



2

Augmented Reality : เติมชีวิตให้สื่อสิ่งพิมพ์ทางการศึกษา Augmented Reality : Bringing Life to Educational Publications

ณัฐญา นาคะสันต์ และ ศุภรางค์ เรืองวานิช
Nataya Nakasan and Supparang Ruangvanich



Augmented Reality : เติมชีวิตให้สื่อสิ่งพิมพ์ทางการศึกษา

Augmented Reality :
Bringing Life to Educational Publications

ณัฐญา นาคะสันต์¹ และ ศุภรางค์ เรืองวานิช²
Nataya Nakasan and Supparang Ruangvanich

บทคัดย่อ

Augmented Reality เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจและมีการนำมาใช้อย่างหลากหลาย ด้วยความสามารถในการนำข้อมูลและเนื้อหาแบบดิจิทัลที่สร้างไว้มาซ้อนทับกับโลกความเป็นจริงได้อย่างกลมกลืนเสมือนเป็นการแสดงข้อมูลที่ถูกซ่อนเร้นอยู่ให้ปรากฏขึ้นตามที่ผู้สร้างต้องการ ทำให้การรับรู้ข้อมูลและเนื้อหาไม่ถูกจำกัดอยู่เพียงสิ่งที่มองเห็นอยู่ตรงหน้าอีกต่อไป และเมื่อนำ Augmented Reality มาประยุกต์ใช้กับการศึกษา โดยเฉพาะสื่อหลักของการเรียนการสอนคือ แบบเรียน ทำให้แบบเรียนซึ่งเป็นสิ่งพิมพ์ธรรมดากลายเป็นแบบเรียนที่น่าสนใจ ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ที่ต่างไปจากเดิม สามารถนำความรู้นอกห้องเรียนมาสูในห้องเรียนได้ จึงใจผู้เรียนให้อยู่กับแบบเรียนที่ไม่ใช่เป็นเพียงแค่กระดาษที่มีไว้อ่าน แต่สามารถโต้ตอบและมีส่วนร่วมกับบทเรียนเสมือนเป็นบทเรียนที่มีชีวิต

คำสำคัญ : ความเป็นจริงเสริม; สื่อสิ่งพิมพ์ทางการศึกษา; เทคโนโลยีการศึกษา

Abstract

Augmented reality is interesting and widely used due to its ability to lay data and digital content over the physical world. Even hidden

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
nataya.pu@gmail.com

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีมีเดีย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
supparang.r@chandra.ac.th

content could be seamlessly displayed to the users as required, freeing perception of data and content beyond the visible objects. Augmented reality could be used in education to supplement the textbooks which are the main media of teaching, turning them into interesting media. As a result, the learners could receive new experiences, bring external knowledge into the classroom, be enticed to study the rich content beyond mere paper, and interact with the lessons as if they were alive.

Keywords : Augmented Reality ; Educational Printed Media ; Educational Technology

บทนำ

เทคโนโลยีช่วยให้การใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์มีความสะดวกสบาย เห็นได้จากการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้อย่างหลากหลาย เช่น การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ทางการคมนาคม ทำให้มีรถไฟความเร็วสูงที่ช่วยให้สามารถเดินทางได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว การนำมาประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ ช่วยให้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ทันสมัยในการวินิจฉัยและรักษาโรค การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ทางการพิมพ์ ทำให้สิ่งพิมพ์มีความสวยงามมากขึ้นจากระบบการพิมพ์พื้นนูน (relief printing) มาสู่ระบบการพิมพ์แบบออฟเซ็ท (offset printing) หรือระบบการพิมพ์พื้นราบ นอกจากนี้ ยังมีการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ทางการศึกษา เพื่อช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตลอดชีวิต ซึ่งเทคโนโลยีการศึกษาก็มีพัฒนาการทั้งรูปแบบ วิธีการ ตลอดจนประโยชน์ของการนำไปใช้ที่สอดคล้องกับยุคสมัยเหมาะสมกับผู้เรียนและสภาพแวดล้อมการเรียนรู้

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาหนังสือในรูปแบบของไฟล์อิเล็กทรอนิกส์เรียกว่า หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ หรือ อีบุค (e-Book) โดยมีทั้งการทำเป็นสำเนาของหนังสือเล่ม หรือพัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะในหลายวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อการศึกษา หรือเพื่อการพาณิชย์ เป็นต้น หนังสืออิเล็กทรอนิกส์มีลักษณะการบันทึกข้อมูลในรูปแบบไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ (electronic file) ในหลายรูปแบบไฟล์ (file format) ซึ่งผู้อ่านสามารถอ่านผ่านเครื่องอ่านประเภทต่างๆ เช่น พีซี (PC), พีดีเอ (PDA), โน้ตบุค (notebook) เครื่องอ่านเฉพาะที่เรียกว่า อีบุคดีไวซ์ (e-Book device หรืออีบุครีดเดอร์ (e-Book reader)



เป็นต้น (ณัฐญา นาคะสันต์, 2553) จุดเด่นของหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ คือ สามารถพกพาได้สะดวกเพราะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ (file) มีภาพเคลื่อนไหว เสียงบรรยาย สามารถมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อ่านได้ ตลอดจนสามารถวัดประเมินผลผู้เรียนและผู้เรียนสามารถทราบผลการเรียนได้ทันทีหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว และด้วยเหตุที่หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีรูปลักษณะเหมือนหนังสือเล่มแต่อยู่ในรูปแบบของไฟล์ และไม่จำเป็นต้องผ่านกระบวนการพิมพ์อีกต่อไป ทำให้การนำกระดาษมาใช้ในการกิจการพิมพ์ลดลง ซึ่งส่งผลดีต่อการรักษาทรัพยากรป่าไม้อันเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตกระดาษได้ และเมื่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ก็ส่งผลให้ยอดขายสิ่งพิมพ์ของหลายสำนักพิมพ์เริ่มลดลง สำนักพิมพ์จึงปรับกลยุทธ์โดยเพิ่มรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่เคยมีเพียงสิ่งพิมพ์ที่พิมพ์ด้วยกระดาษเป็นหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ที่ผู้บริโภคสามารถหาซื้อได้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต หรือการบริการการเป็นสมาชิกของหนังสือพิมพ์รายวันแบบออนไลน์ เพื่อชดเชยรายได้จากการขายหนังสือพิมพ์รายวันที่ผลิตจากกระดาษ

