

การวิเคราะห์อภิมานประสิทธิผลของความเป็นจริงเสมือน
ในการศึกษาวิทยาศาสตร์
Meta-analysis of The Effectiveness of Virtual Reality
in Science Education

กฤษฎาภรณ์ จันทะคุณ¹ ธิติ จันทะคุณ¹ และธาดา จันทะคุณ^{2*}
Kitsadaporn Jantakun¹, Thiti Jantakun¹ and Thada Jantakoon^{2*}

¹คณะครุศาสตร์และการพัฒนามนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

¹Faculty of Education and Human Development, Roi Et Rajabhat University

²Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University

*Corresponding author. E-mail: thada.phd@gmail.com

(Received: 12 December 2023; Reviewed: 12 April 2023; Revised: 30 April 2024; Accepted: 30 April 2024)

บทคัดย่อ

เทคโนโลยี Virtual Reality (VR) เป็นกลยุทธ์ด้านนวัตกรรมที่ถูกนำไปใช้ในสถานศึกษาต่างๆ รวมถึงการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มการมีส่วนร่วม และความเข้าใจของนักเรียนในบริบทของการศึกษาวิทยาศาสตร์ แนวทางความเป็นจริงเสมือนเกี่ยวข้องกับการปรับโครงสร้างกระบวนการสอนและการเรียนรู้แบบดั้งเดิม การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิผลของ VR ในการศึกษาวิทยาศาสตร์ในด้านความรู้ ทักษะ และแรงจูงใจ โดยทำการวิเคราะห์อภิมานของประสิทธิผลของ VR ในการศึกษาวิทยาศาสตร์ การค้นหาวรรณกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ ERIC และดัชนี Scopus ตั้งแต่เดือนมกราคม 2018 ถึงพฤศจิกายน 2023 ได้ดำเนินการเพื่อระบุการศึกษาที่รายงานประสิทธิภาพของ VR ในการศึกษาวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับความรู้ ทักษะ และแรงจูงใจ ผู้ทบทวนอิสระสองคน ดำเนินงานคัดเลือกการศึกษา และการดึงข้อมูล คุณภาพของระเบียบวิธีวิจัยของการศึกษาที่เลือกถูกกำหนดค่าโดยใช้ Fail-Safe N for Publication Bias Assessment การศึกษาทั้งหมด 7 รายการ รวมถึงผู้เข้าร่วม 574 คน ได้รับการคัดเลือกสำหรับการวิเคราะห์ขั้นสุดท้าย เราพบว่า VR มีประสิทธิภาพมากกว่าเงื่อนไขการควบคุมในการปรับปรุงผลโดยรวม (ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมาตรฐาน [SMD] = 0.87, 95% CI 0.35-1.39, $P < .001$, $I^2 = 87.36\%$)

ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า VR สามารถปรับปรุงการศึกษา วิทยาศาสตร์ความรู้ ทักษะ และแรงจูงใจโดยรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาอย่างเข้มงวดเพิ่มเติมที่มีขนาดตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้นรับประกันเพื่อยืนยันผลลัพธ์เหล่านี้

คำสำคัญ: ความเป็นจริงเสมือน; การศึกษาวิทยาศาสตร์; วิธีการในการศึกษาวิทยาศาสตร์; การวิเคราะห์อภิมาน

Abstract

Virtual reality (VR) technology is an innovative strategy that has been applied in various educational institutions, including science education, to increase student engagement and understanding in science education. This study aims to assess the effectiveness of VR in science education in cognition, skills and motivation. A search of electronic literature using ERIC and the Scopus Index from January 2018 to November 2023 worked to identify studies reporting the effectiveness of VR in science education on knowledge, skills, and motivation. Two independent review authors conducted study selection and data retrieval. The methodological quality of the selected studies was configured using the Fail-Safe N for Publication Bias Assessment. We found that VR was more effective than control conditions in improving overall outcomes (standardized mean difference [SMD]=0.87, 95% CI 0.35-1.39, $P<.001$, $I^2=87.36\%$). The results of this study suggest that VR can effectively improve education, science, knowledge, skills, and overall motivation. More rigorous studies with larger sample sizes are guaranteed to confirm these results.

Keywords: Virtual reality; Science education; VR in science education; Meta-analysis

