

The Design of Learning Media to Reduce Cognitive Load Using the Split-Attention Principle

การออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่ลดภาระทางปัญญา ด้วยหลักการลดการแยกความสนใจ

Thawach Thammabut¹ and Piyaporn Wonganu^{2*}

ธวัช ธรรมบุตร¹ และ ปิยพร วงศ์อนุ^{2*}

¹Electronics and Telecommunication, Faculty of Technical Education,
Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus

¹สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

²Educational Technology and Innovation, Faculty of Education, Loei Rajabhat University

²สาขาวิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมทางการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

*Corresponding author: piyaporn.won@lru.ac.th

Received March 29, 2024 ■ Revised June 30, 2024 ■ Accepted July 1, 2024 ■ Published August 26, 2024

Abstract

The design of learning media aims for learners to study content in order to create their own knowledge. During the learning process, learners experience cognitive load depending on the difficulty of content and the design of learning media. When learning materials comprise diverse formats, such as text, images, audio, or video, inappropriate or inconsistent content placement may lead to a phenomenon known as the split-attention effect. This phenomenon occurs when learners need to allocate cognitive resources to gather and link information from separate sources, resulting in unnecessary cognitive load. And if cognitive load exceeds learners' limits or cognitive overload occurs, it will affect learning efficiency. Therefore, this article explains the principles of human information processing and memory limitations that cause cognitive load. It then presents media design that reduces cognitive load using the principle of reducing split attention, examples of learning media design using the principle of reducing split attention, and the impact of the principle of reducing split attention on learning media design as a guideline for future learning media design.

Keywords: information processing, cognitive load, learning media, split-attention

บทคัดย่อ

การออกแบบสื่อการเรียนรู้มีจุดมุ่งหมายให้ผู้เรียนได้ศึกษาเนื้อหาเพื่อนำไปสร้างเป็นความรู้ของตนเอง ซึ่งในขณะที่เรียนรู้อยู่ผู้เรียนจะเกิดภาระทางปัญญาที่ขึ้นกับความยากง่ายของเนื้อหาและการออกแบบสื่อการเรียนรู้ และเมื่อสื่อการเรียนรู้ประกอบด้วยรูปแบบที่หลากหลาย เช่น ข้อความ ภาพ เสียง หรือ วิดีโอ การจัดวางที่ไม่เหมาะสมหรือไม่สอดคล้องกันของเนื้อหาอาจนำไปสู่ปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการแบ่งความสนใจ ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนต้องแบ่งทรัพยากรทางความคิดเพื่อรวบรวมและเชื่อมโยงข้อมูลจากแหล่งที่แยกกัน ส่งผลให้เกิดภาระทางปัญญาที่ไม่จำเป็น และหากเกิดภาระทางปัญญามากเกินไปอาจถึงขั้นก่อให้เกิดภาวะสมองตันส่งผลต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้ ดังนั้น ในบทความนี้จะอธิบายถึงหลักการประมวลผลสารสนเทศของมนุษย์และข้อจำกัดของความจำที่ทำให้เกิดภาระทางปัญญา จากนั้นนำเสนอการออกแบบสื่อที่ลดภาระทางปัญญาด้วยหลักการลดการแยกความสนใจ ตัวอย่างการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่ใช้หลักการลดการแยกความสนใจ และผลกระทบของหลักการลดการแยกความสนใจต่อการออกแบบสื่อการเรียนรู้เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสื่อการเรียนรู้ต่อไป

คำสำคัญ: ประมวลผลสารสนเทศ, ภาระทางปัญญา, สื่อการเรียนรู้, การลดการแยกความสนใจ

บทนำ (Introduction)

เทคโนโลยีดิจิทัลในปัจจุบันมีความสำคัญต่อการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้สอนสามารถออกแบบสื่อการเรียนรู้ให้อยู่ในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น ข้อความ รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว เสียง หรือ วิดีโอ เป็นต้น ดังนั้น ผู้เรียนจะสามารถรับสารสนเทศได้หลายช่องทาง เช่น ข้อความ หรือรูปภาพผ่านทางตา หรือเสียงบรรยายผ่านทางหู (Liu et al., 2018) หลังจากนั้นผู้เรียนจะประมวลผลสารสนเทศที่รับเข้ามาเพื่อสร้างเป็นความรู้ของตนเอง ซึ่งสามารถอธิบายด้วยหลักการของทฤษฎีประมวล

สารสนเทศ (Information processing theory) (Lutz & Huitt, 2018) ที่กล่าวถึงหน่วยความจำของมนุษย์ ประกอบด้วย 3 หน่วยความจำ ได้แก่ บันทึกผัสสะ (Sensory memory) ความจำระยะสั้นหรือความจำขณะทำงาน (Short-term memory or working memory) และ ความจำระยะยาว (Long-term memory) ทำงานสอดประสานกันแต่อย่างไรก็ตามมนุษย์มีข้อจำกัดในการประมวลผลสารสนเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประมวลผลสารสนเทศในความจำขณะทำงานที่มีข้อจำกัดในด้านเวลาและปริมาณของสารสนเทศ ยกตัวอย่างเช่น การให้

ผู้เรียนจดจำคำศัพท์ภาษาอังกฤษจำนวน 20 คำ ในครั้งเดียว ผู้เรียนจะไม่สามารถจดจำคำศัพท์ได้ทั้งหมดเนื่องจากปริมาณคำศัพท์เกินขีดจำกัดของความจำขณะทำงาน หรือ หากผู้เรียนจดจำคำศัพท์ได้แล้วแต่ไม่ได้กระทำการใด ๆ กับคำศัพท์นั้น เช่น ท่องซ้ำ ๆ เมื่อเวลาผ่านไปผู้เรียนจะลืมคำศัพท์นั้นไป

นอกจากนั้น การออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่มีหลายแหล่งข้อมูล เช่น ต้องการอธิบายส่วนประกอบที่สำคัญของพืช โดยออกแบบให้ภาพส่วนประกอบของพืชอยู่ด้านบน และมีข้อความอธิบายหน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบของพืชอยู่ด้านล่าง ที่อยู่คนละตำแหน่งกัน การออกแบบเช่นนี้จะทำให้ผู้เรียนมองไปที่ภาพของพืชที่ปรากฏอยู่ด้านบนก่อนเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงมองหาคำอธิบายที่เป็นข้อความในส่วนล่าง ผู้เรียนจะเกิดการแยกความสนใจ (Split-attention) กล่าวคือ ผู้เรียนจะต้องแบ่งความสนใจระหว่างแหล่งข้อมูลที่เป็นภาพและข้อความไปมา จากนั้นจะผสมผสานสารสนเทศเหล่านั้นในใจเพื่อสร้างความเข้าใจว่า ภาพส่วนประกอบนี้คืออะไรและทำหน้าที่อะไร กระบวนการนี้จะทำให้ผู้เรียนเกิดภาระทางปัญญา (Cognitive load) ถ้าหากเกิดภาระทางปัญญาที่เกินกว่าจะประมวลสารสนเทศได้ จะทำให้สารสนเทศเหล่านั้นสูญหายและไม่สามารถนำไปบันทึกลงในความจำระยะยาวต่อไปได้ (Sweller et al., 2011) จากงานวิจัยพบว่า การที่ผู้เรียนมีภาระทางปัญญาที่สูงขึ้นขณะเรียนจะส่งผลให้ผู้เรียนต้องใช้เวลาในการเรียนเพิ่มขึ้นสำหรับการทำความเข้าใจ (Rey et al., 2019) นอกจากนี้ยังพบว่า การสื่อการเรียนรู้ที่ออกแบบให้ผู้เรียนต้องค้นหาสารสนเทศโดยไม่จำเป็นและต้องแยกความสนใจไปยังสารสนเทศแต่ละแหล่งจะทำให้ประสิทธิภาพการเรียนรู้ต่ำลง (de Koning et al., 2020) จึงมีนักวิจัยได้ประยุกต์ใช้หลักการลดการแยกความสนใจเพื่อการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่ลดภาระ