การพัฒนาของเทคโนโลยียังคงดำเนินอย่างต่อเนื่องตามบริบทโลก ความพยายามในการตอบสนองความต้องการของมวลมนุษยชาติที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด ส่งผลให้เกิดการนำเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ ตลอดจนเมื่อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์หมดความใหม่ (newness) การแสวงหาทางเลือกอื่นๆ ก็เริ่มขึ้นก่อให้เกิดการพัฒนาแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ (application software) ที่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ในการถ่ายทอดข้อมูลและนำเสนอข้อมูลที่ต้องการในรูปแบบใหม่ผ่านเทคโนโลยีที่เรียกว่า Augmented Reality หรือใช้คำย่อว่า AR

ความหมาย

AR เป็นเทคโนโลยีที่เริ่มได้รับการกล่าวถึงในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2552 ซึ่งสอดคล้องกับพัฒนาการของเทคโนโลยีสมาร์ทโฟนที่เริ่มมีหน่วยประมวลผลรวดเร็วตามความต้องการของโปรแกรมลักษณะนี้ ที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตตลอดเวลา และอุปกรณ์เสริมต่างๆ ที่จำเป็น เช่น กล้องถ่ายภาพ เซ็นเซอร์ อุปกรณ์รับพิกัดดาวเทียม (GPS) ครอบถั่ว (อิสริยะ ไพรีพายุฤทธิ์, 2553) และทำให่วงการโฆษณาเกิดความตื่นตัวที่จะนำมาใช้เป็นเครื่องมือทางการตลาดจนมีการสร้างคำขึ้นใหม่ว่า ARvertising ซึ่งมาจากคำว่า Augmented Reality + Advertising (เอกวสา สุขสง, 2553)

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน (2544 : ออนไลน์) ได้ให้ความหมายคำว่า Augmented Reality ว่าหมายถึง ความเป็นจริงเสริม

Merriam-Webster (ออนไลน์) ได้อธิบายความหมายของคำว่า Augmented Reality หมายถึง การเสริมความจริง ที่สร้างขึ้นโดยการใช้เทคโนโลยีเพื่อซ้อนทับ ข้อมูลดิจิทัลบนภาพของสิ่งต่างๆ ที่ถูกมองผ่านอุปกรณ์ (เช่น กล้องของสมาร์ทโฟน)

AR เป็นการนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาช่วยในการแสดงข้อมูลและเนื้อหา แบบดิจิทัลในรูปแบบของชั้น (layer) ของข้อมูลและเนื้อหาที่ซ้อนอยู่ และจะแสดงผลซ้อนทับกับข้อมูลที่เป็นจริง โดยระบบจะดาวน์โหลดข้อมูลไว้ในแบบของภาพนิ่ง ภาพสามมิติ (3D) ภาพเคลื่อนไหว ที่อาจมีทั้งเสียงประกอบและไม่มีเสียงประกอบ จากนั้นจะแสดงผลสิ่งที่ดาวน์โหลดไว้ในรูปแบบของภาพดิจิทัล (digital) ซึ่งเป็นความจริงเสริมจะมาซ้อนทับกับความเป็นจริง (real) ในขณะนั้น ทั้งนี้ขึ้นกับการออกแบบว่าต้องการนำเสนอแบบใด โดยเทคโนโลยี AR จะแสดงผลผ่านอุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งโปรแกรมประยุกต์เฉพาะซึ่งมีหลักการทำงาน 2 ส่วนหลัก สรุปดังนี้

1. หลักของ AR คือระบบการจัดส่งเนื้อหา (content) ได้หลายช่องทาง (channel) (Baya & Null. online) โดยแอปพลิเคชันจำเป็นต้องตรวจสอบสภาพของโลกทางกายภาพ (physical world) และการตรวจสอบสภาพปัจจุบันของโลกเสมือนจริง (virtual world) (Craig, 2013 : 39) เนื้อหา รวมถึงข้อมูลที่ต้องการนำเสนอ สามารถสร้างได้ทั้งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน (smart phone) และแท็บเล็ต (tablet) โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ (application program) ได้หลายโปรแกรมในการสร้าง เช่น หากต้องการให้แสดงข้อมูล และเนื้อหาแบบ 3 มิติ ก็ใช้โปรแกรมออกแบบ 3 มิติ แต่หากต้องการนำเสนอเนื้อหาในรูปแบบของวิดีโอ ก็สามารถใช้สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ตบันทึกไว้ จากนั้นนำไปตัดต่อด้วยโปรแกรมสำหรับตัดต่องานวิดีโอ โปรแกรมในการตัดต่อเสียง เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการและความถนัดของผู้พัฒนาว่าต้องการพัฒนาสื่อในรูปแบบใด

2. ความต้องการของแอปพลิเคชันในนำเสนอ (display) ของโลกเสมือน ผ่านโลกของความจริงในลักษณะร่วมกัน ที่ทำให้เกิดความรู้สึกว่าองค์ประกอบของโลกเสมือนเป็นส่วนหนึ่งของโลกแห่งความจริง (real world) (Craig, 2013 : 39) ซึ่งเป็นการนำเสนอชั้น (layer) ของเนื้อหาด้วยความสามารถของแอปพลิเคชันผ่านสมาร์ทโฟน (smart phone) หรือ แท็บเล็ต (tablet) โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ที่สามารถแสดงผลแบบความเป็นจริงเสริม (AR) ซึ่งโปรแกรมประยุกต์ที่ได้รับความนิยมได้แก่ Aurasma, Layar, Junaio, Blippar,