บทนำ

ความท้าทายของการใช้ความเป็นจริงเสมือนในการศึกษาวิทยาศาสตร์รวมถึงข้อจำกัดทางเทคนิคในการระบุข้อมูลภาพอย่างถูกต้อง และการตีความข้อมูลที่รวบรวมในการทดลองกับผู้สังเกตการณ์ที่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระในสภาพแวดล้อมที่ตอบสนอง (Hibbard, 2023) ความท้าทายอื่นๆ เกี่ยวข้องกับการสร้างอินเทอร์เฟซผู้ใช้ที่ใช้งานง่าย การใช้แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน และการแสดงภาพโมเลกุลในแอปพลิเคชันเสมือนจริงและความเป็นจริงเสริม (Hemme et al., 2023) นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องตรวจสอบผลกระทบของความเป็นจริงเสมือนเสมือนจริง (IVR) ต่อการศึกษาวิทยาศาสตร์ในโรงเรียนมัธยมศึกษา รวมถึงการเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ระหว่าง IVR และกิจกรรมการรับชมวิดีโอแบบดั้งเดิม (Xie et al., 2023) นอกจากนี้ การศึกษาการเขียนโปรแกรมยังเผชิญกับความท้าทายในแง่ของอัตราความล้มเหลวที่สูง และความยากในการเรียนรู้แนวคิดการเขียนโปรแกรม (Konecki et al., 2023; Cumberbatch et al., 2023). เพื่อจัดการกับความท้าทายเหล่านี้ ความเป็นจริงเสมือนสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการทำให้แนวคิดการเขียนโปรแกรมเข้าใจได้มากขึ้น และเพิ่มแรงจูงใจของนักเรียนในกิจกรรมการเขียนโปรแกรม

ความเป็นจริงเสมือน (VR) มีผลกระทบเชิงบวกต่อการเรียนรู้ของนักเรียนในวิทยาศาสตร์ ช่วยให้นักเรียนเห็นภาพแนวคิดที่เป็นนามธรรมมีส่วนร่วมในกระบวนการและอยากรู้ อยากเห็นมากขึ้น (Lin and Sumardani, 2023) VR มอบประสบการณ์ที่ไม่เหมือนใครโดยการส่งนักเรียนไปยังโลกเสมือนจริงที่สามารถโต้ตอบกับปรากฏการณ์ทางวิทยาศาสตร์ได้โดยตรง (Hite, 2022) สภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ใช้ VR ที่สมจริงช่วยในการสร้างภาพแนวคิดนามธรรมที่ดีขึ้น และปรับปรุงประสบการณ์การเรียนรู้ (Matovu et al., 2023) การใช้ VR ที่สมจริงพร้อมกลยุทธ์การสะท้อน พบว่าเพิ่มประสิทธิภาพการรับรู้และการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ (Hsu and Chen, 2022) การใช้วิดีโอ 360 องศาในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมประสิทธิภาพ และทัศนคติของนักเรียนที่มีต่อหัวข้อ (Vola et al., 2023) โดยรวมแล้ว VR ในการศึกษาวิทยาศาสตร์กล่าวถึงข้อจำกัดของวิธีการเรียนรู้แบบดั้งเดิมและเปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้จากประสบการณ์จริงซึ่งอาจไม่สามารถเข้าถึงได้

ความเป็นจริงเสมือน (VR) มีประโยชน์หลายประการสำหรับการศึกษาวิทยาศาสตร์ทำให้การเข้าถึงแง่มุมที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ของโลก ช่วยให้นักเรียนได้เรียนรู้เกี่ยวกับหัวข้อที่ยากต่อการทำซ้ำในสถานศึกษา (Hibbard, 2023) VR สามารถสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่สมจริง และได้ตอบโต้ ส่งเสริมการสำรวจและการค้นพบ ซึ่งช่วยกระตุ้น และมีส่วนร่วมกับนักเรียนในสาขาวิชา STEM (Cumberbatch et al., 2023) ช่วยให้นำเสนอสิ่งเร้าทางสายตาที่กว้าง และสมจริง ทำให้นักเรียนสามารถสำรวจ และทำความเข้าใจอย่างเข้มข้น ว่าข้อมูลภาพถูกใช้ในการควบคุมพฤติกรรมอย่างไร (Lamb, 2023) VR ยังมีราคาถูกลงสำหรับกิจกรรมในห้องปฏิบัติการ และแนวคิดที่เป็นนามธรรมในการศึกษา STEM ทำให้เป็นโซลูชันที่มีแนวโน้มสำหรับข้อกำหนดการเข้าถึงระยะไกล และเพิ่มประสิทธิภาพ ความแม่นยำของงาน

(Huang et al., 2023) นอกจากนี้ VR ยังสามารถเพิ่มความสามารถในการแสดงภาพโดยการรวมแหล่งข้อมูลเพิ่มเติม และปรับปรุงประสบการณ์ของผู้ใช้ขยายความเป็นไปได้สำหรับการวิจัย และการศึกษา

แม้ว่าการใช้ VR จะมีข้อดีหลายประการ แต่นักวิจัยบางคนรายงานว่า VR ไม่ได้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมอื่นๆ ในผลลัพธ์บางอย่างเช่นความรู้ และคะแนนประสิทธิภาพ (Artun et al., 2020) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบประสิทธิภาพของความเป็นจริงเสมือน (VR) ในการศึกษาวิทยาศาสตร์ของนักเรียน จุดมุ่งหมายของการศึกษานี้คือ เพื่อทำการวิเคราะห์ห่อภิมาณของประสิทธิผลของการใช้ VR ต่อความรู้ ทักษะ และแรงจูงใจในการศึกษาวิทยาศาสตร์

