บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แบ่งหัวข้อหลักในการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อ คือ

1. การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวกับการมีส่วนร่วมในงานออกแบบสถาปัตยกรรม
2. การศึกษาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติสำหรับงานออกแบบสถาปัตยกรรม
3. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวกับการมีส่วนร่วมในงานออกแบบสถาปัตยกรรม

การมีส่วนร่วมในงานออกแบบสถาปัตยกรรม (Architectural Participation) หมายถึง การเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง (involvement) กับขั้นตอนใด ๆ ก็ตามในกระบวนการออกแบบสถาปัตยกรรมของผู้ใช้อาคาร (Jones, Petrescu & Till, 2005, p.3) โดยกล่าวได้ว่า การมีส่วนร่วมในงานออกแบบเป็นกระบวนการสื่อสารสองทาง ที่มีเป้าหมายโดยรวมเพื่อสร้างการตัดสินใจ (decision making) ในงานออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพและตอบรับความต้องการของกลุ่มผู้ใช้อาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญอันแท้จริงของการทำงานออกแบบสถาปัตยกรรม ที่อำนาจการตัดสินใจทุกอย่างไม่ควรขึ้นอยู่กับความเห็นของสถาปนิกหรือเจ้าของโครงการเพียงอย่างเดียว แต่การทำงานออกแบบสถาปัตยกรรมที่ดีควรมีการคำนึงถึงความต้องการและความเห็นโดยรวมของบุคคลผู้ใช้อาคารด้วย โดยในความเป็นจริงนั้นผู้ใช้อาคารกับเจ้าของโครงการมักมีมุมมองหรือความต้องการที่แตกต่างกัน ภาระหน้าที่จึงตกอยู่ที่สถาปนิกผู้ออกแบบที่จะทำให้ความแตกต่างกันดังกล่าวนั้นมาบรรจบกันในงานสถาปัตยกรรมที่ตนออกแบบให้ได้ และสามารถตอบรับความพึงพอใจของทั้งสองฝ่ายได้ในเวลาเดียวกันอีกด้วย

การมีส่วนร่วมในงานออกแบบสามารถเกิดขึ้นได้จากการเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกแบบของผู้ใช้อาคาร โดยสามารถแบ่งระดับขั้นของการเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในงานออกแบบของผู้ใช้อาคารได้เป็น 4 ระดับขั้น (Sanoff, 1988, pp. 29-30) คือ ระดับขั้นตระหนัก ระดับขั้นรับรู้ ระดับขั้นตัดสินใจ และระดับขั้นดำเนินการ ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1. ระดับขั้นตระหนัก (awareness) ในระดับนี้เป็นการทำให้บุคคลผู้เข้ามามีส่วนร่วม (participant) ในงานออกแบบกับสถาปนิก นั่นคือ ผู้ใช้อาคาร รับทราบถึงจุดประสงค์ของการเข้ามามีส่วนร่วมของตน และบทบาทหน้าที่ของตนในการเข้ามามีส่วนร่วมกับการออกแบบ เพื่อให้บุคคลดังกล่าวตระหนักถึงสิ่งซึ่งตนจะต้องกระทำในการทำงานร่วม (cooperate) กับสถาปนิก

2. ระดับขั้นรับรู้ (perception) เป็นระดับต่อมาจากระดับการตระหนักถึงบทบาทของบุคคลผู้เข้ามามีส่วนร่วมในงานออกแบบ กล่าวคือ เมื่อเกิดความตระหนักรับรู้ถึงบทบาทของตนที่มีต่อการออกแบบแล้ว สถาปนิกจำเป็นที่จะต้องทำให้บุคคลดังกล่าวนั้นเกิดการรับรู้ (perception) กับงานออกแบบที่เขาจะเข้ามามีส่วนร่วม เพื่อให้เกิดความเข้าใจในงานออกแบบดังกล่าวอย่างเพียงพอที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการของตน หรือข้อมูลบางอย่างที่สถาปนิกสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแบบสถาปัตยกรรมของตนได้ การสร้างการรับรู้ในงานออกแบบให้กับบุคคลผู้มีส่วนร่วมสามารถเข้าใจงานออกแบบได้อย่างแท้จริง จึงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดการมีส่วนร่วมในงานออกแบบอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากถ้าสถาปนิกไม่สามารถทำให้บุคคลผู้เข้ามามีส่วนร่วมในงานออกแบบเข้าใจแบบของตนได้อย่างแท้จริงแล้วนั้น ก็จะทำให้บุคคลดังกล่าวไม่สามารถที่จะให้ความร่วมมือกับสถาปนิกได้อย่างเต็มที่ และอาจทำให้การมีส่วนร่วมในระดับต่อ ๆ มานั้นเกิดความผิดพลาดได้