Sayduck, Wikitude และ Augmented - 3D Augmented Reality เป็นต้น ซึ่ง คิปเปอร์ และแรมโปลลา (Kipper & Rampolla, 2013 : 3) ได้สรุปคุณลักษณะของเทคโนโลยี AR ไว้ 3 ประการดังนี้

1. AR เป็นการผสมผสานระหว่างข้อมูลของความเป็นจริงและความเสมือน
2. AR มีปฏิสัมพันธ์แบบทันที (real time)
3. AR ดำเนินการและถูกใช้ในสภาพแวดล้อมแบบ 3 มิติ

ความน่าสนใจประการหนึ่งของการเลือกใช้เทคโนโลยี Augmented Reality การพัฒนาของโปรแกรมในปัจจุบัน ซึ่งหากได้มีการเรียกดูภาพ คลิป วิดีทัศน์ ฯลฯ ผ่านอุปกรณ์แล้ว อุปกรณ์จะทำการเก็บภาพหรือคลิปวีดิทัศน์นั้นไว้ในหน่วยความจำสำรองภายในอุปกรณ์ เรียกว่า กระบวนการ caching ทำให้สามารถดูซ้ำได้โดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตหรือสามารถใช้แบบออฟไลน์ (offline) ทั้งนี้ ขึ้นกับขนาดความจุของหน่วยความจำในอุปกรณ์ที่ใช้ด้วย ซึ่งการเก็บข้อมูลไว้ใน cache memory เป็นระบบซึ่งเรียกว่า เข้าก่อนออกก่อน (first in first out method) ดังนั้น หากระบบ caching มีข้อมูลเต็มเข้าตลอดเวลาคงเต็ม ข้อมูลชุดแรกก็จะถูกเลื่อนหายไป ข้อมูลชุดใหม่ก็จะเข้าแทนที่

ประเภทของเทคโนโลยี Augmented Reality

เทคโนโลยี AR ที่นำมาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน (Craig, 2013 : 16, Pokrić, 2015) แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Location-Based เป็นการใช้ระบบ “การระบุ” พิกัดในตัวเครื่องผ่านอุปกรณ์รับพิกัดจากดาวเทียม (GPS module) ของสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตที่มีระบบจีพีเอสในตัว ระบบจะทำการประมวลผลเพื่อแสดงตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ (location) ต่างๆ โดยอ้างอิงกับอุปกรณ์รับพิกัดจากดาวเทียม และ แอปพลิเคชันแผนที่ ซึ่งมีผู้กำหนดสถานที่ไว้ โดยหากมีการใส่ข้อมูลเกี่ยวกับเบอร์โทรศัพท์ ก็สามารถแตะ (touch) หน้าจอติดต่อผ่านโทรศัพท์ได้เลย โปรแกรมประยุกต์ประเภทนี้ เช่น โปรแกรม Layar หรือ World Browser และได้นำคุณสมบัติดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับเกมที่กำลังได้รับความนิยมในขณะนี้ได้แก่ เกมโปเกมอน โก (Pokémon Go)



ภาพที่ 1 การแสดงผลแบบ Location-Based ด้วยโปรแกรม Layar
https://www.youtube.com/watch?v=b64_16K2e08

2. Marker Based เป็นการใช้มาร์กเกอร์ในการแสดงผล โดยมาร์กเกอร์อาจสร้างเป็นรูปภาพ สัญลักษณ์ เป็นต้น เมื่อกล้องจากอุปกรณ์ทำการสแกนภาพนั้นผ่านแอปพลิเคชันและพบมาร์กเกอร์ ก็จะแสดงชั้นของเนื้อหาดิจิทัลตามที่สร้างไว้ เช่น การสร้าง QR Code เพื่อนำมาใช้เป็นมาร์กเกอร์ จากนั้นสร้างชั้นของข้อมูลเพื่อให้แสดงผล โดยอาจสร้างชั้นข้อมูลแบบ 2 มิติ ในรูปแบบของภาพถ่าย วิดีทัศน์ หรือชั้นของข้อมูลแบบ 3 มิติ เช่น การ์ตูน เมื่อนำอุปกรณ์มาสแกนผ่านแอปพลิเคชัน ก็จะปรากฏชั้นของข้อมูลที่สร้างไว้

³ สัญลักษณ์ของอักษร A ที่ปรากฏด้านขวามือแสดงถึงภาพดังกล่าวถูกสร้างให้เป็นมาร์กเกอร์ ผู้อ่านสามารถติดตั้งแอปพลิเคชัน Aurasma จากเว็บไซต์ www.aurasma.com ลงบนอุปกรณ์ เช่น สมาร์ทโฟนหรือแท็บเล็ต และค้นหาไอดี Nattaboonya และคลิกติดตาม จากนั้นทำการสแกนภาพดังกล่าวผ่านแอปพลิเคชัน จะสามารถเห็นข้อมูลหรือเนื้อหาที่เสริมขึ้นได้ ทั้งนี้ การปรากฏของภาพอาจใช้เวลานานเนื่องจากอยู่ในรูปแบบของไฟล์วิดีโอและอาจขัดข้องจากระบบการพิมพ์วารสารซึ่งอาจทำให้มาร์กเกอร์ไม่ชัดเจน แต่ผู้อ่านสามารถติดตามได้จาก 1) เว็บไซต์ www.aurasma.com จากนั้นค้นหาไอดี Nattaboonya จะพบภาพดังกล่าวและสามารถสแกนดูภาพตัวอย่างผ่านเว็บเช่นกัน 2) ดูวิดีโอต้นฉบับจาก url address ได้ภาพ