ทางปัญญา เช่น การใช้สัญลักษณ์หรือตัวชี้แนะเพื่อให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในสารสนเทศที่สำคัญ จากนั้นบูรณาการสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์เข้าด้วยกันเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดการแยกความสนใจ (Clark et al., 2006) หรือการนำเทคโนโลยีความจริงเสริมเข้ามาช่วยออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่บูรณาการข้อความกับอุปกรณ์จริงเพื่อให้แสดงค่าอุณหภูมิกับจุดที่ทำการวัดในเวลาเดียวกัน (Michael et al., 2020) พบว่า ผู้เรียนมีภาระทางปัญญาน้อยกว่าการเรียนรู้ในรูปแบบเดิม

ดังนั้น ในบทความนี้จึงมุ่งเน้นการอธิบายและยกตัวอย่างการประยุกต์หลักการลดการแยกความสนใจ โดยจะเริ่มต้นจากการอธิบายหลักการทฤษฎีประมวลสารสนเทศ ทฤษฎีภาระทางปัญญา หลักการลดการแยกความสนใจ ตัวอย่างการออกแบบสื่อด้วยหลักการลดการแยกความสนใจ และผลกระทบของหลักการลดการแยกความสนใจต่อการออกแบบสื่อการเรียนรู้เพื่อใช้สำหรับการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่ลดภาระทางปัญญาของผู้เรียน

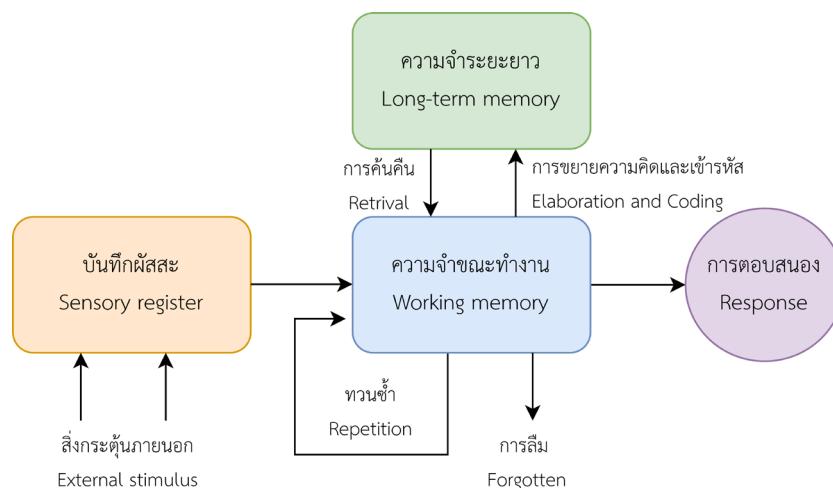
ทฤษฎีประมวลสารสนเทศ (Information Processing Theory)

ทฤษฎีประมวลสารสนเทศ กล่าวถึง การเรียนรู้เป็นกระบวนการที่ข้อมูลถูกบันทึกลงหน่วยความจำในสมองของมนุษย์เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่หรือเชื่อมโยงกับข้อมูลใหม่ โดยมีพื้นฐานมาจากโมเดลขั้นตอน (Stage theory model) ของ Atkinson and Shiffrin (1968) ที่แบ่งความจำออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ความจำประสาทสัมผัส (Sensory memory) ความจำระยะสั้นหรือความจำขณะทำงาน (Short-term or Working memory) และความจำระยะยาว (Long-term memory) ดังแสดงใน Figure 1

Figure 1

A Stage Model of Memory (modified from Lutz & Huitt, 2018)

โมเดลขั้นตอนของความจำ



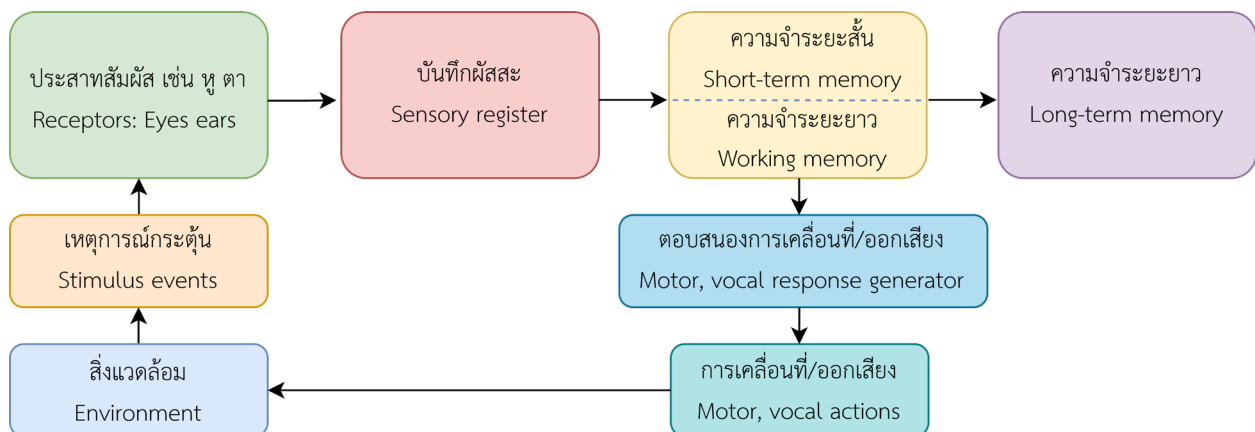
จากนั้น Klausmeier (1985) ได้สรุปการประมวล
สารสนเทศของมนุษย์ (Human information processing)
ได้เป็น 3 เฟส ได้แก่ บันทึกผัสสะ (Sensory register) ความ
จำระยะสั้น (Short-term memory) หรือ ความจำขณะทำงาน

(Working memory) และ ความจำระยะยาว (Long-term
memory) ซึ่งมีกระบวนการตั้งแต่การรับข้อมูล (Acquisition)
การประมวลผล (Processing) การบันทึก (Storing) การค้นคืน
(Retrieval) และการกระทำ (Action) ดัง Figure 2

Figure 2

Major Phases of Human Information Processing (modified from Klausmeier, 1985)