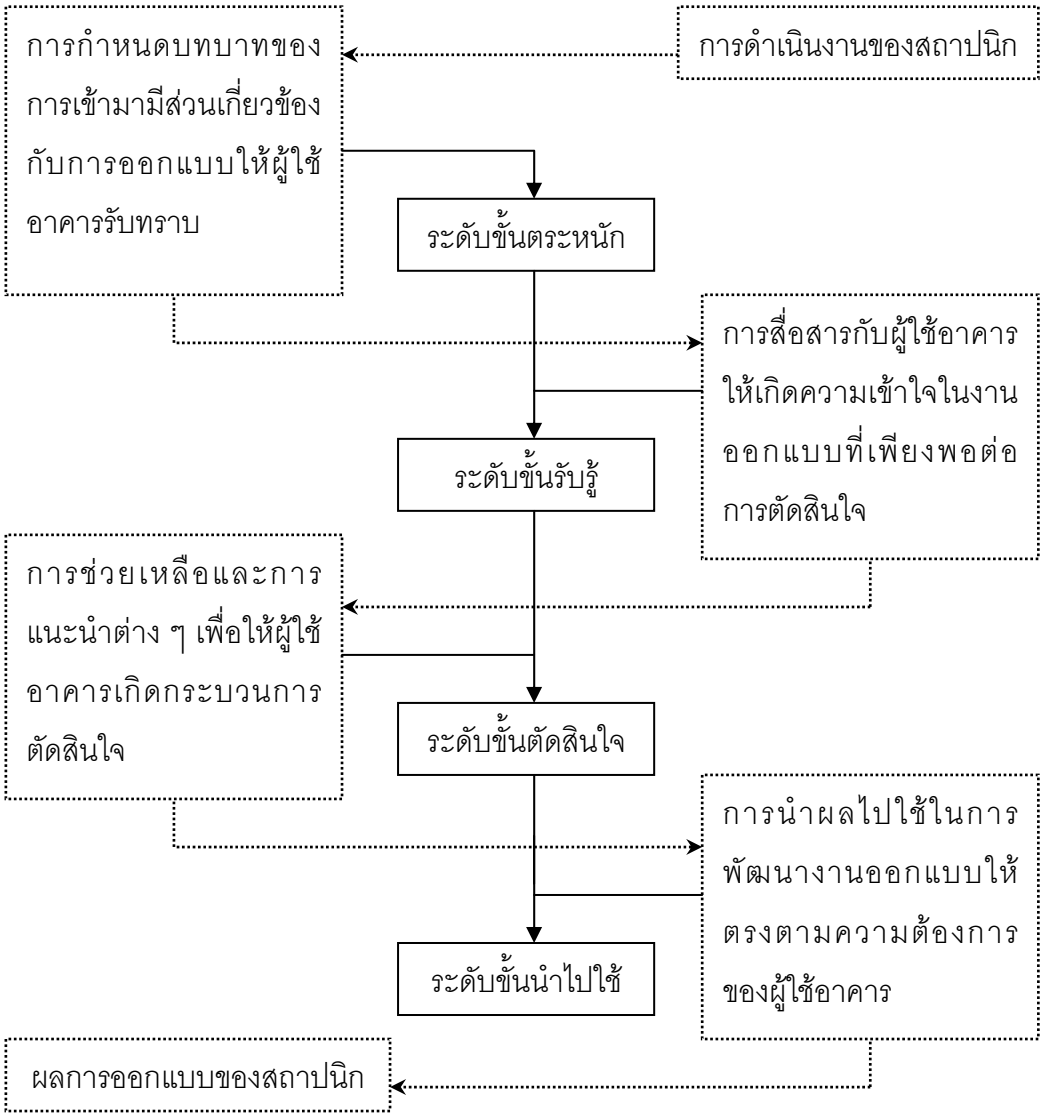
3. ระดับขั้นตัดสินใจ (decision making) ในขั้นนี้สถาปนิกจะมุ่งความสนใจไปที่การพิจารณาผลของลักษณะกายภาพของอาคาร (physical design) ที่ได้จากการตัดสินใจของบุคคลผู้เข้ามามีส่วนร่วม และนำผลที่ได้ดังกล่าวนี้ ไปปรับใช้เป็นข้อมูลของความต้องการจากผู้ใช้อาคารร่วมกับแนวความคิดในการออกแบบของตน หรือถ้าในกรณีที่บุคคลผู้มีส่วนร่วมในงานออกแบบดังกล่าวมีมากกว่า 1 คน (มีผลของลักษณะกายภาพของอาคารมากกว่า 1 แบบ) สถาปนิกจะนำผลดังกล่าวไปสังเคราะห์ (synthesize) เพื่อสร้างทางเลือกในงานออกแบบที่ตอบรับกับความต้องการของบุคคลดังกล่าวมากที่สุด