วิธีดำเนินการวิจัย

กลยุทธ์การสืบค้น

การวิเคราะห์ห่อภิมาณนี้ดำเนินการตามแนวทาง PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses) (Moher et al., 2010) เพื่อรับประกันความโปร่งใส ความถูกต้อง และครบถ้วน การค้นหาค้นหาการศึกษาได้ดำเนินการเกี่ยวกับ ERIC และ Scopus ฐานข้อมูลเหล่านี้ได้รับการคัดเลือกเนื่องจากครอบคลุมวารสารคุณภาพสูงที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิทยาศาสตร์ คำค้นหา รวมถึง "Virtual Reality" "Science Education" pubyearmin:2018 pubyearmax:2023 การค้นหาวรรณกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้ดำเนินการใน ERIC และ SCOPUS ตั้งแต่เดือนมกราคม 2018 ถึง พฤศจิกายน 2023

เกณฑ์การคัดเข้า

การศึกษานี้รวมการทดลองแบบสุ่มที่มีกลุ่มควบคุม (RCTs) หรือการทดลองที่ใช้การออกแบบแบบสุ่มกึ่งทดลอง รวมถึงการทดลองในรูปแบบของบทความตามวิธี PICO (Population–Intervention–Comparison–Outcome) ในการศึกษาครั้งนี้องค์ประกอบของ PICO มีดังนี้:

ประชากร: นักเรียน ก่อน/หลังการลงทะเบียน

การแทรกแซง: วิธีการเรียนรู้เสมือนจริงทุกประเภท

การเปรียบเทียบ: วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม (รวมถึงการนำเสนอชั้นเรียนการเรียนรู้ออนไลน์ ฯลฯ) และวิธีการที่ไม่ใช้วิธีการเรียนรู้เสมือนจริง

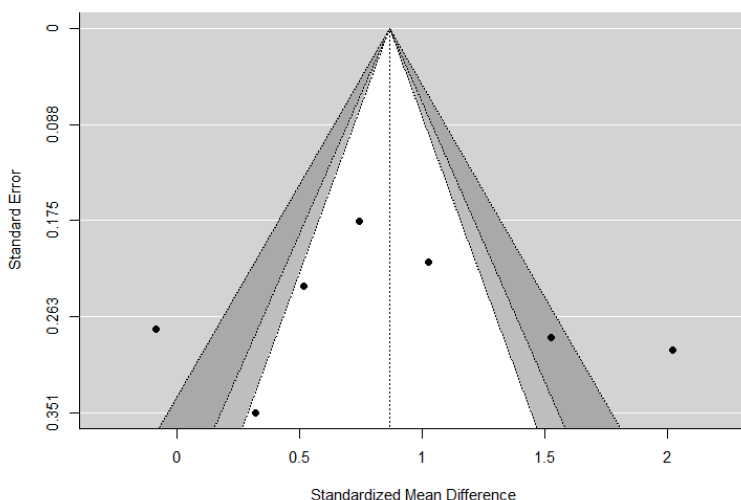
ผลลัพธ์: ความรู้ ทักษะ และแรงจูงใจ

การคัดข้อมูลออก

ผู้ตรวจทานสองคน (ภาษาภรณ์ และ ธิติ) ดึงข้อมูลอย่างอิสระตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ล่วงหน้า รวมถึงผู้เขียน วันที่เผยแพร่ ประเทศ ขนาดตัวอย่าง ประเภทผู้เข้าร่วม สูตรการแทรกแซง และผลลัพธ์

การทดสอบอคติในการตีพิมพ์

พล็อตช่องทางมักใช้เพื่อประเมินอคติ (Ferrer, 1998; Tang and Liu, 2000; Song et al., 2002) สาเหตุสำคัญของอคติคืออคติในการตีพิมพ์โดยการศึกษาให้ผลลัพธ์ที่เป็นบวกบ่อยขึ้นเพื่อตีพิมพ์ และมีแนวโน้มที่จะตีพิมพ์มากขึ้น (Lill et al., 2012) อคติทางภาษาอังกฤษการศึกษาเชิงลบมีโอกาสน้อยที่จะตีพิมพ์ในวารสารภาษาอังกฤษแม้ว่าจะไม่ได้สังเกตเสมอไป และอคติการอ้างอิง การศึกษาที่มีข้อสรุปเชิงบวกจะถูกอ้างถึงบ่อยขึ้นและดังนั้นจึงสามารถระบุและรวมอยู่ในฐานข้อมูลได้ง่ายขึ้น อคติอาจจางลงเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นเมื่อ บริษัท ยางจใจระงับการศึกษาที่ไม่สนับสนุนผลิตภัณฑ์ของตน (Eyding et al., 2010) พื้นฐานของการประเมินอคติคือหากการศึกษาทั้งหมดให้การประเมินแบบสุ่มของค่าเฉลี่ยที่เป็นกลางเดียวกันพล็อตควรสมมาตร ตัวอย่างเช่นหากการศึกษามีอคติโดยมีการศึกษาขนาดเล็กเกินไปที่มีผลในเชิงบวกและขนาดผลขนาดใหญ่พล็อตช่องทางจะไม่สมมาตรกับการขาดดุลใกล้ด้านล่าง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 พล็อตช่องทางมักใช้เพื่อประเมินอคติ.