ภาพที่ 2 การแสดงผลแบบ Marker-Based

จากภาพเป็นการสร้าง AR แบบง่ายๆ โดยการใช้นามบัตรเป็นมาร์กเกอร์ และใช้ภาพ 3 มิติจากในแอปพลิเคชันมาซ้อนลงบนนามบัตร

3. Marker-less Based โดยนำวัตถุหรือสิ่งของมาใช้เป็นมาร์กเกอร์ แต่ควรเป็นวัตถุสิ่งของที่มีความคงที่ของรูปร่างรูปทรงและตำแหน่ง เพราะหากสิ่งของมีหลายชิ้นและมีความต่างกัน ระบบจะไม่สามารถประมวลผลได้



ภาพที่ 3 การแสดงผลแบบ Marker-less Based

จากภาพเป็นการใช้วัตถุได้แก่ ตึกตาแมววางบนแว่นตา และใช้ภาพ 3 มิติจาก แอปพลิเคชันซ้อนลงบนตึกตา ภาพซ้ายมือ ได้แก่ ภาพมาร์กเกอร์ที่ปรากฏขึ้นบนระบบ ส่วนภาพขวามือคือ เมื่อใช้สมาร์ตโฟนส่องผ่านแอปพลิเคชันจะปรากฏภาพ 3 มิติ

กระบวนการแสดงผลของเทคโนโลยี Augmented Reality

ก่อนจะมองเห็นข้อมูลหรือเนื้อหาความเป็นจริงเสริมที่สร้างขึ้นนั้น จะต้องผ่านกระบวนการตั้งแต่การเริ่มสร้างตัวแบบที่ใช้เป็นฐานสำหรับการใช้ในการแสดงผล อุปกรณ์ และระบบการประมวลผลของเทคโนโลยี AR ดังนี้

เครียก (Craig, 2013 : 40) อธิบายระบบการแสดงผลของเทคโนโลยี AR มีองค์ประกอบและกระบวนการดังนี้

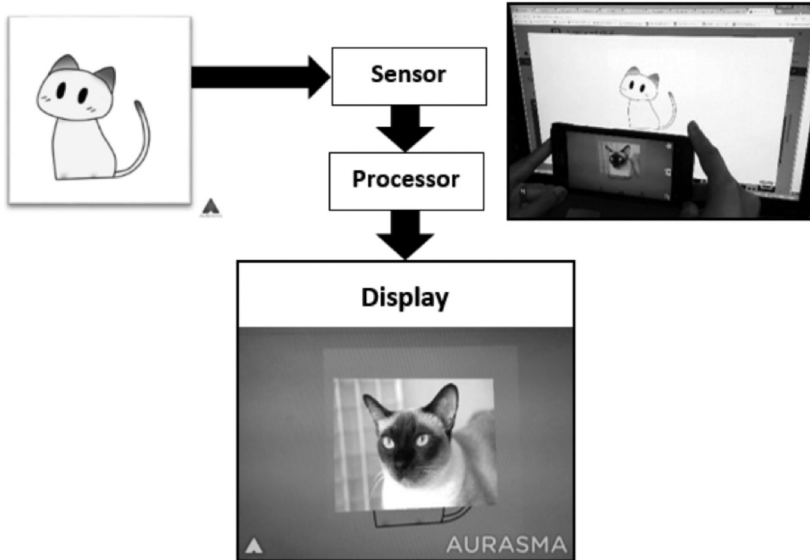
1. เซ็นเซอร์ (sensor (s) ระบุสถานะของโลกภายนอกที่มีการติดตั้งแอปพลิเคชัน
2. การประมวลผล (processor) พิจารณาข้อมูลจาก sensor เพื่อบังคับใช้กฎต่างๆ ของโลกเสมือน และสร้างข้อมูลสัญญาณสำหรับการแสดงผล

3. การแสดงผล (display) สร้างภาพที่ทำให้เห็นว่าโลกภายนอกและโลกเสมือน ปรากฏอยู่ร่วมกัน และใช้ประสาทสัมผัสของผู้ใช้ให้รู้สึกถึงการผสมผสานของโลกทั้งสอง คิปปอร์และแรมโพลลา (Kipper & Rampolla, 2013 : 5) แบ่งองค์ประกอบของกระบวนการแสดงผลเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. ฮาร์ดแวร์ (hardware) ได้แก่ 1) คอมพิวเตอร์ทั้งแบบคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรืออุปกรณ์เคลื่อนที่ (mobile device) 2) มอนิเตอร์หรือจอแสดงผล 3) กล้อง 4) ระบบการติดตาม (tracking) และ ระบบตรวจจับ (sensing system) (GPS แผนที่ เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความลาดเอียง (accelerometer)) 5) โครงสร้างระบบเครือข่าย 6) มาร์กเกอร์ คือ วัตถุหรือสถานที่ที่เป็นจริงและสภาพแวดล้อมเสมือนจริงมารวมกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่คอมพิวเตอร์ใช้ระบุสถานที่นำเสนอข้อมูล

2. ซอฟต์แวร์ (software) ได้แก่ 1) แอปพลิเคชันหรือโปรแกรมที่ใช้บนเครื่องนั้นๆ 2) บริการของเว็บ 3) เครื่องให้บริการเนื้อหา (content server)