4. ระดับขั้นดำเนินการ (implementation) โดยส่วนมากนั้นการเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องกับงานออกแบบของผู้ใช้อาคารมักจบลงที่ระดับขั้นตัดสินใจ โดยมองข้ามบทบาทของบุคคลดังกล่าวในขั้นการดำเนินการของงานออกแบบไป ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่จะทำให้สถาปนิกทราบได้ว่า ผลของการมีส่วนร่วมในงานออกแบบนั้นประสบผลสำเร็จและมีประสิทธิภาพเพียงพอหรือไม่ ซึ่งในขั้นดำเนินการนี้ สถาปนิกควรมีการตรวจสอบความพึงพอใจ (satisfactory) ในงานออกแบบหรือทางเลือกต่าง ๆ ในการออกแบบที่ได้จากผลในระดับขั้นตัดสินใจ มาให้บุคคลผู้มีส่วนร่วมใน

การออกแบบทำการประเมิน (evaluate) เพื่อการเลือกทางเลือกที่เหมาะสมและตอบสนองกับความต้องการของผู้มีส่วนร่วมดังกล่าวมากที่สุด

Granath (2001, pp. 806-813) ได้แสดงแนวทางของการดำเนินการมีส่วนร่วมในระดับขั้นต่าง ๆ ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปเนื้อหาเป็นแผนภูมิไว้ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1
แนวทางการดำเนินการมีส่วนร่วมในงานออกแบบทั้ง 4 ระดับขั้น



2.2 การศึกษาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติสำหรับงานออกแบบสถาปัตยกรรม

2.2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับเทคโนโลยีเสมือนจริง (Virtual Reality)

เพื่อสร้างความเข้าใจในความหมายของสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติ และสามารถนำมาปรับใช้กับการพัฒนาระบบสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติในการวิจัย จึงควรทำการศึกษาเกี่ยวกับแนวคิดต่าง ๆ ในเทคโนโลยีความเสมือนจริง (Virtual Reality Technology) ที่นิยามโดยนักวิจัยท่านต่าง ๆ ในปัจจุบัน

นิยามความหมายของความเสมือนจริง (Virtual Reality) และแบบจำลองเสมือนจริง (Virtual Model) ได้ถูกตีความโดยนักวิจัยหลายท่าน โดย Zeltzer (1992, pp.127-132) ได้ให้นิยามถึงลักษณะเด่น (characteristic) ของความเสมือนจริงไว้ดังนี้

1. ความมีอยู่จริง (Presence) หมายถึง ผู้ชมสามารถมีการรับรู้ (perception) ความมีมิติที่ปรากฏอยู่ภายในที่ว่างเสมือนจริง (virtual space) ได้