เฟสของการประมวลสารสนเทศของมนุษย์



โดยการประมวลสารสนเทศของมนุษย์นั้นจะเริ่มจากมี
สิ่งเร้าจากสิ่งแวดล้อมเข้ามายังประสาทรับรู้ของมนุษย์ เช่น
ตา หู หรือ สัมผัส และส่งผ่านเข้ามายังบันทึกผัสสะ (Sensory
register) ในรูปของ ภาพ (Visual) เสียง (Auditory) หรือสั่น
(Haptic) จากนั้นส่งไปยังความจำระยะสั้นหรือความจำขณะ
ทำงาน โดยความจำนี้จะประมวลผลและส่งไปควบคุมส่วนของ
ร่างกายต่าง ๆ เช่น การขยับแขน หรือ การเปล่งเสียง เป็นต้น
นอกจากนั้น ยังส่งสารสนเทศไปบันทึกในความจำระยะยาว
เพื่อใช้ในการค้นคืนในอนาคต โดยแต่ละความจำสามารถอธิบาย
ได้ดังนี้

1. บันทึกผัสสะ (Sensory register) เป็นความจำส่วนแรก
ที่รับสิ่งเร้าหรือข้อมูลเข้ามายังประสาทสัมผัสทั้งห้า ได้แก่ หู ตา
จมูก ปาก และผิวหนัง สิ่งเร้านั้นจะสูญหายไปอย่างรวดเร็วหาก
ไม่ได้ถูกส่งต่อไปยังความจำระยะสั้นหรือความจำขณะทำงาน
โดยจะสูญหายไปในเวลาเพียง 0.5 วินาที สำหรับสิ่งเร้าที่ผ่าน
การมองเห็น และ 3 วินาที สำหรับสิ่งเร้าที่ผ่านการได้ยิน (Lutz
& Huitt, 2018) ซึ่งวิธีการที่จะทำให้สิ่งเร้านั้นส่งต่อไปยังความจำ
ถัดไปได้คือการใส่ใจ (Attention) ที่มีนิยามคือการใส่ใจสิ่งเร้านั้น
โดยที่ไม่ได้สนใจสิ่งเร้าอื่น (Lutz & Huitt, 2018) เช่น การใช้
ตัวอักษรขนาดใหญ่ ตัวหนา ชิดเส้นใต้ ตัวเอียง หรือการขีด
เป็นต้น (Chaijaroen, 2016)

2. ความจำระยะสั้นหรือความจำขณะทำงาน (Short-
term or Working memory) เป็นความจำที่รับข้อมูลต่อจาก
บันทึกผัสสะ ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล โดยอาศัยความรู้เดิม

ที่มีอยู่แล้วในความจำระยะยาวมาร่วมประมวลผลด้วย เช่น
ข้อมูลที่เข้ามาเป็นสัตว์ มีลักษณะ 4 ขา มีขน มีปากยาว
ส่งเสียงร้องว่า โอ้อ ๆ หากผู้เรียนมีความรู้เดิมอยู่แล้วจะเรียกคืน
หรือค้นคืน (Retrieval) ความรู้เดิมว่า สุนัขมี 4 ขา มีขน มีปากยาว
และร้องโอ้อ ๆ เข้ามาในความจำขณะทำงาน จากนั้นประมวลผล
ข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่รับเข้ามากับความรู้เดิมและบอก
ได้ว่า สัตว์ที่พบ คือ สุนัข แต่อย่างไรก็ตาม ความจำขณะทำงาน
มีข้อจำกัดในด้านปริมาณและเวลา กล่าวคือ ข้อมูลที่รับเข้ามาจะ
เริ่มสูญหายไปภายในเวลา 15-30 วินาที หากไม่ได้มีการดำเนิน
การใด ๆ กับข้อมูลนั้น นอกจากนั้น ความจำขณะทำงานสามารถ
ประมวลผลข้อมูลได้จำนวน 7 ± 2 หน่วยข้อมูล (Elements)
เท่านั้น หากข้อมูลมากกว่านี้ ข้อมูลจะเริ่มเกิดการสูญหายไป
ซึ่งการรักษาข้อมูลให้อยู่ในความจำขณะทำงานสามารถทำได้
โดยการท่องซ้ำ (Rehearsal) เพื่อให้ข้อมูลถูกประมวลผลต่อไป
และบันทึกไปยังความจำระยะยาวต่อไป ดังนั้น การออกแบบสื่อ
การเรียนรู้จะต้องออกแบบให้ข้อมูลมีจำนวนไม่เกิน 7 ± 2 ข้อมูล
ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การรวมกลุ่มข้อมูล (Chunking)
ยกตัวอย่าง การจำหมายเลขโทรศัพท์จำนวน 10 หลัก หากให้
ผู้เรียนจำตัวเลขทีละตัว ผู้เรียนจะต้องจำทั้งหมด 10 ตัวเลข
หรือ 10 หน่วยข้อมูล เช่นเลข 0 8 0 2 9 5 1 8 5 6 ซึ่งจะเกิด
ข้อจำกัดด้านปริมาณของความจำขณะทำงาน แต่หากรวมกลุ่ม
ข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม เช่น 080 295 1856 จะทำให้เหลือ
ข้อมูลจำนวน 3 หน่วยข้อมูล ซึ่งไม่เกินข้อจำกัดของความจำ
ขณะทำงาน (Chaijaroen, 2016)

3. ความจำระยะยาว (Long-term memory) เป็นหน่วยความจำสำหรับการบันทึกข้อมูลที่ได้รับมาจากความจำขณะทำงานเป็นการถาวร ใช้สำหรับการเรียกคืนหรือค้นคืน เช่น บันทึกข้อมูลลักษณะของแมว คือ มี 4 ขา มีขน มีหนวด และส่งเสียงร้องว่า เมี้ยว ๆ โดยข้อมูลที่บันทึกนั้นแบ่งได้เป็น 2 ชนิด (Tulving, 1972) คือ 1) การจำเหตุการณ์ (Episodic memory) เช่น เหตุการณ์ที่เราไปซื้อของที่ร้านสะดวกซื้อ เราจะเดินไปเลือกสินค้าจากนั้นนำสินค้าไปที่จุดชำระเงินเพื่อจ่ายเงินหรือการเดินทางด้วยเครื่องบิน เราจะเดินทางไปที่สนามบินจากนั้นไปยังจุดเช็คอิน เข้าจุดตรวจสัมภาระ และไปรอที่ประตูทางออกขึ้นเครื่องบินที่กำหนดไว้ เป็นต้น 2) การจำความหมาย (Semantic memory) เช่น การรู้ความหมายของคำว่า Orange คือ ส้ม หรือ EV Car คือ รถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น การบันทึกข้อมูลในความจำระยะยาวได้จะต้องมีการเข้ารหัส (Encode) โดยใช้วิธีต่าง ๆ เช่น การท่องสูตรคูณ การใช้คำพ้องเสียง บทกลอน หรือการสร้างความหมาย เป็นต้น

