ภาคผนวก ข

ตาราง 13 ค่าความเหมาะสมขององค์ประกอบกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูก
แบบมีต้นขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับมัธยมศึกษา
ตอนปลาย

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	\bar{X}	S.D.	ระดับ ความเหมาะสม
	1	2	3				
1. กิจกรรมมีการบูรณาการตาม รูปแบบสะเต็มศึกษาครบทุก สาขาวิชา	4	4	5	13	4.33	0.58	มาก
2. กิจกรรมเหมาะสมต่อการ นำไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง	4	4	4	12	4.00	0.00	มาก
3. สถานการณ์ในกิจกรรมมี ความสอดคล้องและเหมาะสม กับชีวิตจริง	5	4	3	12	4.00	1.00	มากที่สุด
4. กิจกรรมและการพัฒนาทักษะ ในศตวรรษที่ 21 สอดคล้องกัน	5	4	4	13	4.33	0.58	มากที่สุด
5. หลักการของกิจกรรมมีความ เป็นไปได้ในการนำไปปฏิบัติจริง	4	4	4	12	4.00	0.00	มาก
6. จุดประสงค์ของกิจกรรมมี ประโยชน์สำหรับผู้เรียน	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
7. จุดประสงค์ของกิจกรรม เหมาะสมต่อวัยของผู้เรียน	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
8. จุดประสงค์ของกิจกรรมมี ความชัดเจนและเป็นไปได้	4	5	5	14	4.67	0.58	มากที่สุด
9. เนื้อหาของกิจกรรมเหมาะสม กับวัยและความสนใจของผู้เรียน	5	5	4	14	4.67	0.58	มากที่สุด
10. เนื้อหาของกิจกรรมผู้เรียนได้รับ ความรู้อย่างครอบคลุม	5	4	4	13	4.33	0.58	มาก
11. เนื้อหาของกิจกรรมมีการจัด เรียงลำดับที่เหมาะสม	4	5	4	13	4.00	1.00	มาก

ตาราง 13 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	\bar{X}	S.D.	ระดับ ความเหมาะสม
	1	2	3				
12. เนื้อหาของกิจกรรมเหมาะสม กับการนำไปใช้ปฏิบัติจริง	4	5	3	12	4.33	0.58	มากที่สุด
13. รูปแบบของกิจกรรมมีความ เหมาะสมต่อการจัดการเรียนรู้	5	4	4	13	4.33	0.58	มาก
14. กิจกรรมเหมาะสมที่จะ นำไปสู่การบรรลุจุดประสงค์	5	4	4	13	4.33	0.58	มากที่สุด
15. กิจกรรมมีการจัดลำดับ ขั้นตอนที่เหมาะสม	5	4	4	13	4.00	1.00	มาก
16. ระยะเวลาในการใช้กิจกรรมมี ความเหมาะสม	4	5	3	12	4.33	0.58	มาก
17. ความถูกต้องของภาษา	5	4	4	12	5.00	0.00	มากที่สุด
18. การใช้สีสันทัน ขนาดตัวอักษร และภาพเหมาะสม	5	5	5	15	5.00	0.00	มากที่สุด
19. การประเมินผลของกิจกรรม ครอบคลุมสิ่งที่ต้องการประเมิน	5	5	5	15	4.33	0.58	มากที่สุด
20. การประเมินผลของกิจกรรมมี ความเป็นไปได้ในการนำไป ปฏิบัติจริง	4	4	5	13	4.00	1.00	มาก
ค่าความเหมาะสม					4.38	0.53	มาก