2. ความมีปฏิกิริยาตอบสนอง (Interaction) หมายถึง มีการตอบสนองระหว่างผู้ใช้กับความเสมือนจริงได้แบบได้ในเวลาขณะรับชม (real time)

3. ความเป็นอิสระ (Autonomy) หมายถึง ความมีอิสระที่จะดำเนินการใด ๆ ของผู้ชมภายในที่ว่างเสมือนนั้น

Ogata S. (1998, pp. 88-95) ได้นิยามความหมายของคำว่า Virtual Reality และ Virtual Model โดยสามารถสรุปเพื่อความเข้าใจได้ดังนี้

Virtual Reality หมายถึง การใช้ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมาสร้าง virtual space ให้มีลักษณะเหมือนกับความเป็นจริงในคอมพิวเตอร์

Virtual Model หรือแบบจำลองเสมือนจริง เป็นส่วนหนึ่งของ Virtual Reality โดย Virtual Model เป็นการสร้างแบบจำลองให้มีลักษณะเหมือนจริงในที่ว่างเสมือน (virtual space) ในคอมพิวเตอร์ แต่เป็นการทำแบบจำลองเฉพาะในขอบเขตที่ทำการศึกษา

ดังนั้น สภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติ (3D Virtual Environment) จึงสามารถให้คำนิยามจำกัดความเพื่อความเข้าใจ กล่าวคือ สภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติ คือ การสร้างแบบจำลองของการรับรู้สภาพแวดล้อมในลักษณะเสมือนจริงตามขอบเขตที่ต้องการนำเสนอให้ปรากฏบนพิกัด

ของที่ว่างเสมือนเพื่อการรับชมผ่านคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์รับชมอื่น ๆ (Gutierrez, 2005, p.32)

การนำสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติมาปรับใช้กับงานออกแบบสถาปัตยกรรมในปัจจุบันนั้นยังไม่มีซอฟต์แวร์เฉพาะด้านโดยตรง ทำให้ผู้ทำวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวข้องดังกล่าวส่วนมาก จำเป็นต้องประยุกต์ใช้ซอฟต์แวร์ประเภทพัฒนาเกม (game development) เข้ามาช่วยทำการวิจัย ดังนั้นในการศึกษาเพื่อการวิจัยจึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาในเรื่องของการใช้งานซอฟต์แวร์ประเภทดังกล่าวเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติด้วย

2.2.2 <u>แนวทางการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ประเภทพัฒนาเกมเพื่องานทางสถาปัตยกรรม</u>

ด้วยความสามารถในการแสดงผลของซอฟต์แวร์พัฒนาเกมในปัจจุบัน โดยเฉพาะระบบเอนจิ้น (engine) การแสดงผลที่มีความสามารถในการแสดงผล 3 มิติที่มีคุณภาพสวยงามในขณะการรับชม และความยืดหยุ่นของภาษาคอมพิวเตอร์ที่เข้าใจง่ายรวมถึงการรองรับการประยุกต์ใช้งานซอฟต์แวร์อันหลากหลาย ด้วยความสามารถดังกล่าวทำให้ซอฟต์แวร์พัฒนาเกมในปัจจุบันมีคุณสมบัติที่เหมาะสมแก่การประยุกต์ใช้ในการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติเพื่องานออกแบบสถาปัตยกรรม

แนวทางการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ประเภทพัฒนาเกมเพื่องานทางสถาปัตยกรรม (Shiratuddin and Fletcher, 2007, pp.20-27) ที่ผู้วิจัยควรพิจารณาดังนี้

1.ความเข้ากันได้กับซอฟต์แวร์ประเภทออกแบบสถาปัตยกรรม โดยพิจารณาจากความสามารถในการรองรับการนำเข้าไฟล์ข้อมูล 3 มิติจากซอฟต์แวร์ออกแบบที่ผู้วิจัยเลือกใช้