ดังนั้น หากต้องการให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามหลักการทฤษฎีประมวลสารสนเทศแล้วนั้น จะต้องมีการออกแบบสื่อการเรียนรู้โดยเริ่มตั้งแต่การกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดความสนใจในข้อมูลนั้นเพื่อรับเข้าไปยังความจำประสาทสัมผัส จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยังความจำขณะทำงานเพื่อประมวลผล และเข้ารหัสเพื่อบันทึกไว้ในความจำระยะยาว แต่อย่างไรก็ตามพบว่า ที่ความจำขณะทำงานจะมีข้อจำกัดทางด้านเวลาและปริมาณของข้อมูล ซึ่งหากออกแบบสื่อการเรียนรู้ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดภาวะสมองตัน (Cognitive overload) ส่งผลให้ผู้เรียนไม่สามารถเรียนรู้ได้ ดังนั้น จึงต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีภาระทางปัญญา (Cognitive load theory) ซึ่งสามารถสรุปหลักการของทฤษฎีภาระทางปัญญาได้ ดังนี้

ทฤษฎีภาระทางปัญญา (Cognitive Load Theory)

ขณะที่มนุษย์กำลังเรียนรู้อยู่จำเป็นต้องใช้ความจำขณะทำงานในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับเข้ามา ซึ่งความจำขณะทำงานนี้มีข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและปริมาณดังที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ผลจากการที่มีข้อมูลเกินข้อจำกัดจะทำให้เกิดภาวะสมองตันและจะทำให้ข้อมูลที่รับมาสูญหายหรือเกิดการลืม ซึ่งสามารถแบ่งภาระทางปัญญาได้ 3 แบบ (Sweller et al., 2019; Thees et al., 2020) ดังนี้

1. ภาระทางปัญญาภายใน (Intrinsic cognitive load) เป็นความพยายามทางด้านความคิด (Mental effort) ที่ใช้สำหรับประมวลผลความซับซ้อน (Complexity) หรือความยาก (Difficulty) ของภารกิจการเรียนรู้ ยกตัวอย่างเช่น ให้ผู้เรียนคำนวณหาค่าของตัวแปร X ของโจทย์คณิตศาสตร์ 2 ข้อ คือ โจทย์ข้อที่ 1: $2X^3 + 5X^2 + X = 15$ และ โจทย์ข้อที่ 2: $X - 5 = 3$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าโจทย์ข้อที่ 1 มีความซับซ้อนในการคำนวณจึงทำให้เกิดภาระทางปัญญาภายในมากกว่าการคำนวณโจทย์ข้อที่ 2 โดยภาระทางปัญญาภายในจะขึ้นอยู่กับความรู้เดิมของผู้เรียน หากผู้เรียนมีความรู้เดิมมากจะส่งผลให้ผู้เรียนเกิดภาระทางปัญญาภายในน้อยลง

2. ภาระทางปัญญาภายนอก (Extraneous cognitive load) เป็นความพยายามทางด้านความคิดที่ใช้สำหรับประมวลผลสื่อการเรียนรู้ที่ถูกลำเลียงที่ไม่เหมาะสมกับข้อจำกัดของความจำขณะทำงาน เช่น มีปริมาณมากเกินไป รวมไปถึงการนำเสนอสิ่งที่ไม่จำเป็นในสื่อการเรียนรู้ เช่น ให้ผู้เรียนจำคำศัพท์ภาษาอังกฤษ จำนวน 15 คำ ทั้งการสะกดและความหมายของแต่ละคำศัพท์ ซึ่งปริมาณคำศัพท์ที่ผู้เรียนจะต้องจำจะเกินข้อจำกัดด้านปริมาณของความจำขณะทำงาน คือ 7 ± 2 ดังนั้น ผู้เรียนจะไม่สามารถจำคำศัพท์ได้ทั้งหมด

3. ภาระทางปัญญาอัตโนมัติ (Germane cognitive load) เป็นการประมวลผลหลักเพื่อสร้างความรู้ใหม่ สามารถทำได้โดยการสร้างโครงสร้างความรู้ (Schema construction) เช่น การสร้างความรู้เกี่ยวกับการบวกเลข $3 + 2 = 5$ จากนั้นผู้เรียนจะสามารถนำความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหาที่สูงขึ้นได้ เช่น $1,020,123 + 2 = 1,020,125$ ดังนั้น การเตรียมตัวอย่างที่หลากหลายจะส่งผลให้ผู้เรียนมีปัญญาอัตโนมัติ (Germane) สูงขึ้น

จากที่กล่าวมาจะพบว่า การเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องลดการเกิดภาระทางปัญญา โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาระทางปัญญาภายนอกที่เกิดจากการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่ไม่เหมาะสม ซึ่งการลดภาระทางปัญญาภายนอกจะช่วยให้ความจำขณะทำงานมีพื้นที่ว่างสำหรับการประมวลผลที่สำคัญ ซึ่งได้มีนักวิจัยได้นำเสนอหลักการเพื่อลดการเกิดภาระทางปัญญาภายนอก เช่น ตัวอย่างงาน (Worked-out examples) (Renkl, 2005) การลดการแยกความสนใจ (Split-attention) (Ayres & Sweller, 2005) หรือการลดความซ้ำซ้อน (Redundancy) (Sweller, 2005) เป็นต้น โดยในบทความนี้จะมุ่งเน้นการอธิบายและนำเสนอตัวอย่างสื่อการเรียนรู้ที่ออกแบบโดยใช้หลักการลดการแยกความสนใจ เนื่องจากในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีส่วนร่วมในการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่มีหลายรูปแบบ เช่น ใช้รูปภาพ 2 มิติ รูปภาพ 3 มิติ ใช้เสียงบรรยาย ใช้ภาพเคลื่อนไหว หรือ ใช้วิดีโอ ซึ่งหากออกแบบสื่อการเรียนรู้ไม่เหมาะสม ข้อมูลอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกันทำให้ผู้เรียนต้องแยกความสนใจไปยังข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อประมวลผลข้อมูลเหล่านั้นในสมอง ผู้เรียนจำเป็นต้องใช้เวลามากขึ้นในการเรียนรู้เนื่องจากเกิดภาระทางปัญญาสูงขึ้น หรือหากภาระทางปัญญาสูงจนถึงขั้นภาวะสมองตัน ผู้เรียนจะไม่สามารถประมวลผลข้อมูลที่ได้รับเข้ามาได้ เป็นผลให้การเรียนรู้ล้มเหลวหรือมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้น การออกแบบสื่อการเรียนรู้

ที่ลดการประมวลผลข้อมูลที่มาจากรายละเอียดต่าง ๆ แหล่งจะลดการใช้ความจำขณะทำงานเนื่องจากภาระทางปัญญาลดลง ส่งผลให้มีทรัพยากรเหลือสำหรับเรียนรู้ต่อไป

หลักการลดการแยกความสนใจ (Split-attention Principle)

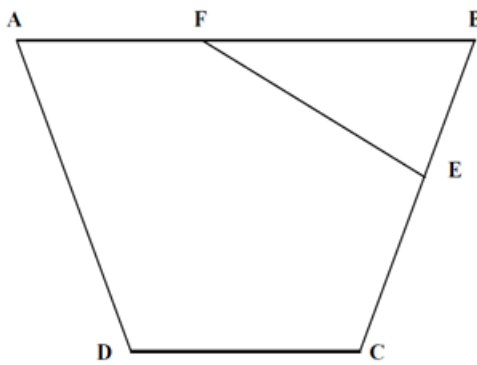
Sweller (2020) ได้ให้คำอธิบายการแยกความสนใจว่า จะเกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนต้องประมวลผลสารสนเทศที่หลากหลายพร้อมกันและบูรณาการสารสนเทศเหล่านั้นเพื่อสร้างความ