ตาราง 14 แสดงค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ เพื่อส่งเสริมทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้านความคิดสร้างสรรค์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
1. ด้านจุดประสงค์ของกิจกรรม						
1.1 จุดประสงค์สอดคล้องกับ มาตรฐานการเรียนรู้การศึกษาระดับ พื้นฐาน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.2 จุดประสงค์สอดคล้องกับสาระ การเรียนรู้	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.3 จุดประสงค์สอดคล้องกับ ตัวชี้วัด	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
1.4 จุดประสงค์สอดคล้องกับเนื้อหา	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
2. ด้านเนื้อหา						
2.1 เนื้อหาเหมาะสมกับ วัตถุประสงค์ของกิจกรรม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
2.2 เนื้อหาถูกต้องและครอบคลุม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
2.3 มีการจัดลำดับเนื้อหาที่ เหมาะสม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
2.4 เนื้อหาเหมาะสมกับเวลาในการ เรียน	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
2.5 เนื้อหาเหมาะสมกับระดับชั้น	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
3. ด้านการใช้ภาษา						
3.1 ใช้ภาษาที่ไม่ยาก	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.2 ความถูกต้องของการใช้ภาษา	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
3.3 การใช้ภาษาน่าสนใจ กระตุ้นให้ เกิดการเรียนรู้	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
3.4 ภาษาที่ใช้สอดคล้องกับวัยของ ผู้เรียน	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 14 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผู้เชี่ยวชาญ			รวม	IOC	การพิจารณา
	1	2	3			
3.5 ภาษาที่ใช้สนับสนุนสำหรับผู้เรียน ได้ใช้ภาษาที่ถูกต้อง	0	1	1	2	0.67	ใช้ได้
4. ด้านกิจกรรมสะเต็มศึกษา						
4.1 กิจกรรมสะเต็มศึกษาสอดคล้อง กับจุดประสงค์	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.2 กิจกรรมสะเต็มศึกษาสอดคล้อง กับเนื้อหา	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.3 กิจกรรมสะเต็มศึกษาสอดคล้อง กับการประเมินผล	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.4 กิจกรรมสะเต็มศึกษาสอดคล้อง กับทักษะในศตวรรษที่ 21	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
4.5 การจัดลำดับกิจกรรมสะเต็ม ศึกษามีความเหมาะสม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
5. ด้านการประเมินผล						
5.1 การประเมินผลสอดคล้องกับ จุดประสงค์	1	1	1	3	0.67	ใช้ได้
5.2 การประเมินผลมีความ สอดคล้องและเหมาะสมกับเนื้อหา	1	1	0	2	0.67	ใช้ได้
5.3 การประเมินผลสอดคล้องกับวัย ของนักเรียน	1	0	1	2	0.67	ใช้ได้
5.4 จำนวนข้อคำถามเหมาะสม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้
5.5 คำถามเข้าใจง่าย ไม่กำกวม	1	1	1	3	1.00	ใช้ได้

ตาราง 15 แสดงค่า IOC ของแบบประเมินเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์

ทักษะความคิดสร้างสรรค์	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
1. การประเมินการคิดอย่างสร้างสรรค์ต่อตนเองของนักเรียน					
1.1 นักเรียนมีการตอบปัญหาเกี่ยวกับแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วได้ตรงประเด็นถูกต้อง ในเวลาที่กำหนด	1	1	1	1.00	ใช้ได้
1.2 นักเรียนมีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ ในเวลาที่กำหนด	1	0	1	0.67	ใช้ได้
1.3 นักเรียนมีการเลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างตรงประเด็นถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้
1.4 นักเรียนมีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ทำให้ตกอย่างช้าลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก	1	1	1	1.00	ใช้ได้
1.5 นักเรียนมีคิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตันขนไก่ และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง	1	0	1	0.67	ใช้ได้
1.6 นักเรียนมีคิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่เพิกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น	1	0	1	0.67	ใช้ได้
1.7 นักเรียนสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหาเกี่ยวกับกราฟในการตก ได้อย่างถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้
1.8 นักเรียนสามารถทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้
2. การประเมินการคิดอย่างสร้างสรรค์ต่อเพื่อนร่วมกลุ่มของนักเรียน					
2.1 กลุ่มของนักเรียนสามารถตอบปัญหาเกี่ยวกับแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วได้ตรงประเด็นถูกต้อง ในเวลาที่ได้กำหนด	1	1	1	1.00	ใช้ได้
2.2 กลุ่มของนักเรียนมีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ ในเวลาที่กำหนด	1	0	1	0.67	ใช้ได้
2.3 กลุ่มของนักเรียนมีการเลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างตรงประเด็นถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้
2.4 กลุ่มของนักเรียนมีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ทำให้ตกอย่างช้าลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก	1	1	1	1.00	ใช้ได้

ตาราง 15 (ต่อ)

ทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรม	ผู้เชี่ยวชาญ			IOC	การพิจารณา
	1	2	3		
2.5 กลุ่มของนักเรียนมีความคิดแตกต่างไปจากเดิม/ ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตันขนไก่ และสามารถนำไป ทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง	1	0	2	1.00	ใช้ได้
2.6 กลุ่มของนักเรียนมีความคิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อ การเรียนที่ฝึกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้องตรง ประเด็น	1	1	1	1.00	ใช้ได้
2.7 กลุ่มของนักเรียนสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการ ออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการตก ได้อย่างถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้
2.8 กลุ่มของนักเรียนสามารถทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการ ออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ มีความละเอียดครบถ้วน ได้ อย่างถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้
3. การประเมินการคิดอย่างสร้างสรรค์ของผู้วิจัยต่อ นักเรียน					
3.1 ตอบปัญหาเกี่ยวกับแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อ ความเร็วได้ตรงประเด็นถูกต้อง ทันเวลา	1	1	1	1.00	ใช้ได้
3.2 มีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการออกแบบลูก แบดมินตันขนไก่ ในเวลาที่กำหนด	1	0	1	0.67	ใช้ได้
3.3 มีการเลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไข เริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างตรง ประเด็นถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้
3.4 มีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศ ในการตกของลูกแบดมินตันขนไก่ ทำให้ตกอย่างช้าลง อย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก	1	1	0	0.67	ใช้ได้
3.5 คิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูก แบดมินตัน และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟ ความเร็วปลายอย่างถูกต้อง	1	-1	1	0.33	ปรับปรุง
3.6 คิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเฉยต่อแรง ต้านอากาศได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น	1	0	0	0.33	ปรับปรุง
3.7 บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตัน ขนไก่ และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการ ตก ได้อย่างถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้
3.8 ทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบลูกแบดมินตันขน ไก่ มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง	1	1	1	1.00	ใช้ได้



ตาราง 16 คะแนนนักเรียน ก่อน และ หลัง ทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาวิชาฟิสิกส์ เรื่องการตกของลูก
แบดมินตันขนไก่

กลุ่ม	ผล	ทักษะความคิดสร้างสรรค์								ระดับ	
		คิดค่องแคล่ว		คิดยืดหยุ่น		คิดริเริ่ม		คิดละเอียดลออ		ก่อน	หลัง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง		
1	เฉลี่ย	5.6	7	4.9	6.7	5.2	6.7	5.0	6.5	21	27
	แปล	ดี	ดีมาก	พอใช้	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดีมาก
2	เฉลี่ย	5.1	6.3	4.7	6.6	5.0	6.6	4.6	6.3	19	26
	แปล	ดี	ดี	พอใช้	ดี	พอใช้	ดี	พอใช้	ดี	ดี	ดีมาก
3	เฉลี่ย	5.7	7.2	5.3	6.5	5.0	7.3	4.7	7.2	21	28
	แปล	ดี	ดีมาก	ดี	ดี	ดี	ดีมาก	พอใช้	ดีมาก	ดี	ดีมาก
4	เฉลี่ย	5.0	7.0	3.9	6.7	4.8	7.2	4.4	7.3	18	28
	แปล	พอใช้	ดีมาก	พอใช้	ดี	พอใช้	ดีมาก	พอใช้	ดีมาก	ดี	ดีมาก
5	เฉลี่ย	5.6	6.8	4.8	6.1	5.6	6.9	5.3	7.0	21	27
	แปล	ดี	ดี	พอใช้	ดี	ดี	ดี	ดี	ดีมาก	ดี	ดีมาก

ภาคผนวก ง



แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ต่อตนเองของนักเรียน				
ชื่อ.....เลขที่.....กลุ่มที่.....				
รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ			
	4 (ดีมาก)	3 (ดี)	2 (พอใช้)	1 (ปรับปรุง)
1. นักเรียนมีการตอบปัญหาเกี่ยวกับแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วได้ตรงประเด็นถูกต้อง ในเวลาที่กำหนด				
2. นักเรียนมีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตัน ในเวลาที่กำหนด				
3. นักเรียนมีการเลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันได้อย่างตรงประเด็นถูกต้อง				
4. นักเรียนมีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตัน ทำให้ตกอย่างช้าลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก				
5. นักเรียนมีคิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ลูกแบดมินตัน และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง				
6. นักเรียนมีคิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเจยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น				
7. นักเรียนสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตัน และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการตก ได้อย่างถูกต้อง				
8. นักเรียนสามารถทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบลูกแบดมินตัน มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง				
รวมคะแนน				