Fail-Safe N

Fail-Safe N (Number) เป็นแนวคิดทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์เมตาเพื่อประเมินความแข็งแกร่งของการค้นพบโดยการประมาณจำนวนการศึกษาที่ไม่มีนัยสำคัญหรือเป็นโมฆะซึ่งจำเป็นต่อการยกเลิกผลที่สังเกตได้ มันให้ข้อบ่งชี้ถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากอคติในการตีพิมพ์ต่อผลลัพธ์โดยรวม

การคำนวณ Fail-Safe N:

1. กำหนดขนาดเอฟเฟกต์ที่สังเกตได้: ระบุขนาดเอฟเฟกต์ที่ได้จากการวิเคราะห์เมตา

2. กำหนดเกณฑ์สำหรับนัยสำคัญทางสถิติ: กำหนดเกณฑ์สำหรับนัยสำคัญทางสถิติ (โดยทั่วไป $p < 0.05$)
3. คำนวณ Z -score: ใช้ขนาดเอฟเฟกต์ที่สังเกตได้และข้อผิดพลาดมาตรฐานเพื่อคำนวณ Z -score
4. ประเมินการ *Fail-Safe* N : ใช้สูตรของ Rosenthal เพื่อประมาณจำนวนการศึกษาที่ไม่สำคัญที่จำเป็นในการนำผลโดยรวมไปสู่ระดับที่ไม่สำคัญ (Rosenthal, 1979)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ห่อถักนนำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์จามูวี่ (Caldwell, 2022) สำหรับข้อมูลต่อเนื่องโดยรายงานความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (SMD) ที่มีช่วงความเชื่อมั่น 95% ในการวิเคราะห์แต่ละครั้ง I^2 ถูกใช้เพื่อวัดความแตกต่างทางสถิติระหว่างการศึกษิตามค่าของ P และ I^2 เลือกแบบจำลองผลคงที่ ($P > .1$, $I^2 < 50\%$) หรือแบบจำลองเอฟเฟกต์แบบสุ่ม ($0 < P < .1$, $I^2 \geq 50\%$) (Higgins and Thompson, 2002)

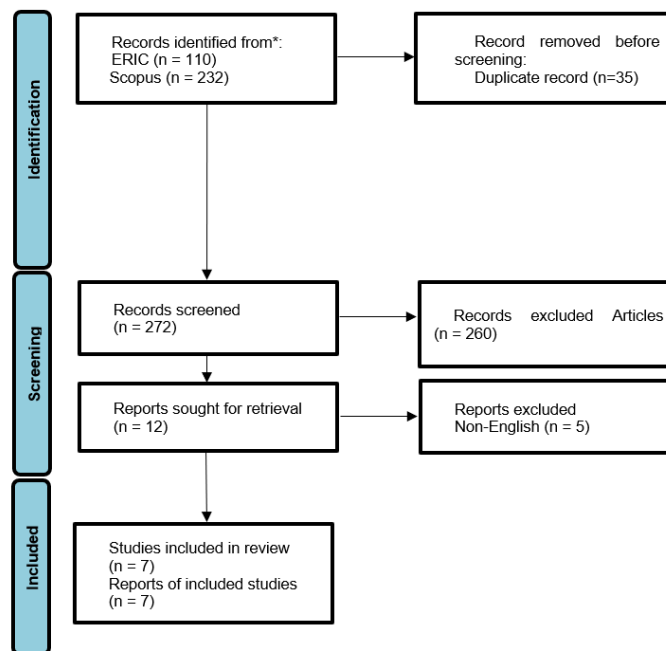
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการสืบค้นวรรณกรรม

พบการศึกษาที่มีศักยภาพทั้งหมด 342 รายการจาก 2 ฐานข้อมูล ($n=342$) หลังจากลบบทความที่ซ้ำกัน 35 รายการบทความที่เหลือจะได้รับการตรวจสอบและบทความที่ไม่ตรงตามเกณฑ์การคัดเลือกก็ถูกแยกออก บทความทั้งหมด 260 บทความถูกคัดกรองตามชื่อเรื่องและบทคัดย่อซึ่ง 66 บทความถูกแยกออก มีการดาวน์โหลดและประเมินบทความฉบับเต็มทั้งหมด 12 บทความซึ่ง 5 บทความถูกแยกออก ในที่สุดการศึกษา 7 รายการรวมถึงผู้เข้าร่วม 574 คนได้รับการคัดเลือกสำหรับการศึกษานี้ แผนภูมิการไหลของกระบวนการคัดเลือกการศึกษาแสดงในภาพที่ 2