จากแนวคิดข้างต้น สามารถสรุปและจำลองกระบวนการแสดงผล ดังนี้



ภาพที่ 4 ภาพจำลองแสดงกระบวนการแสดงผลของเทคโนโลยี AR

จากภาพเป็นการจำลองกรณีของตัวแบบที่เป็นมาร์กเกอร์ (marker) อาจเป็นภาพ สัญลักษณ์ เครื่องหมายหรือวัตถุที่ถูกสร้างขึ้น โดยมีการอัปโหลดเนื้อหาแบบดิจิทัลที่ต้องการแสดงไว้บนเซิร์ฟเวอร์เพื่อเก็บไว้เป็นฐานข้อมูล เมื่อทำการติดตั้งแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์ที่ใช้เลนส์ในการรับภาพ และทำการสแกนมาร์กเกอร์ผ่านแอปพลิเคชัน ระบบของ AR จะทำการค้นหามาร์กเกอร์ที่มีลักษณะที่ตรงกับในระบบก็จะทำการติดตาม (tracking) เปรียบเทียบและแสดงผลตามที่คุณพัฒนาได้ทำไว้ เช่น ภาพนิ่ง วิดีทัศน์ หรือภาพ 3 มิติ บนอุปกรณ์แสดงผลซึ่งสามารถแสดงผลได้ทั้งสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์ โดยเป็นการแสดงผลแบบทันทีทันใด (real time)

สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งในการแสดงผลได้แก่ ส่วนติดต่อผู้ใช้ (user interface) ซึ่งคามิกเนียนิและเฟิร์ท (Carmigniani & Furht, 2011 : 14 - 16) กล่าวว่า สิ่งที่สำคัญที่สุดของ AR คือ การสร้างเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับเนื้อหาเสมือนจริง (virtual content) ของโปรแกรมประยุกต์ AR ซึ่งมีรูปแบบของการปฏิสัมพันธ์ 4 วิธีหลัก สรุปได้ดังนี้

1) Tangible AR Interfaces เป็นส่วนติดต่อ AR แบบมีตัวตนจับต้องได้สนับสนุนการโต้ตอบโดยตรงกับโลกแห่งความจริงโดยการใช้ประโยชน์จากกายภาพของวัตถุและเครื่องมือเป็นสื่อในการแสดงข้อมูลที่สร้างขึ้น

2) Collaborative AR Interfaces คือ ใช้ระบบแสดงผลหลายชิ้นเพื่อรองรับกิจกรรมทั้งในพื้นที่เดียวกัน (co-located) และระยะไกล (remote) โดยใช้ข้อมูลสามมิติเพื่อพัฒนาในรูปแบบโต้ะทำงานที่ใช้ร่วมกัน นอกจากนี้ การใช้พื้นที่ร่วมกันแบบทางไกลสามารถทำให้อุปกรณ์หลายชิ้นสามารถทำงานร่วมกันเพื่อสนับสนุนการประชุมทางไกล (teleconferences) ได้

3) Hybrid AR Interfaces เป็นการผสมส่วนติดต่อผู้ใช้ที่แตกต่างกันแต่มีลักษณะเสริมกัน (complementary) ทำให้สามารถสร้างลักษณะของส่วนติดต่อหลายๆ แบบได้ ลักษณะเหล่านี้เหมาะสมกับกิจกรรมที่ไม่มีการวางแผนล่วงหน้าว่าจะมีการใช้อุปกรณ์แบบใด

4) Multimodal AR Interfaces ผสมผสานการป้อนข้อมูลด้วยวัตถุจริง (real object input) เข้ากับรูปแบบของภาษาและพฤติกรรมที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น เสียงสัมผัส ภาษามือ และการสบตา ส่วนติดต่อแบบนี้ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน

ความแตกต่างของการแสดงผลระหว่าง Augmented Reality (AR) กับ Virtual Reality (VR)

AR เป็นการแสดงข้อมูลโดยเปรียบเทียบกับตัวแบบที่ถูกนำมาใช้เป็นฐาน (based) เช่น สถานที่ ภาพ สัญลักษณ์ และวัตถุ เป็นต้น ที่สร้างเป็นต้นแบบไว้บนระบบ โดยการปรากฏของเนื้อหาและข้อมูลผ่านอุปกรณ์และโปรแกรมประยุกต์ซึ่งแสดงผลโดยซ้อนทับเรียกว่า เลเยอร์ (layer) ซึ่งเป็นชั้นของเนื้อหาลงบนตัวแบบ โดยตัวแบบอาจเป็นสัญลักษณ์หรือรูปภาพที่นำมาใช้เป็นพื้นหลัง หากระบบอ่านไม่พบตัวแบบก็จะไม่สามารถแสดงผลได้ ซึ่งแตกต่างจาก VR ซึ่งใช้ภาษาไทยว่า ความจริงเสมือน ที่แสดงข้อมูลผ่านอุปกรณ์ตามโปรแกรมที่ถูกเขียนไว้โดยการปรากฏด้วยระบบเอง โดยไม่ต้องอาศัยตัวแบบ แต่เป็นการทำให้ผู้ใช้มีส่วนร่วมกับเนื้อหาและข้อมูลที่สร้างขึ้นผ่านอุปกรณ์

กล่าวโดยสรุป Augmented Reality เป็นการแสดงผลของชั้นของเนื้อหาหรือข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับโลกแห่งความจริงโดยเป็นชั้นของเนื้อหาที่เสริมส่วนที่สร้างเดิม (augmented) โดยซ้อนทับกับโลกความจริง ในขณะที่การแสดงผลของ Virtual Reality นั้น ไม่มีส่วนที่สัมพันธ์กับโลกแห่งความจริงแต่เป็นการทำให้มองเห็นเป็นภาพเสมือนผ่านอุปกรณ์

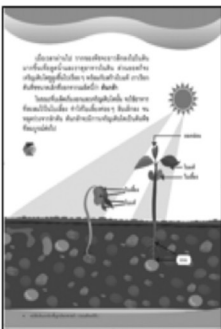
การนำเทคโนโลยี AR มาประยุกต์ใช้ทางการศึกษา

AR สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งด้านธุรกิจ การท่องเที่ยว การพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ด้านสถาปัตยกรรมและอสังหาริมทรัพย์ แต่ในที่นี่จะกล่าวถึงการนำเทคโนโลยี AR มาช่วยให้