ภาพประกอบ 36 แบบประเมินตนเองของนักเรียน

แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ต่อเพื่อนร่วมกลุ่มของนักเรียน				
ชื่อ.....เลขที่.....กลุ่มที่.....				
รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ			
	4	3	2	1
	(ดีมาก)	(ดี)	(พอใช้)	(ปรับปรุง)
1. กลุ่มของนักเรียนสามารถตอบปัญหาเกี่ยวกับแรงด้านอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วได้ตรงประเด็นถูกต้อง ในเวลาที่กำหนด				
2. กลุ่มของนักเรียนมีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตัน ในเวลาที่กำหนด				
3. กลุ่มของนักเรียนมีการเลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันได้อย่างตรงประเด็นถูกต้อง				
4. กลุ่มของนักเรียนมีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตัน ทำให้ตกอย่างช้าลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก				
5. กลุ่มของนักเรียนมีความคิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตัน และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง				
6. กลุ่มของนักเรียนมีความคิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น				
7. กลุ่มของนักเรียนสามารถบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตัน และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหาเกี่ยวกับกราฟในการตกได้อย่างถูกต้อง				
8. กลุ่มของนักเรียนสามารถทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบลูกแบดมินตัน มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง				
รวมคะแนน				

ภาพประกอบ 37 แบบประเมินเพื่อนร่วมกลุ่มของนักเรียน

แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์ของผู้วิจัยต่อนักเรียน				
กลุ่มที่.....				
รายการประเมิน	ระดับคุณภาพ			
	4	3	2	1
	(ดีมาก)	(ดี)	(พอใช้)	(ปรับปรุง)
1. ตอบปัญหาเกี่ยวกับแรงต้านอากาศที่ส่งผลต่อความเร็วได้ตรงประเด็นถูกต้อง ในเวลาที่กำหนด				
2. มีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตัน ในเวลาที่กำหนด				
3. มีการเลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันได้อย่างตรงประเด็นถูกต้อง				
4. มีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตัน ทำให้ตกอย่างช้าลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก				
5. คิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตัน และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง				
6. คิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเจยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น				
7. บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตัน และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการตก ได้อย่างถูกต้อง				
8. ทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบลูกแบดมินตัน มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง				
รวมคะแนน				

ภาพประกอบ 38 แบบประเมินของผู้วิจัยต่อกลุ่มของนักเรียน

ตาราง 17 เกณฑ์แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดคล่องแคล่ว

ความคิดสร้างสรรค์	
ความคิดคล่องแคล่ว	
1. การตอบปัญหาเมื่อการตกที่พิจารณาแรงต้านอากาศ	
ระดับทักษะ	ระดับคุณภาพ
4 = ดีมาก	ตอบปัญหาได้ตรงประเด็นถูกต้อง 90 % ขึ้นไปได้ทันเวลา
3 = ดี	ตอบปัญหาได้ตรงประเด็นถูกต้องได้ 70 % ขึ้นไปได้ทันเวลา
2 = พอใช้	ตอบปัญหาได้ตรงประเด็นถูกต้องได้ 50 % ขึ้นไปได้ทันเวลา
1 = ปรับปรุง	ตอบปัญหาได้ตรงประเด็นถูกต้องต่ำกว่า 50 % ขึ้นไปได้ทันเวลา
2. การมีปริมาณความคิดที่หลากหลายในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ ภายในเวลาที่กำหนด	
ระดับทักษะ	ระดับคุณภาพ
4 = ดีมาก	มีการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้หลากหลายมากกว่า 5 แบบ
3 = ดี	มีการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้หลากหลายมากกว่า 3 แบบ
2 = พอใช้	มีการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้หลากหลายมากกว่า 1 แบบ
1 = ปรับปรุง	มีการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้เพียง 1 แบบ

ตาราง 18 เกณฑ์แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดยืดหยุ่น

ความคิดสร้างสรรค์	
ความคิดยืดหยุ่น	
1. การพิจารณาเชื่อมโยงทฤษฎีทางฟิสิกส์สู่การวางแผนการออกแบบผ่านสมการการคำนวณ	
ระดับทักษะ	ระดับคุณภาพ
4 = ดีมาก	เลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างตรงประเด็นถูกต้อง 90 % ขึ้นไป
3 = ดี	เลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างตรงประเด็นถูกต้อง 70 % ขึ้นไป
2 = พอใช้	เลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างตรงประเด็นถูกต้อง 50 % ขึ้นไป
1 = ปรับปรุง	เลือกใช้สมการในการคำนวณเพื่อหาเงื่อนไขเริ่มต้นในการออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่ได้อย่างตรงประเด็นถูกต้องต่ำกว่า 50 %
2. มีวิธีการเลือกใช้วัสดุอื่น ๆ มาใช้เพื่อเพิ่มการต้านอากาศในการตกของลูกแบดมินตันขนไก่	
ระดับทักษะ	ระดับคุณภาพ
4 = ดีมาก	ทำให้ตกแบบช้าลงอย่างเห็นได้ชัด และไม่เกิดการหมุนในการตก
3 = ดี	ทำให้ตกแบบช้าลงอย่างเห็นได้ชัด แต่ยังเกิดการหมุนในการตกอยู่บ้าง
2 = พอใช้	ทำให้ตกแบบช้าลง และยังเกิดการหมุนในการตก
1 = ปรับปรุง	ไม่ทำให้ตกแบบช้าลง และยังเกิดการหมุนในการตก