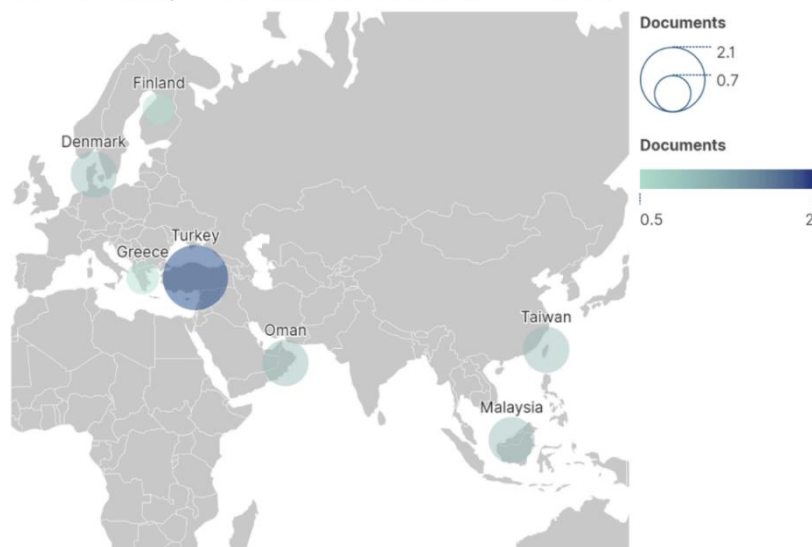
ลักษณะของการศึกษา

การศึกษานี้รวมการทดลองที่ดำเนินการใน 7 ประเทศ: เดนมาร์ก (Petersen et al., 2022), กรีซ-ฟินแลนด์ (Mystakidis et al., 2022), มาเลเซีย (Kuit and Osman., 2021), ตุรกี (Sarioğlu and Girgin, 2020) (Artun et al., 2020), โอมาน (Al Amriet et al., 2020) และไต้หวัน (Liou and Chang, 2018) การทดลอง 1 รายการใช้การออกแบบกลุ่ม 3 แขน (Liou and Chang, 2018) ในขณะที่การทดลอง 8 รายการใช้การออกแบบกลุ่ม 2 แขน ขนาดตัวอย่างมีผู้เข้าร่วมตั้งแต่ 33 ถึง 173 คน ในการทดลองทั้งหมดผู้เข้าร่วมคือนักเรียนมัธยมปลาย นักเรียนประถมศึกษา นักเรียนมัธยม นักเรียน (ป.6 ม.1 และ ม.2) การทดลองทั้ง 7 เรื่องเปรียบเทียบความเป็นจริงเสมือนกับการศึกษาแบบดั้งเดิม ลักษณะของผู้เข้าร่วมรายละเอียดการแทรกแซงและการวัดผลลัพธ์แสดงไว้ในตารางที่ 1 และภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ผังงานคัดกรองบทความ PRISMA

Virtual Reality in Science Education (2018-2023)



ภาพที่ 3 ความเป็นจริงเสมือนในการศึกษาวิทยาศาสตร์ปี 2018-2023

ตารางที่ 1 ลักษณะของการศึกษาที่รวมไว้ 7 เรื่อง

ผู้เขียน (ปี) ประเทศ	ประเภทของ ผู้เข้าร่วม	จำนวนผู้เข้าร่วม			ผลลัพธ์
		ทั้งหมด (จำนวนกลุ่ม)	กลุ่มทดลอง (การเรียนรู้ VR)	กลุ่ม ควบคุม (การศึกษา แบบ ดั้งเดิม)	
Petersen et al (2022), Denmark	นักเรียนมัธยม ปลาย	173 (2)	47	126 (เรียน ออนไลน์)	การ ประเมิน ความรู้ ทักษะ
Mystakidis et al (2022), Greece- Finland	นักศึกษา ระดับประถม ศึกษา	33 (2)	17	16 (การศึกษา แบบดั้งเดิม)	ทักษะ แรงจูงใจ
Kuit et al (2021), Malaysia	นักเรียนมัธยม ปลาย	79 (2)	30	49 (การศึกษา แบบดั้งเดิม)	ทักษะ
Sarioğlu & Girgin (2020), Turkey	นักเรียน (ป.6)	100 (2)	50	50 (การศึกษา แบบดั้งเดิม)	การ ประเมิน ความรู้
Artun et al (2020), Turkey	นักเรียนมัธยม	54 (2)	24	30 (การศึกษา แบบดั้งเดิม)	การ ประเมิน ความรู้ ทักษะ
Al Amriet al (2020), Oman	นักเรียน (ม.2)	65 (2)	32	33 (การศึกษา แบบดั้งเดิม)	การ ประเมิน ความรู้ แรงจูงใจ
Liou & Chang, (2018), Taiwan	นักเรียน (ม.1)	105 (3)	35	35 (การศึกษา แบบดั้งเดิม)	การ ประเมิน ความรู้ แรงจูงใจ