เข้าใจที่ครอบคลุม ตัวอย่างของสารสนเทศที่นำไปสู่การแยกความสนใจ เช่น ภาพเรขาคณิตและข้อความอธิบายวิธีการคำนวณมุมที่อยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน (Ayes & Sweller, 2005) ในสถานการณ์เช่นนี้ ผู้เรียนจำเป็นต้องเชื่อมโยงสารสนเทศที่เป็นภาพเรขาคณิตและวิธีการคำนวณเข้าด้วยกัน ซึ่งบางครั้งผู้เรียนต้องค้นหาว่ามุมที่กำลังอธิบายนั้นอยู่ตรงส่วนใดของภาพเรขาคณิต ส่งผลให้ผู้เรียนมีภาระทางปัญญาสูงขึ้นจากการแยกความสนใจของสารสนเทศที่จัดวางในตำแหน่งที่ต่างกัน ยกตัวอย่างการแยกความสนใจในสื่อการเรียนรู้ดัง Figure 3

Figure 3

Split-Attention in a Geometry Problem (modified from Ayres & Sweller, 2005)

การแยกความสนใจในโจทย์เรขาคณิต



วิธีทำ

มุมตรงข้ามมุม BCD มีค่าเท่ากับ $180^\circ - 110^\circ = 70^\circ$ (ผลรวมมุมบนเส้นตรงมีค่าเท่ากับ 180°)

มุม FBE มีค่าเท่ากับ 70° (มุมแย้งของเส้นขนานจะมีขนาดมุมเท่ากัน)

มุม BFE มีค่าเท่ากับ $180^\circ - 50^\circ - 70^\circ = 60^\circ$ (ผลรวมมุมภายในสามเหลี่ยมเท่ากับ 180°)

คำสั่ง: ให้หาค่าของมุม BFE โดยที่
เส้นตรง AB ขนานกับ เส้นตรง DC
มุม BCD เท่ากับ 110°
มุม BEF เท่ากับ 50°

จาก Figure 3 ตัวอย่างโจทย์คณิตศาสตร์เรื่อง เรขาคณิต จะพบว่า ผู้เรียนจะต้องแบ่งความสนใจไปยังสารสนเทศที่เป็นทั้งข้อความหรือรูปภาพที่อยู่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน โดยตัวอย่างได้แยกในส่วนของภาพ และ ส่วนแสดงวิธีทำออกจากกัน ส่งผลให้ผู้เรียนจะต้องทำความเข้าใจโดยการบูรณาการสารสนเทศทั้ง 2 ส่วนเข้าด้วยกัน โดยผู้เรียนจะต้องทำความเข้าใจข้อความ “เส้นตรง AB ขนานกับ เส้นตรง DC” และต้องกลับมามองที่รูปภาพเพื่อหาว่าเส้นตรง AB และ DC ที่ขนานกันอยู่ตรงไหน นอกจากนั้น ผู้เรียนจะต้องทำความเข้าใจข้อความในส่วนของวิธีทำ 2 บรรทัดถัดมาที่จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับมุมภายในของเส้นตรงที่ขนานกันเท่ากับ 180° ดังนั้น จะคำนวณมุม FBE ได้โดยการนำมุม 180° ลบด้วย 110° ซึ่งจะได้ว่ามุม FBE มีค่า

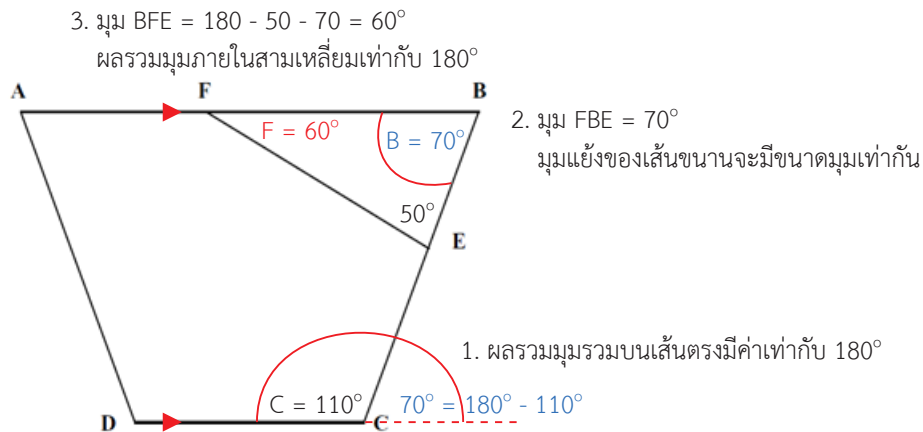
เท่ากับ 70° หลังจากนั้น เมื่อผู้เรียนทราบว่ามุม FBE เท่ากับ 70° มุม BEF เท่ากับ 50° จะสามารถหามุม BFE ได้โดยนำความรู้เดิมที่ว่า มุมภายในของรูปสามเหลี่ยมเท่ากับ 180° ดังนั้น มุม BFE จะหาได้จาก $180^\circ - 70^\circ - 50^\circ = 60^\circ$ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผู้เรียนจะต้องแยกความสนใจไปยังข้อความและรูปภาพและบูรณาการกับความรู้เดิมเพื่อหาคำตอบ ถ้าผู้เรียนยังเป็นมือใหม่หรือยังไม่คุ้นเคยกับเนื้อหาจะทำให้ผู้เรียนไม่เข้าใจหรือต้องใช้ความคิดมากขึ้น

การลดการเกิดการแยกความสนใจทำได้โดยการบูรณาการสารสนเทศที่มาจากหลาย ๆ แหล่งเข้าด้วยกัน จากตัวอย่างเรื่อง เรขาคณิตที่ได้กล่าวมาแล้ว สามารถบูรณาการข้อความและภาพเข้าด้วยกัน แสดงดัง Figure 4

Figure 4

Integrated Worked Example of a Geometry Problem (modified from Ayres & Sweller, 2005)

บูรณาการตัวอย่างโจทย์เรขาคณิต



จาก Figure 4 ได้ปรับปรุงตำแหน่งของข้อมูลโจทย์ให้มาเขียนไว้ในรูปภาพ ดังนี้ “เส้นตรง AB และ DC ขนานกัน” แทนด้วยสัญลักษณ์ลูกศรบนเส้นตรงทั้งสอง “มุม BEF เท่ากับ 50° ” และ “มุม BCD เท่ากับ 110° ” มาเขียนไว้ที่ตำแหน่งของมุมนั้น ๆ ต่อมาขั้นตอนวิธีทำได้เขียนไว้ในรูปภาพเช่นกันตามลำดับ การคำนวณ คือ 1) คำนวณมุมตรงกันข้ามกับมุม C จะได้เท่ากับ $180 - 110 = 70^\circ$ 2) จะทราบมุม B จากสมบัติมุมแย้ง จะได้เท่ากับ 70° และ 3) เมื่อทราบมุม B จากการคำนวณ และมุม E จากที่โจทย์ให้มา ขั้นตอนที่ 3 คือ คำนวณมุม F จากความรู้เดิมเกี่ยวกับผลรวมมุมภายในสามเหลี่ยมเท่ากับ 180° จะได้ว่า $BFE = 180 - 50 - 70 = 60^\circ$ ซึ่งจะเห็นว่าผู้เรียนจะลดการค้นหาที่ไม่จำเป็นเนื่องจากสื่อการเรียนรู้ได้ออกแบบให้บูรณาการข้อมูลเข้าด้วยกันส่งผลให้การระทางปัญญาภายนอกลดลง