ตาราง 19 เกณฑ์แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดริเริ่ม

ความคิดสร้างสรรค์	
ความคิดริเริ่ม	
1. ออกแบบลูกแบดมินตันขนไก่อย่างมีความแปลกใหม่ รวมถึงสามารถให้ผลการทดลองที่ถูกต้องได้	
ระดับทักษะ	ระดับคุณภาพ
4 = ดีมาก	คิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตันขนไก่ และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง 100 %
3 = ดี	คิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตันขนไก่ และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง 75 %
2 = พอใช้	คิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตันขนไก่ และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง 50 %
1 = ปรับปรุง	คิดแปลกใหม่แตกต่างจากเดิม/ดัดแปลง/ประยุกต์ ลูกแบดมินตันขนไก่ และสามารถนำไปทดลองแล้วได้กราฟความเร็วปลายอย่างถูกต้อง 25 %
2. การคิดถึงผลกระทบของแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้น และผลกระทบต่อแรงต้านอากาศ	
ระดับทักษะ	ระดับคุณภาพ
4 = ดีมาก	คิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้องตรงประเด็น 100 %
3 = ดี	คิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้อง 75 %
2 = พอใช้	คิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้อง 50 %
1 = ปรับปรุง	คิดริเริ่มถึงปัญหาที่เกิดขึ้นต่อการเรียนที่ฝึกเฉยต่อแรงต้านอากาศได้อย่างถูกต้อง 25 %

ตาราง 20 เกณฑ์แบบประเมินทักษะความคิดสร้างสรรค์ ด้านความคิดละเอียดลออ

ความคิดสร้างสรรค์	
ความคิดละเอียดลออ	
1. การบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบ ที่เชื่อมโยงกับทฤษฎี และประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้น	
ระดับทักษะ	ระดับคุณภาพ
4 = ดีมาก	บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตัน และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการตก ได้อย่างถูกต้อง 100 %
3 = ดี	บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตัน และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการตก ได้อย่างถูกต้อง 75 %
2 = พอใช้	บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตัน และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการตก ได้อย่างถูกต้อง 50 %
1 = ปรับปรุง	บอกรายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบลูกแบดมินตัน และเชื่อมโยงสัมพันธ์ ประเด็นปัญหากับกราฟในการตก ได้อย่างถูกต้อง 25 %
2. การนำเสนอโดยมีรายละเอียดครบถ้วน ตั้งแต่การริเริ่มออกแบบ การทำการทดลอง และผลการทดลองที่ได้	
ระดับทักษะ	ระดับคุณภาพ
4 = ดีมาก	ทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบ มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง 100 %
3 = ดี	ทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบ มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง 75 %
2 = พอใช้	ทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบ มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง 50 %
1 = ปรับปรุง	ทำสื่อนำเสนอขั้นตอนการออกแบบ มีความละเอียดครบถ้วน ได้อย่างถูกต้อง 25 %

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กฤษกร บุญประเสริฐ
วัน เดือน ปี เกิด	29 มิถุนายน 2535
สถานที่เกิด	บ้านเลขที่ 49 หมู่ 6 ตำบล สามโก้ อำเภอ สามโก้ จังหวัดอ่างทอง
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต ปีการศึกษา 2554-2558 ปริญญาโท การศึกษามหาบัณฑิต ปีการศึกษา 2560-2562
ที่อยู่ปัจจุบัน	49 ม.6 ต.สามโก้ อ. สามโก้ จ. อ่างทอง 14160
ผลงานตีพิมพ์	-การศึกษาคความเร็วปลายในการตกอย่างอิสระของลูกแบดมินตัน ในระยะความสูงไม่เกินสามเมตรโดยใช้สมาร์ทโฟน -การพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ โดยการใช้การจัดการเรียนรู้แบบสะ เต็มศึกษา เรื่อง การตกแบบเสรีของลูกแบดมินตันในระดับชั้นมัธยมศึกษา ตอนปลาย