2. การแสดงผลของข้อมูล 3 มิติที่มีระดับความละเอียดสูง พิจารณาจากความสามารถการรองรับการแสดงผลของจำนวนความละเอียดโพลิก้อน (polygon) ในวัตถุ 3 มิติที่สามารถแสดงผลได้ในขณะการรับชม หรือขณะการทำงานจริงในคอมพิวเตอร์

3. รองรับการปรับปรุงชุดคำสั่งของซอฟต์แวร์ พิจารณาจากความสามารถที่มีของโปรแกรมในด้านการอนุญาติให้ผู้ใช้ปรับปรุงชุดคำสั่งงานของตัวซอฟต์แวร์ และพิจารณาเรื่องของภาษาโปรแกรมของตัวซอฟต์แวร์

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับการพิจารณาเลือกซอฟต์แวร์พัฒนาเกม นอกเหนือจากข้อพิจารณาทั้งสี่แล้วนั้น ถ้าในกรณีที่ต้องการการทำงานผ่านระบบเครือข่าย ควรพิจารณา

ซอฟต์แวร์พัฒนาเกมที่รองรับการคอมไพล์ (compile) ของไฟล์ออกมาในรูปแบบของภาษา html เพื่อการแสดงผลผ่านเว็บบราวเซอร์ด้วย

2.2.3 การแปลงข้อมูล 3 มิติจากซอฟต์แวร์ออกแบบไปสู่ซอฟต์แวร์พัฒนาเกม

กระบวนการแปลงข้อมูลจากซอฟต์แวร์ออกแบบเพื่อส่งออกเข้าสู่การทำงานในซอฟต์แวร์พัฒนาเกมให้เหมาะสม มีข้อพิจารณาเชิงเทคนิคที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การจัดเตรียมข้อมูล 3 มิติก่อนทำการแปลงข้อมูลไปใช้ในซอฟต์แวร์พัฒนาเกม (Grebler, 2006, pp. 75-86)

1.1 ทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของวัตถุที่ต้องการส่งออกให้อยู่ในรูปของพื้นผิวของวัตถุที่แท้จริง (editable mesh) ก่อนทำการส่งออกเสมอ

1.2 ควรทำการเรียกคำสั่งตั้งแกนอ้างอิงใหม่ (Reset Pivot) เสมอก่อนทำการส่งออกข้อมูล 3 มิติ

1.3 ลบวัตถุสองมิติ จำพวกเส้น (spline) หรือรูปภาพอ้างอิงออกให้หมดก่อนทำการส่งออกข้อมูล 3 มิติ

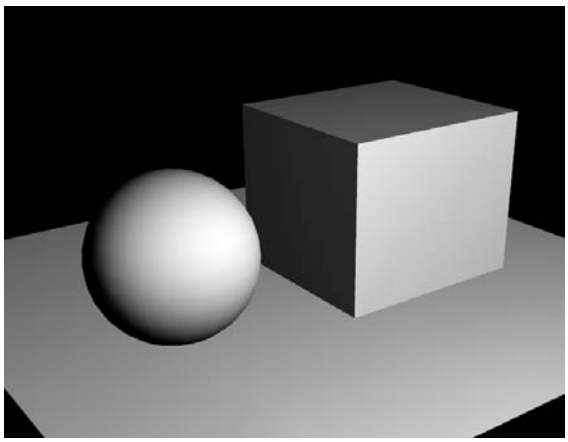
1.4 ในกรณีที่ต้องการส่งออกเป็นไฟล์ฟอร์แมต Direct X (.x) ต้องมีการทำคลี่พิกัดแกน UV (UV coordinate หรือ unwrap UVW) ในวัตถุทุกครั้ง

1.5 ในกรณีต้องการส่งออกเป็นไฟล์ฟอร์แมต Mesh (.m) วัตถุที่จะทำการส่งออกไม่ควรมีการใส่วัสดุหรือภาพ Texture ใด ๆ เพราะไฟล์แบบ Mesh นั้นจะสามารถส่งออกค่าพิกัดของจุด vertex ในวัตถุเพียงอย่างเดียว