นอกจากนั้น ยังมีตัวอย่างการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่อยู่ในรูปแบบข้อความเกี่ยวกับการแก้โจทย์ปัญหาทางฟิสิกส์เรื่องความเร็ว (Ward & Sweller, 1990) ดัง Figure 5a ที่มีรูปแบบการแสดงวิธีทำที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไปในหนังสือกล่าวคือ จะมีส่วนของโจทย์ปัญหาและส่วนของการแสดงวิธีทำที่แสดงสมการและขั้นตอนการคำนวณที่ละบรรทัด ดังนั้นผู้เรียนจะต้องบูรณาการตั้งแต่โจทย์ปัญหาสิ่งที่โจทย์ให้มาสมการและขั้นตอนการคำนวณซึ่งต้องแยกความสนใจเนื่องจากแต่ละข้อมูลอยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน ในทางกลับกัน Figure 5b ได้ปรับปรุงเพื่อลดการเกิดการแยกความสนใจ โดยหลักสำคัญคือการนำตัวแปร เช่น ความเร็ว (v) วางไว้หลังจากค่าความเร็วเพื่อลดการค้นหาและการอ้างอิงถึงตัวแปร และการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ต่อไป

Figure 5

Split-Attention in a Physics Problem (modified from Ayres & Sweller, 2005)

การแยกความสนใจในโจทย์ฟิสิกส์

5a)

รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่งไปสู่ความเร็ว 40 เมตรต่อวินาที ในเวลา 20 วินาที ให้ความเร็วของรถยนต์คันนี้ ความเร็วต้น = 0 เมตรต่อวินาที, ความเร็ว = 40 เมตรต่อวินาที, เวลา = 20 วินาที โดยที่

u = ความเร็วต้น	$v = u + at$
v = ความเร็ว	$v - u = at$
t = เวลา	$a = (v - u)/t$
a = ความเร่ง	$a = (40-0)/20$

5b)

รถยนต์คันหนึ่งเคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง ($u = 0$) ไปสู่ความเร็ว ($v = 40\text{m/s}$) ในเวลา 20 วินาที ($t = 20$):
 $v = u + at$, $v - u = at$, $a = (v - u)/t$, $a = (40 - 0)/20$,
 $a = 2 \text{ m/s}^2$. ให้ความเร็วของรถยนต์คันนี้

จากตัวอย่างที่กล่าวมาผู้เรียนจะมีภาระทางปัญญาสูงขึ้นเนื่องจากเกิดการแยกรความสนใจไปยังสารสนเทศตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไป ส่งผลให้ผู้เรียนที่มีความรู้เดิมน้อยจะไม่สามารถทำความเข้าใจสารสนเทศที่น่าเสนอได้และมีประสิทธิภาพในการเรียนลดลง ดังนั้น จึงอาจสรุปขั้นตอนการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่ลดการเกิดการแยกรความสนใจ ได้ดังนี้

1. ลดจำนวนแหล่งข้อมูล นำเสนอเนื้อหาที่ละน้อย เน้นประเด็นสำคัญ ใช้สื่อการสอนที่หลากหลาย เช่น ข้อความ เสียง รูปภาพ หรือ วิดีโอ เป็นต้น

2. ลดความซับซ้อนของแหล่งข้อมูล โดยใช้องค์ประกอบ การออกแบบที่เรียบง่ายใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย จัดระเบียบเนื้อหา

อย่างเป็นระบบ

3. จัดลำดับความสำคัญของแหล่งข้อมูล โดยเน้นเนื้อหาที่สำคัญที่สุด ใช้ตัวช่วยบอกลำดับความสำคัญ เช่น ตัวอักษร หรือ ตัวเลข เป็นต้น

4. เชื่อมโยงแหล่งข้อมูล โดยอธิบายความสัมพันธ์ของเนื้อหาหรือการใช้ตัวอย่างประกอบ

เพื่อให้เกิดความเข้าใจที่มากขึ้นจะขอนำเสนอตัวอย่าง การออกแบบสื่อการเรียนรู้โดยใช้หลักการลดการแยกรความสนใจ โดยมีเนื้อหาเกี่ยวกับคำศัพท์ภาษาอังกฤษที่แสดงดัง Figure 6

Figure 6

Reducing Split-attention in English Vocabulary
การลดการแยกรความสนใจในศัพท์ภาษาอังกฤษ

6a) ตารางคำศัพท์ภาษาอังกฤษ

คำศัพท์	คำอ่าน	ความหมาย
Tiger	ไท่เกอะ	เสือ

6b) การลดการแยกรความสนใจในศัพท์ภาษาอังกฤษ



จาก Figure 6a จะพบว่า การที่ผู้เรียนจะเข้าใจคำศัพท์ต้องแบ่งความสนใจไปยัง 3 ส่วน ได้แก่ ช่องคำศัพท์ คำอ่าน และความหมาย จากนั้นผู้เรียนจะบูรณาการสารสนเทศทั้งหมดเข้าด้วยกัน เช่น คำว่า Tiger ออกเสียงว่า ไท่เกอะ และมีความหมายว่า เสือ นอกจากนั้น ผู้เรียนจะต้องนำความรู้เดิมมาเชื่อมโยงกับคำศัพท์ที่เรียนรู้อีก เสือมีลักษณะเป็นอย่างไร เพื่อที่จะสามารถบันทึกคำศัพท์นี้ลงในความจำระยะยาวได้ ดังนั้น จะเห็นว่าเมื่อผู้เรียนพบกับคำศัพท์ที่ไม่คุ้นเคยและยากผู้เรียนจะต้องใช้ความพยายามและจะเกิดภาระทางปัญญาที่สูงขึ้น ซึ่งการลดปัญหานี้สามารถใช้หลักการลดการแยกรความสนใจ มาปรับปรุงสื่อการเรียนรู้ของคำศัพท์ภาษาอังกฤษ แสดงดัง Figure 6b โดยลดจำนวนแหล่งข้อมูลจาก 3 แหล่ง คือ จากตารางช่องคำศัพท์ คำอ่าน และความหมายเหลือ 2 แหล่ง คือ คำศัพท์และภาพ ที่แสดงถึงความหมายของคำศัพท์ จากนั้นลดความซับซ้อน