ผลการวิเคราะห์ห่อถัก

การวิเคราะห์ดำเนินการโดยใช้ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมาตรฐานเป็นการวัดผลลัพธ์ มีการติดตั้งแบบจำลองเอฟเฟกต์แบบสุ่มกับข้อมูล ปริมาณของความแตกต่าง (เช่น τ^2) ถูกประเมินโดยใช้ตัวประมาณความเป็นไปได้สูงสุดที่จำกัด (Viechtbauer, 2010) นอกเหนือจากการประมาณการของ τ^2 แล้วยังมีการรายงาน Q-test for heterogeneity (Cochran, 1954) และสถิติ I^2 ในกรณีที่ตรวจพบจำนวนความแตกต่างใด ๆ (เช่น $\tau^2 > 0$ โดยไม่คำนึงถึงผลลัพธ์ของการทดสอบ Q) จะมีช่วงเวลาการทํานายสำหรับผลลัพธ์ที่แท้จริงด้วย ส่วนที่เหลือของนักเรียนและระยะทางของ Cook ใช้เพื่อตรวจสอบว่าการศึกษามีผลกระทบและ / หรือมีอิทธิพลในบริบทของแบบจำลองหรือไม่ การศึกษาที่มีผลที่เหลือน้อยกว่า $100 \times (1 - 0.05/(2 \times k))$ th เปอร์เซ็นไทล์ของการแจกแจงปกติมาตรฐานถือเป็นค่าผิดปกติที่อาจเกิดขึ้น (เช่น การใช้การแก้ไข Bonferroni ด้วยอัลฟาสองด้าน = 0.05 สำหรับการศึกษาคู่ที่รวมอยู่ในการวิเคราะห์ห่อถัก) การศึกษาที่มีระยะทางของ Cook มากกว่าค่ามัธยฐานบวกหกเท่าของช่วง interquartile ของระยะทางของ Cook ถือว่ามีอิทธิพล การทดสอบสหสัมพันธ์อันดับและการทดสอบการถดถอยโดยใช้ข้อผิดพลาดมาตรฐานของผลลัพธ์ที่สังเกตได้เป็นตัวทำนายจะใช้เพื่อตรวจสอบความไม่สมมาตรของพล็อตช่องทาง

ตารางที่ 2 วิเคราะห์ค่า Random-Effects Model

Random-Effects Model (k = 7)

	Estimate	se	Z	p	CI Lower Bound	CI Upper Bound
Intercept	0.868	0.265	3.27	0.001	0.348	1.388
.	.	.	.	.	.	.

Note. Tau² Estimator: Restricted Maximum-Likelihood

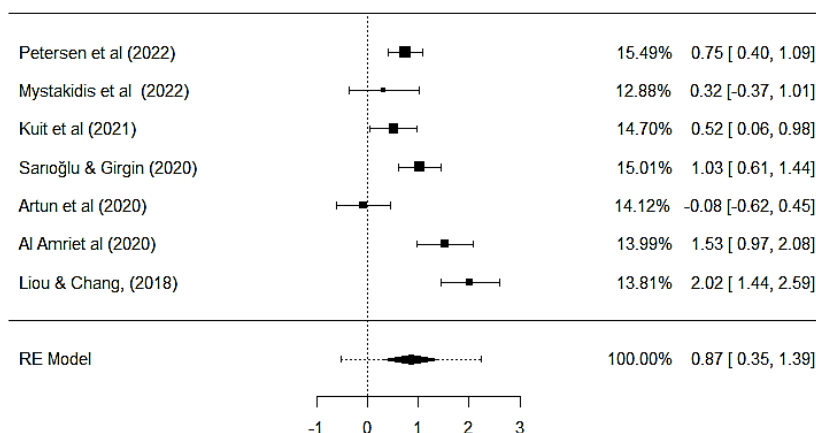
ตารางที่ 3 วิเคราะห์ค่า Heterogeneity

Heterogeneity Statistics

Tau	Tau ²	I ²	H ²	R ²	df	Q	p
0.651	0.4236 (SE= 0.2843)	87.36%	7.910	.	6.000	38.508	< .001

การศึกษาคู่ทั้งหมด k=7 รวมอยู่ในการวิเคราะห์ ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมาตรฐานที่สังเกตได้อยู่ในช่วง -0.0824 ถึง 2.0190 โดยการประมาณการส่วนใหญ่เป็นบวก (86%) ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยมาตรฐานโดยประมาณตามแบบจำลองผลสุ่มคือ $\hat{\mu} = 0.8678$ (95% CI: 0.3478 ถึง