การเรียนการสอนมีชีวิตชีวาด้วยสื่อสิ่งพิมพ์ในรูปแบบของแบบเรียนที่แตกต่างไปจากเดิม เช่น การเรียนรู้แบบเดิมด้วยภาพประกอบบทเรียนที่มีลักษณะ 2 มิติ แต่ AR สามารถแสดง (display) ตัวอย่างในบทเรียนได้อย่างน่าสนใจ เช่น ตัวอย่างสถานที่ที่ไม่สามารถพานักเรียนไปได้ แต่ AR ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนได้อย่างเป็นรูปธรรมนำตัวอย่างสถานที่นั้นมาสู่ห้องเรียน นอกจากนี้ผู้เรียนและผู้สอนสามารถทำกิจกรรมการเรียนการสอนร่วมกันได้ ก่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

คิปเปอร์ (Kipper, 2013) กล่าวว่า AR จะช่วยดึงดูดความสนใจทางการเรียนของผู้เรียนได้มากที่สุด เมื่อผู้เรียนสามารถควบคุมการเรียนรู้ได้ด้วยตนเองและมีปฏิสัมพันธ์ทั้งในสภาพแวดล้อมจริงและสภาพแวดล้อมเสริม (augmented environments) ซึ่งเป็นการตอบสนองการเรียนรู้รายบุคคล ช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ตามศักยภาพของตน สามารถเรียนและทบทวนบทเรียนที่ใดก็ได้ ทุกสถานที่ทุกเวลา เช่น การพัฒนาหนังสือความจริงเสริมแบบ 3 มิติ ที่สร้างความสนใจและประสบการณ์ให้กับเด็กๆ ทั้งในภาคเอกชนและของรัฐ เช่น หนังสือความจริงเสมือน ชื่อ A Magic AR Book ตะลุยโลกใต้สมุทร โดย สำนักพิมพ์อิงค์ เทคโนโลยี ส่วนของรัฐโดยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้มีการพัฒนาสื่อเสริมการเรียนรู้ AR ตัวอย่างสื่อบางส่วน ได้แก่ 1) ชุดบันทึกโลก 2) ชุดระบบสุริยะ 3) ชุดการจมและการลอย 4) ชุดโครงสร้างอะตอม และ 5) ชุดแผ่นดินไหว สำหรับนำมาประกอบการเรียนรู้ในห้องเรียนศตวรรษที่ 21 โดย สาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนต้น (รักษพล ธนานุวงศ์, ออนไลน์) และ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การศึกษาภาคบังคับได้พัฒนาสื่อวิทยาศาสตร์แบบสื่อดิจิทัลแสดงผลเสมือนจริง หรือสื่อ AR 3 มิติ (Augmented Reality) เพื่อเป็นสื่อประกอบหนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ ระดับประถมศึกษา



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการนำเทคโนโลยี AR มาใช้ทางการศึกษาของ สสวท.

ที่มา : <http://illusion.in.th/?p=1641>

ด้วยจุดเด่นของเทคโนโลยี AR ที่สามารถสร้างและนำเสนอเนื้อหาได้ตามความต้องการอย่างไม่ยากนัก ทำให้สามารถนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนได้ทุกกลุ่มสาระการเรียนรู้ โดยเฉพาะการพัฒนาสื่อสิ่งพิมพ์ซึ่งเป็นสื่อหลักในการเรียนการสอน ได้แก่ แบบเรียน ที่เทคโนโลยี AR จะช่วยให้แบบเรียนยุคใหม่ข้ามข้อจำกัดของคำว่าสิ่งพิมพ์แบบเดิม ที่รับสารด้วยประสาทตาเพียงอย่างเดียวไปสู่การรับสารด้วยประสาทตาและหู แบบเรียนยุคใหม่นี้ จะสามารถนำเสนอตัวอย่างทั้งภาพนิ่งอื่นๆ นอกเหนือจากในหนังสือ เช่น วิดีทัศน์สั้นๆ หรือภาพ 3 มิติที่สามารถให้ผู้เรียนได้ศึกษาตัวอย่างในมุมมองอื่นๆ นอกเหนือจากในแบบเรียนหรือหนังสือที่นำเสนอได้เพียงแค่ 2 มิติ ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนได้มากขึ้น



ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างการนำมาประยุกต์ใช้โดยการแสดงผลแบบ 3 มิติ และหากแตะที่ตัวม้า จะปรากฏภาพเป็นม้าเปลี่ยนจากการยืนเป็นการวิ่ง

ที่มา : <https://www.youtube.com/watch?v=xexGCRjlx-E>

นอกจากนั้น เทคโนโลยี AR ยังช่วยให้ผู้เรียนสามารถมีปฏิสัมพันธ์ (interactive) กับสื่อที่นำเสนอได้อีกด้วยโดยกำหนดให้มีการแตะภาพเสมือนที่สร้างขึ้นบนหน้าจอ เพื่อให้เกิดการกระทำโต้ตอบกับบทเรียน เช่น เมื่อแตะที่ตัวม้า ม้าจะวิ่ง (ภาพที่ 6) สิ่งพิมพ์จึงกลายเป็นสื่อที่มีได้มีไว้เพียงเพื่ออ่านอีกต่อไป เช่น ในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สามารถสร้างวิดีโอที่ค้นจำลองการสอนบวกลบพร้อมคำอธิบายประกอบภาพง่ายๆ เพื่อกระตุ้นความสนใจของผู้เรียนและเพื่อสร้างเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิชา



คณิตศาสตร์ หรือในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ก็สามารถนำข้อมูลตัวอย่าง การทดลองของต่างประเทศที่น่าสนใจ เพื่อนำความรู้จากนอกห้องเรียนมาสู่ในห้องเรียน หรือ กลุ่มสาระการเรียนรู้ต่างประเทศ ก็สามารถนำคลิปวิดีโอที่ค้นตัวอย่างบทสนทนาสั้นๆ ไม่เกิน 3 นาที เพื่อให้ผู้เรียนสามารถฝึกการฟังและฝึกการออกเสียงได้จากเจ้าของ ภาษาอีกด้วย กลุ่มสาระการเรียนรู้ภาษาไทย สามารถนำภาพดอกไม้ที่สวยงามมาให้ผู้เรียน ได้ชมถึงในห้องเรียน เช่นเดียวกับกลุ่มสาระการเรียนรู้สุขศึกษาและพลศึกษา สามารถนำ ข้อมูลเกี่ยวกับเทคนิคการเล่นกีฬาแต่ละประเภทมาให้นักเรียนศึกษาได้ถึงในห้องเรียน



ภาพที่ 7 ตัวอย่างผลงานจากการฝึกพัฒนาเอกสารการสอนด้วยเทคโนโลยี AR
ผลงานของครูโรงเรียนครูประชาสรรค์

จากภาพเป็นตัวอย่างจากการที่ผู้เขียนไปเป็นวิทยากรอบรมการพัฒนาหนังสือ ความเป็นจริงเสริมด้วยโปรแกรม Aurasma และฝึกปฏิบัติการสร้างหนังสือตามกลุ่ม สาระการเรียนรู้ ภาพด้านซ้ายมือเป็นผลงานของกลุ่มสาระภาษาไทย ซึ่งหากสแกน ที่ดอกไม้จะปรากฏวีดิทัศน์เพลงเกี่ยวกับดอกไม้ ส่วนภาพด้านขวามือ หากสแกนจะ ปรากฏวีดิทัศน์การสอนเรื่องปริมาตรของปริซึม หากมีการนำไปทำเป็นสิ่งพิมพ์เพื่อ การสอนควรอ้างอิงที่มาของภาพนิ่งและภาพที่นำมาทำเป็นชั้นของข้อมูลด้วย หรือสร้าง ตัวอย่างเป็นของตนเองจะดีที่สุดเพื่อป้องกันปัญหาเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์

แคนดอน (Kangdon, 2016) กล่าวถึงการนำ AR มาใช้ในโรงเรียนว่า ผู้เชี่ยวชาญ และนักวิจัยได้มีการศึกษาและนำ AR ไปใช้ในการเรียนรู้ในห้องเรียน เช่น วิชาเคมี

คณิตศาสตร์ ชีววิทยา ฟิสิกส์ ดาราศาสตร์และการศึกษาอื่นๆ ทั้งในระดับ K-12 หรือสูงกว่า โดยนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบของหนังสือเรียนเช่นกัน จึงเห็นได้ว่า เทคโนโลยี AR สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอนได้อย่างหลากหลาย ทั้งนี้ การนำไปประยุกต์ใช้ควรได้มีการวิเคราะห์เนื้อหา จุดประสงค์การเรียนรู้ ผู้เรียนกลุ่มเป้าหมาย ตลอดจนสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้เรียน

สิ่งที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือด้วยความสามารถของเทคโนโลยีด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านข้อมูลในปัจจุบัน เช่น สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต ที่สามารถเก็บภาพหรือคลิปวิดีโอที่สั้นไว้นานหน่วยความจำภายในอุปกรณ์ที่ได้กล่าวไปในข้างต้น ทำให้ผู้เรียนสามารถเรียกดูข้อมูลหรือเนื้อหาที่นั้นซ้ำๆ ได้โดยไม่ต้องเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งความสามารถนี้จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนและทบทวนเนื้อหาความรู้ที่นั้นได้ตลอดเวลา ทุกที่ ทุกเวลาที่ต้องการ

เทคโนโลยี AR ต้องใช้พื้นฐานโครงสร้างของระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ค่อนข้างเสถียร และอุปกรณ์การอ่าน เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ ที่ควรมีระบบกล้องและมีระบบปฏิบัติการ (operating system) ที่ทันสมัยเพียงพอในการรองรับการติดตั้งแอปพลิเคชันโปรแกรม ซึ่งในปัจจุบันแอปพลิเคชันรองรับระบบปฏิบัติการไอโอเอส 6 และแอนดรอยด์ 4 ขึ้นไป และในประเทศไทยได้มีการวิจัยการนำเทคโนโลยี AR มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาช่วงที่ผ่านมาอย่างต่อเนื่อง อาทิ การศึกษาเรื่องความจริงเสมือนเพื่อการพัฒนาบทเรียนมัลติมีเดียปฏิสัมพันธ์ แนะนำอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ในสถาบันอุดมศึกษาเอกชนขนาดใหญ่ (นวรรตน์ แซ่ไคว้, 2556) การพัฒนาความจริงเสมือน วิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษานครนายก (มานพสว่างจิต และ ไพฑูรย์ ศรีฟ้า, 2557) ผลจากการศึกษาทั้ง 2 เรื่องพบว่า ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนด้วยสื่อความเป็นจริงเสริมสูงขึ้นกว่าก่อนเรียน และผู้เรียนมีความสนใจในระดับมากขึ้นไป AR สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยส่งเสริมการสร้างองค์ความรู้และความเข้าใจในสิ่งที่อยู่รอบ ทำให้การเรียนรู้มีความท้าทายและน่าสนใจเพิ่มมากขึ้น (นงลักษณ์ มีแก้วและคณะ, 2557) ด้วยการปรากฏของภาพดิจิทัลที่ซ่อนอยู่ในชั้นของเนื้อหา AR จึงถูกนำมาศึกษาและพัฒนาในรูปแบบของสิ่งพิมพ์การเรียนการสอนมาเป็นลำดับทั้งในระดับอุดมศึกษาจนถึงโรงเรียน