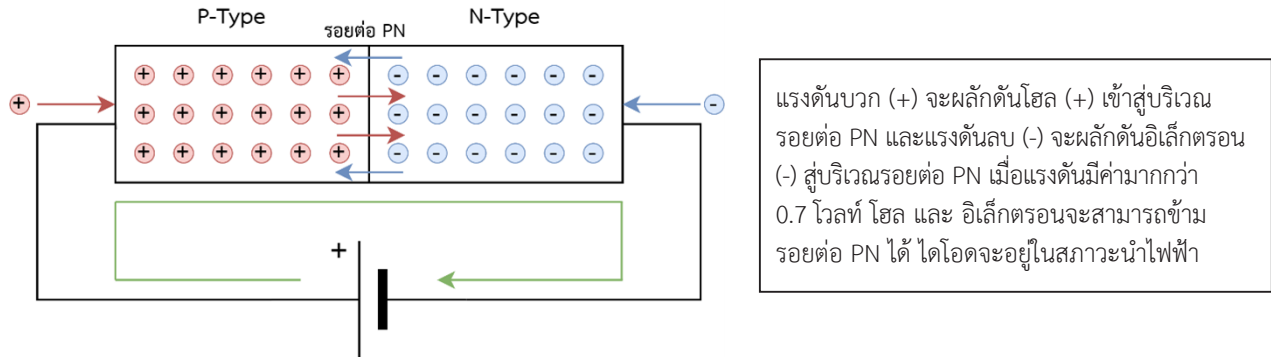
ของแหล่งข้อมูลของคำอ่านที่เปลี่ยนการออกเสียงภาษาอังกฤษที่มีการสะกดที่ยากและซับซ้อน ดังนั้น จึงเปลี่ยนจากคำอ่านเป็นเสียง เพื่อให้ผู้เรียนได้ยินเสียงคำอ่านที่ถูกต้องไปพร้อมกับการเห็นคำศัพท์ หลังจากผู้เรียนได้รับคำศัพท์ คำอ่าน และความหมายเข้าไปในความจำระยะทำงานแล้ว การจะให้ผู้เรียนบันทึกลงในความจำระยะยาวจะต้องเชื่อมโยงคำศัพท์เข้ากับความรู้เดิมของผู้เรียน เช่น อาจจะเล่าเรื่องเสือที่ผู้เรียนเคยเห็นหรือรู้จักจากประสบการณ์เดิมของผู้เรียน

อีกหนึ่งตัวอย่างการออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่ลดการแยกรความสนใจที่เป็นกระบวนการหรือเป็นขั้นตอนจะต้องจัดลำดับแหล่งข้อมูลโดยอาจจะใช้ตัวเลขเพื่อบอกลำดับความสำคัญหรือลำดับกระบวนการที่เกิดขึ้น ดังตัวอย่างสื่อการเรียนรู้ที่อธิบายการทำงานของไดโอดที่ได้รับการไบอัสตรงที่แสดงดัง Figure 7

Figure 7

Split-Attention in Diode Forward Bias

การลดการแยกความสนใจในการไบอัสตรงของไดโอด



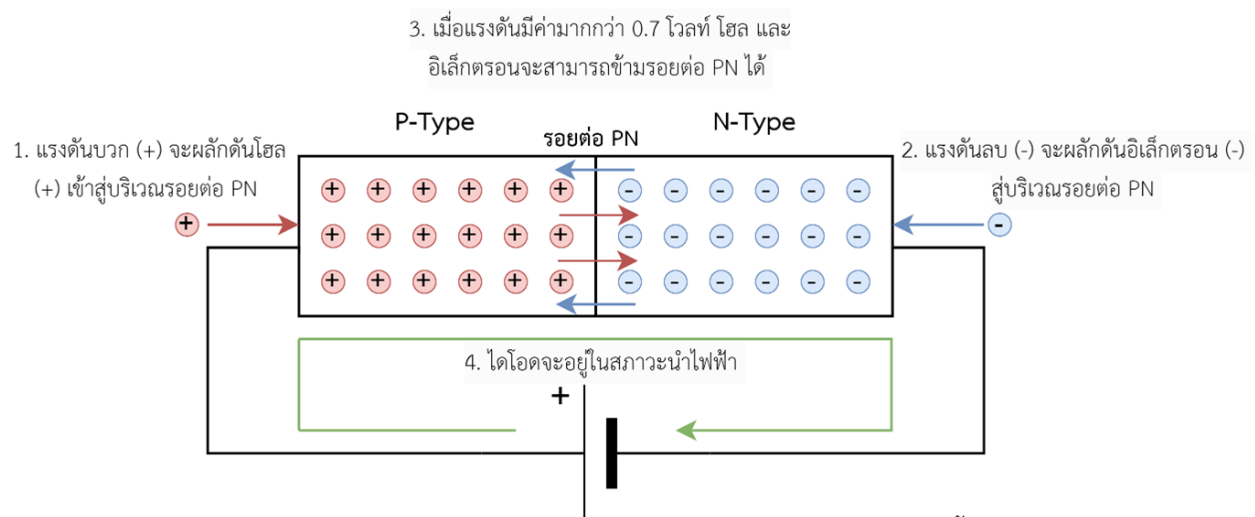
จาก Figure 7 จะพบว่า มีแหล่งข้อมูลอยู่ 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นภาพและข้อความอธิบายการทำงานของไดโอดที่ได้รับไบอัสตรง เริ่มต้นผู้เรียนจะต้องบูรณาการข้อความและภาพเข้าด้วยกันเพื่อทำความเข้าใจการทำงานของไดโอดว่า เมื่อมีแรงดันบวกทางฝั่งซ้ายของภาพจะผลักโฮล (+) ของด้าน P-type ไปทางด้านขวา และแรงดันลบ (-) จะผลักดันอิเล็กตรอน (-) ของด้าน N-type ไปทางด้านขวาสู่บริเวณรอยต่อ PN และเมื่อแรงดันมีค่ามากกว่า 0.7 โวลต์ทั้ง โฮล (+) และ อิเล็กตรอน (-)

จะสามารถข้ามผ่านรอยต่อ PN ทำให้ไดโอดอยู่ในสภาวะนำไฟฟ้าได้ ซึ่งจะเห็นว่าผู้เรียนจะเกิดภาระทางปัญญาสูงขึ้นจากการเกิดการแยกความสนใจ ดังนั้น การออกแบบเพื่อแก้ปัญหานี้ทำโดยการลดแหล่งข้อมูลลง โดยบูรณาการภาพและข้อความเข้าด้วยกัน จากนั้นลดความซับซ้อนของแหล่งข้อมูลโดยแบ่งข้อมูลออกเป็นชั้นเพื่อจัดลำดับความสำคัญของแหล่งข้อมูลโดยใช้ตัวเลข ซึ่งสื่อการเรียนรู้ที่ได้ปรับปรุงแสดงดัง Figure 8

Figure 8

Reducing Split-Attention in Diode Forward Bias

การลดการแยกความสนใจในการไบอัสตรงของไดโอด



ผลกระทบของหลักการลดการแยกความสนใจต่อการออกแบบสื่อการเรียนรู้ (Implications of Split-Attention for Learning Media Design)

ภาระทางปัญญาจะเกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนรับเนื้อหาหรือสารสนเทศเข้าไปในความจำขณะทำงานเพื่อจัดหมวดหมู่หรือบูรณาการกับความรู้เดิมเพื่อสร้างเป็นความเข้าใจและบันทึกลงในความจำระยะยาว แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของความจำ

ขณะทำงาน หากสารสนเทศนั้นออกแบบมาไม่เหมาะสม เช่น ผู้เรียนไม่เกิดความสนใจ มีปริมาณมากเกินไป หรือ สารสนเทศมาจากหลาย ๆ แหล่ง จะทำให้ผู้เรียนเกิดภาระทางปัญญาที่สูงขึ้นจนไม่สามารถทำความเข้าใจกับสารสนเทศที่ได้ ดังนั้น ผู้สอนจึงต้องออกแบบเนื้อหาหรือสารสนเทศให้เหมาะสมกับการประมวลผลของผู้เรียน โดยเฉพาะสารสนเทศที่มาจากหลาย ๆ แหล่ง จนเกิดการแยกความสนใจ ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้เรียน

เมื่อเผชิญกับการเกิดการแยกความสนใจนั้นแสดงให้เห็นว่า ผู้เรียนจะต้องค้นหาสารสนเทศที่ไม่จำเป็นและใช้ความพยายามทำความเข้าใจสารสนเทศที่ปรากฏอยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ โดยการบูรณาการในสมองเพื่อสร้างความเข้าใจ โดยได้มีหลักฐานจากงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าการลดเกิดการแยกความสนใจ จะช่วยให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การบูรณาการสารสนเทศเพื่อลดการแยกความสนใจอาจจะไม่เหมาะสมกับทุกสื่อการเรียนรู้ ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ หลีกเลี่ยงการนำข้อความทั้งหมดใส่ลงในภาพเพียงอย่างเดียว เพราะอาจจะส่งผลเสียต่อการเรียนรู้ด้วยซ้ำ ดังนั้น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ก่อนนำเสนอแบบบูรณาการจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งหลักการนี้ เหมาะกับสื่อการเรียนการสอนที่มีความสัมพันธ์ระหว่าง องค์ประกอบสูง (High element interactivity material) (Ayres & Sweller, 2005) ดังตัวอย่างการบอกมุมของภาพหลายเหลี่ยม เป็นต้น ซึ่งหากความสัมพันธ์ขององค์ประกอบมีความสัมพันธ์กันน้อยก็อาจไม่จำเป็นต้องนำเสนอแบบบูรณาการ เนื่องจากผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่ายแม้จะนำเสนอสารสนเทศจากหลาย ๆ แหล่ง นอกจากนี้ อาจพิจารณาหลักการอื่น ๆ มาร่วมในการออกแบบ เช่น การลดความซ้ำซ้อน (Redundancy effect) หรือการใช้สื่อผสมลดภาระ (Modality effect) เป็นต้น

บทสรุป (Summary)

ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสื่อการเรียนรู้ ที่ลดภาระทางปัญญาด้วยหลักการลดการแยกความสนใจ โดยได้เริ่มอธิบายตั้งแต่การรับสารสนเทศเข้ามาประมวลผล ด้วยทฤษฎีประมวลสารสนเทศที่กล่าวถึงความจำของมนุษย์ที่ ประกอบไปด้วย บันทึกลับระยะสั้นหรือความจำระยะสั้น และความจำระยะยาว ซึ่งในขณะที่ประมวลสารสนเทศนั้น จะเกิดการะทางปัญญาเนื่องจากความจำระยะสั้นของมนุษย์มีข้อจำกัดในด้านปริมาณและเวลา นอกจากนี้ การออกแบบสื่อการเรียนรู้ที่ไม่เหมาะสม ที่ผู้เรียนต้องแยกความสนใจไปยังข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน จะทำให้ผู้เรียนเกิดการะทางปัญญาสูงขึ้นด้วย เนื่องจากผู้เรียนต้องใช้ความพยายามในการรวบรวมสารสนเทศและทำความเข้าใจภายในสมอง ซึ่งอาจทำให้ผู้เรียนที่มีความรู้เดิมน้อยใช้ความพยายามสูงขึ้นจนเกิดภาวะสมองตันและไม่สามารถทำความเข้าใจสารสนเทศที่นำเสนอได้ ส่งผลให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้น การออกแบบสื่อการเรียนรู้จะต้องคำนึงถึงปริมาณของสารสนเทศที่นำเสนอในแต่ละครั้ง ไม่ให้เกินข้อจำกัดของความจำระยะสั้น นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงตำแหน่งการวางของสารสนเทศที่ปรากฏ โดยการใช้หลักการลดการแยกความสนใจ มาร่วมออกแบบสื่อการเรียนรู้ ที่ลดจำนวนแหล่งข้อมูลให้มีเฉพาะข้อมูลที่สำคัญ และออกแบบให้สารสนเทศที่สัมพันธ์กัน

หรือเกี่ยวข้องกันอยู่ใกล้กันมากที่สุด เช่น จัดวางรูปภาพและคำอธิบายอยู่ใกล้กัน เพื่อหลีกเลี่ยงการแยกความสนใจไปยังจุดต่าง ๆ และผู้เรียนจะสามารถบูรณาการสารสนเทศเหล่านั้น ได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งสำหรับการออกแบบสื่อการเรียนรู้ ให้มีประสิทธิภาพและพัฒนาผู้เรียนได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง (References)

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence, & J. T. Spence (Eds.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 89-195). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 135-146). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.009>
- Chaijaroen, S. (2016). *Educational technology: Theoretical principles into practice*. Penprinting.
- Clark, R. C., Nguyen, F., Sweller, J., & Baddeley, M. (2006). Efficiency in learning: Evidence-based guidelines to manage cognitive load. *Performance Improvement*, 45(9), 46-47. <https://doi.org/10.1002/pfi.4930450920>
- de Koning, B. B., Rop, G., & Paas, F. (2020). Effects of spatial distance on the effectiveness of mental and physical integration strategies in learning from split-attention examples. *Computers in Human Behavior*, 110, Article 106379. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106379>
- Klausmeier, H. J. (1985). *Educational psychology* (5th ed.). Harper & Row.
- Liu, Y., Jang, B. G., & Roy-Campbell, Z. (2018). Optimum input mode in the modality and redundancy principles for university ESL students' multimedia learning. *Computers & Education*, 127(3), 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.08.025>
- Lutz, S., & Huitt, W. (2018). Information processing and memory: Theory and applications. In W. Huitt (Ed.), *Becoming a Brilliant Star: Twelve core ideas supporting holistic education* (pp. 25-43). IngramSpark. <http://www.edpsycinteractive.org/papers/2018-02-lutz-huitt-brilliant-star-information-processing.pdf>
- Michael, T., Sebastian, K., Martin, P. S., Fabian, B., Paul L., & Jochen, K. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108(106316), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Rey, G. D., Beege, M., Nebel, S., Wirzberger, M., Schmitt, T. S., & Schneider, S. (2019). A meta-analysis of the segmenting effect. *Educational Psychology Review*, 31, 389-419. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9456-4>
- Renkl, A. (2005). The worked-out examples principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 229-246). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.016>
- Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 19-30). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819.003>
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). Intrinsic and extraneous cognitive load. In J. M. Spector, & S. P. Lajoie (Eds.), *Cognitive load theory* (pp 57-69). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8126-4_5
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive architecture and instructional design: 20 Years later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261-292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, Article 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>
- Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving, & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381-403). Academic Press.
- Ward, M., & Sweller, J. (1990). Structuring effective worked examples. *Cognition and Instruction*, 7(1), 1-39. https://doi.org/10.1207/s152690xc0701_1