1.3878) ดังนั้นผลลัพธ์เฉลี่ยจึงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญจากศูนย์ ($z = 3.2707$, $p = 0.0011$) จากการทดสอบ Q ผลลัพธ์ที่แท้จริงดูเหมือนจะแตกต่างกัน ($Q(6) = 38.5084$, $p < 0.0001$, $\tau^2 = 0.4236$, $I^2 = 87.3578\%$) ช่วงเวลาการทำนาย 95% สำหรับผลลัพธ์ที่แท้จริงจะได้รับโดย -0.5097 ถึง 2.2453 ดังนั้นแม้ว่าผลลัพธ์เฉลี่ยจะคาดว่าจะเป็บบวก แต่ในบางการศึกษาผลลัพธ์ที่แท้จริงอาจเป็นลบ



ภาพที่ 4 ผลกระทบโดยรวมของ forest map

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ตรวจสอบอคติการตีพิมพ์

Publication Bias Assessment		
Test Name	value	p
Fail-Safe N	209.000	< .001
Begg and Mazumdar Rank Correlation	0.048	1.000
Egger's Regression	0.049	0.961
Trim and Fill Number of Studies	0.000	.

Note. Fail-safe N Calculation Using the Rosenthal Approach

สรุปผลและเสนอแนะ

การวิเคราะห์ห้ภูมิานนี้ประเมินประสิทธิภาพของ VR ในวิธีการศึกษาวิทยาศาสตร์ เราพบว่า VR ในวิธีการศึกษาวิทยาศาสตร์สามารถส่งเสริมการพัฒนาความรู้ ทักษะ และแรงจูงใจของนักเรียน การทดลองทั้งหมด 7 รายการที่มีผู้เข้าร่วม 574 คนรวมอยู่ในการวิเคราะห์ห้ภูมิาน การศึกษาทั้งหมดใช้วิธีการ VR เป็นวิธีการในกลุ่มทดลองและวิธีการศึกษาในกลุ่มควบคุมรวมถึงการศึกษาแบบดั้งเดิม การวิเคราะห์ห้ภูมิานนี้ให้การประเมินที่ครอบคลุมเกี่ยวกับการใช้ VR ในการศึกษาวิทยาศาสตร์ พบว่าวิธีการ

VR สามารถพัฒนาความรู้ ทักษะ และแรงจูงใจของนักเรียนได้ ในบริบทที่กว้างขึ้นการใช้ VR ควรได้รับการพิจารณาว่าเป็นวิธีการเพิ่มความรู้ ทักษะ และแรงจูงใจที่ทำหน้าที่เป็นแนวทางเสริมเพื่อเพิ่มคุณภาพโดยรวมของการปฏิบัติการเรียนรู้ อย่างไรก็ตามควรคำนึงถึงความแตกต่าง และความเสี่ยงของการมีอคติในการศึกษาที่รวมไว้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาขนาดใหญ่ที่ออกแบบอย่างเข้มงวดเพื่อยืนยันผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ห่อภีมานี้เพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- Al Amri, A. Y., Osman, M. E., & Al Musawi, A. S. (2020). The effectiveness of a 3D-virtual reality learning environment (3D-VRLE) on the Omani eighth grade students' achievement and motivation towards physics learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (Online)*, 15(5), 4.
- Artun, H., Durukan, A., & Temur, A. (2020). Effects of virtual reality enriched science laboratory activities on pre-service science teachers' science process skills. *Education and Information Technologies*, 25(6), 5477-5498.
- Caldwell, A. R. (2022). SimplyAgree: an R package and jamovi module for simplifying agreement and reliability analyses. *Journal of Open Source Software*, 7(71), 4148.
- Cochran, W. G. (1954). The combination of estimates from different experiments. *Biometrics*, 10(1), 101-129.
- Cumberbatch, I., Olatunji, J., & Robila, S. A. (2023). *Using Extended Reality Technology in Science Education*. In 2023 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT) (pp. 1-6). IEEE.
- Eyding, D., Lelgemann, M., Grouven, U., Härter, M., Kromp, M., Kaiser, T., Kerekes, M. F., Gerken, M., & Wieseler, B. (2010). Rboxetine for acute treatment of major depression: systematic review and meta-analysis of published and unpublished placebo and selective serotonin reuptake inhibitor controlled trials. *BMJ*, 341. [https://doi: 10.1136/bmj.c4737](https://doi.org/10.1136/bmj.c4737)
- Ferrer, R. L. (1998). Graphical methods for detecting bias in meta-analysis. *FAMILY MEDICINE-KANSAS CITY*-, 30, 579-583.
- Hemme, C. L., Carley, R., Norton, A., Ghumman, M., Nguyen, H., Ivone, R., UMenon, J., Shen, J., Bertin, M., King, R., Leibovitz, E., Bergstrom, R., & Cho, B. (2023). Developing virtual and augmented reality applications for science, technology, *engineering and math education*. *BioTechniques*, 75, 11-20. <https://doi.org/10.2144/btn-2023-0029>