ในพื้นที่ต่างจังหวัด แสดงให้เห็นถึงความพร้อมในการนำเทคโนโลยี AR ไปใช้ในหลายพื้นที่ซึ่งไม่ได้จำกัดอยู่ในเขตเมืองเท่านั้น สิ่งพิมพ์แบบ AR จะช่วยให้ห้องเรียนไม่เป็นเพียงห้องสี่เหลี่ยมแคบๆ ที่มีเพียงครู นักเรียน กระดานหน้าห้องเรียนและสื่อแบบเดิมๆ แต่การสอนจะปรับรูปแบบใหม่ที่กระตุ้นการเรียนรู้และผู้เรียนสามารถมีส่วนร่วมกับบทเรียน ได้ประสบการณ์เรียนรู้ที่แปลกใหม่ด้วยภาพทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ หรือวีดิทัศน์ ที่ผู้สอนสามารถนำเข้ามาสู่ห้องเรียนผ่านสิ่งพิมพ์ AR ที่เป็นสื่อรายบุคคล และผู้เรียนสามารถทบทวนบทเรียนได้ตามที่ต้องการและมีอิสระในการเรียนรู้ด้วยตนเอง ช่วยให้ผู้เรียนมีเจตคติที่ดีต่อบทเรียน และหนังสือเรียนไม่ใช่สิ่งที่น่าเบื่ออีกต่อไป

ท้ายที่สุดนี้ การนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ทางการศึกษานั้น สิ่งที่ควรคำนึงถึงในเบื้องต้นคือ การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเด่นชัดเพื่อออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีมาใช้แก้ปัญหาทางการศึกษาได้อย่างแท้จริง เช่น ปัญหาเกิดจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำ ปัญหาจากสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ ปัญหาจากผู้เรียน ปัญหาจากผู้สอน ปัญหาจากนโยบายของสถานศึกษา ฯลฯ ทั้งนี้ ในการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการแก้ปัญหาทางการศึกษา ไม่ได้หมายความว่าเฉพาะเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ทันสมัยแต่ยังรวมถึงวัสดุหรือเทคนิค วิธีการต่างๆ ที่เหมาะสมกับปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนั้น การนำเทคโนโลยี AR มาใช้ อาจไม่เหมาะสมกับทุกบริบททางการศึกษาด้วยเหตุนี้ ทุกปัญหาทางการศึกษาอาจต้องตอบด้วยเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดในการพัฒนาคุณภาพทางการศึกษาและประเทศชาติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐญา นาคะสันต์. (2553). การพัฒนารูปแบบการนำทางและลักษณะตัวนำทาง สำหรับหนังสืออิเล็กทรอนิกส์เพื่อการเรียนรู้ด้วยตนเอง. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- นงลักษณ์ มีแก้ว และคณะ. (2557). Augmented Reality Technology (AR) เมื่อเทคโนโลยีสามารถเชื่อมโลกเสมือนมาบรรจบกับโลกของความจริงและการประยุกต์ใช้ในการจัดการศึกษา. *จุลสารนวัตกรรม*, 9(34), 8 - 16.
- นวรรตน์ แซ่ไคว้. (2556). ความจริงเสมือนเพื่อการพัฒนาบทเรียนมัลติมีเดียปฏิสัมพันธ์ แนะนำอุปกรณ์ คอมพิวเตอร์ในสถาบันอุดมศึกษาเอกชนขนาดใหญ่. *วารสารวิจัยรามคำแหง*, 16, 28 - 36.
- มานพ สว่างจิต และ ไพทวูร์ย ศรีฟ้า. (2557). การพัฒนาความจริงเสมือน วิชาวิทยาศาสตร์ โรงเรียนที่มีผลสัมฤทธิ์ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษานครนายก. *วารสารเทคโนโลยีการศึกษาและมีเดียคอนเวอร์เจนซ์*, 1, 87- 95.
- สื่อเสริมการเรียนรู้โลกเสมือนผสมโลกจริง (Augmented Reality) เรื่องการจมและการลอย.* (8 ตุลาคม 2559) สืบค้นจาก http://secondsci.ipst.ac.th/index.php?option=com_content&view=article&id=336:armedia&catid=19:2009-05-04-05-01-56&Itemid=34
- Augmented Reality.* (15 กรกฎาคม 2559) สืบค้นจาก <http://rirs3.royin.go.th/coinages/webcoinage.php>.
- Augmented Reality.* (15 กรกฎาคม 2559) สืบค้นจาก <http://www.merriam-webster.com/dictionary/augmented%20reality>.
- Augmented Reality เมื่อโลกเสมือนมาบรรจบกับความจริง.* (9 ตุลาคม 2559) สืบค้นจาก <http://www.isriya.com/node/3109/augmented-reality>.
- Augmented Reality in Education and Training.* (15 กรกฎาคม 2559) สืบค้นจาก <https://quality4digitalllearning.org/wp-content/uploads/2016/03/Augmented-Reality-in-Education-and-Training.pdf>.



Augmented Reality - Connecting Physical and Virtual Worlds. (8 กรกฎาคม 2559) สืบค้นจาก <http://www.slideshare.net/DunavNET/augmented-reality-47323934>

Carmigniani, J, Furht B, editors. (2011). *Handbook of Augmented Reality.* New York : Springer.

Craig, A, B. (2013). *Understanding Augmented Reality: Concept and Applications.* Massachusetts : Elsevier.

How will people create content for augmented reality?. (12 กรกฎาคม 2559) สืบค้นจาก <http://www.pwc.com/us/en/technology-forecast/augmented-reality/content-creation.html>.

Kipper, G. & Rampolla, J. (2013). *Augmented Reality : An merging Technologies Guide to AR.* Massachusetts : Elsevier.

QR Code หลบไป AR มาแล้ว. (9 ตุลาคม 2559) สืบค้นจาก <http://positioning-mag.com/12795>.