- Hibbard, P. B. (2023). Virtual reality for vision science. In: Maymon C, Wu Y, Grimshaw G (eds) *Virtual reality in behavioural neuroscience: new insights and methods*. Springer doi: 10.1007/7854_2023_416
- Higgins, J. P., & Thompson, S. G. (2002). Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Statistics in medicine*, 21(11), 1539-1558.
- Hite, R. (2022). Virtual reality: Flight of fancy or feasible? Ways to use virtual reality technologies to enhance students' science learning. *The American Biology Teacher*, 84(2), 106-108.
- Hsu, T. Y., & Chen, M. P. (2022). *Drawing as reflection strategy for immersive virtual reality learning to enhance students' science outcome*. In Proceedings of 11th International Congress (pp. 313-322).
- Huang, X., Huss, J., North, L., Williams, K., & Boyd-Devine, A. (2023). Cognitive and motivational benefits of a theory-based immersive virtual reality design in science learning. *Computers and Education Open*, 4, 100124.
- Konecki, M., Konecki, M., & Vlahov, D. (2023). *Using Virtual Reality in Education of Programming*. In 2023 11th International Conference on Information and Education Technology (ICIET) (pp. 39-43). IEEE.
- Kuit, V. K., & Osman, K. (2021). CHEMBOND3D e-module effectiveness in enhancing students' knowledge of chemical bonding concept and visual-spatial skills. *European Journal of Science and Mathematics Education*, 9(4), 252-264.
- Lamb, R. (2023). Virtual reality and science, technology, engineering, and mathematics education. *International Encyclopedia of Education* (Fourth Edition), 189-197. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818630-5.13075-1>
- Lill, C. M., Roehr, J. T., McQueen, M. B., Kavvoura, F. K., Bagade, S., Schjeide, B-M. M., Schjeide, L. M., Meissner, E., Zauft, U., Allen, N. C., Liu, T., Schilling, M., Anderson, K. J., Beecham, G., Berg, D., Biernacka, J. M., Brice, A., DeStefano, A. L., Do, C. B., ..., & Bertram, L. (2012). Comprehensive research synopsis and systematic meta-analyses in Parkinson's disease genetics: *The PDGene database*. *PLoS genetics*, 8(3), e1002548. [https://doi: 10.1371/journal.pgen.1002548](https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1002548)

- Lin, C. H., & Sumardani, D. (2023). Transitioning to virtual reality learning in 5E learning model: pedagogical practices for science learning. *Interactive Learning Environments*, 1-15.
- Liou, W. K., & Chang, C. Y. (2018). *Virtual reality classroom applied to science education*. In 2018 23rd International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT) (pp. 1-4). IEEE.
- Matovu, H., Ungu, D. A. K., Won, M., Tsai, C. C., Treagust, D. F., Mocerino, M., & Tasker, R. (2023). Immersive virtual reality for science learning: Design, implementation, and evaluation. *Studies in Science Education*, 1-40.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Prisma Group. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International journal of surgery*, 8(5), 336-341.
- Mystakidis, S., Besharat, J., Papantzikos, G., Christopoulos, A., Stylios, C., Agorgianitis, S., & Tselentis, D. (2022). Design, development, and evaluation of a virtual reality serious game for school fire preparedness training. *Education Sciences*, 12(4), 281.
- Petersen, G. B., Klingenberg, S., & Makransky, G. (2022). *Pipetting in virtual reality can predict real-life pipetting performance*. *Technology, Mind, and Behavior*, 3(3). <https://doi.org/10.1037/tmb0000076>
- Rosenthal, R. (1979). "The 'file drawer problem' and tolerance for null results." *Psychological Bulletin*, 86(3), 638-641.
- Sarioğlu, S., & Girgin, S. (2020). THE effect of using virtual reality in 6th grade science course the cell topic on students' academic achievements and attitudes towards the course. *Journal of Turkish Science Education*, 17(1), 109-125.
- Song, F., Khan, K. S., Dinnes, J., & Sutton, A. J. (2002). Asymmetric funnel plots and publication bias in meta-analyses of diagnostic accuracy. *International journal of epidemiology*, 31(1), 88-95.
- Tang, J. L., & Liu, J. L. (2000). Misleading funnel plot for detection of bias in meta-analysis. *Journal of clinical epidemiology*, 53(5), 477-484.
- Viechtbauer, W. (2010). Meta-Analyse. *Handbuch Statistik, Methoden und Evaluation*. Hogrefe, Göttingen, 743-756.

- Vola, E., Stoltz, R., & Schumpert, C. A. (2023). Impacts of Virtual Reality Experiences: Enhanced Undergraduate Student Performance and Engagement with use of 360-degree video. *BioRxiv*, 1-37. <https://doi.org/10.1101/2023.02.16.528835>
- Xie, T., Li, Y., & Tang, Y. (2023). Effects of Using Immersive Virtual Reality for Science Education on Learning Outcomes: A Randomized Controlled Pilot Study. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, PP(99), 1-12. <https://doi:10.1109/TLT.2023.3263587>