2. แนวทางในการแปลงข้อมูล 3 มิติจากซอฟต์แวร์ออกแบบไปสู่ซอฟต์แวร์พัฒนาเกม โดย Whyte (2000) ได้นำเสนอลักษณะการแปลงข้อมูล 3 มิติไปใช้ในการทำงานกับซอฟต์แวร์พัฒนาเกมไว้ 2 วิธี ดังต่อไปนี้

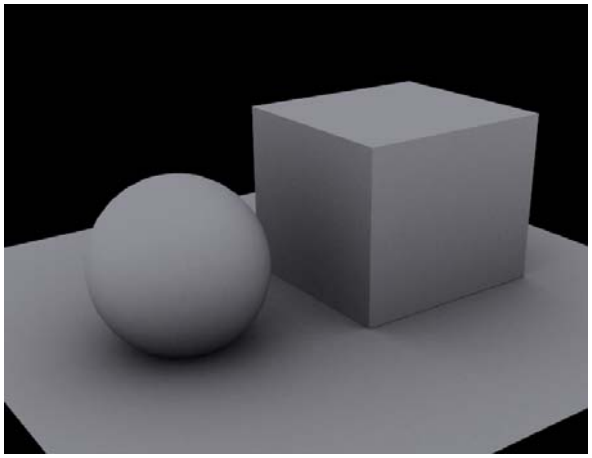
2.1 การแปลงข้อมูลจากซอฟต์แวร์ออกแบบไปสู่ซอฟต์แวร์พัฒนาเกมโดยตรง จะประกอบด้วยสองขั้นตอนคือ การสร้างวัตถุ 3 มิติในซอฟต์แวร์ออกแบบ แล้วทำการส่งออกข้อมูลไปสู่ซอฟต์แวร์พัฒนาเกมทันที ลักษณะการส่งออกข้อมูลแบบนี้ถึงแม้จะมีข้อดี คือ ความรวดเร็วและความง่ายในการส่งข้อมูลแต่จะมีความคลาดเคลื่อนของการแสดงผลข้อมูล โดยวัตถุดังกล่าวอาจมีคุณภาพในการแสดงผลที่ต่ำกว่าการแสดงผลในซอฟต์แวร์ออกแบบ

ภาพที่ 2.2
การแสดงผล 3 มิติจากการแปลงข้อมูลจากซอฟต์แวร์ออกแบบไปสู่
ซอฟต์แวร์พัฒนาเกมโดยตรง



2.2 การแปลงข้อมูลวัตถุ 3 มิติจากซอฟต์แวร์ออกแบบไปสู่ซอฟต์แวร์พัฒนาเกม โดยส่งผ่านซอฟต์แวร์ประมวลผล (rendering software) เพื่อสร้างพื้นผิวของแสงเงาสำเร็จรูปก่อน แล้วจึงส่งเข้าสู่ซอฟต์แวร์พัฒนาเกม ลักษณะการแปลงข้อมูลดังกล่าวจะมีวิธีที่ซับซ้อนกว่าวิธีแรก แต่ข้อมูลของวัตถุ 3 มิติที่ส่งไปสู่ซอฟท์แวร์พัฒนาเกมจะมีคุณภาพในการแสดงผลมากกว่า

ภาพที่ 2.3
การแสดงผล 3 มิติจากการแปลงข้อมูลวัตถุ 3 มิติจากซอฟต์แวร์ออกแบบไปสู่
ซอฟต์แวร์พัฒนาเกมโดยส่งผ่านซอฟต์แวร์ประมวลผล



2.2.4 การศึกษาวิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติสำหรับซอฟต์แวร์พัฒนาเกม

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาแนวทางและวิธีการสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่เหมาะสมกับการใช้งานในซอฟต์แวร์พัฒนาเกม ซึ่งแนวคิดที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองของอาคารในระบบสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติ สำหรับงานวิจัย ซึ่งในการศึกษาจะนำเสนอวิธีการ 3 วิธี (Scott, 1997) ดังต่อไปนี้

1. วิธี Library-Based Approach เป็นการนำข้อมูลแบบ 3 มิติมาแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริง เริ่มจากการสร้างห้องสมุด (library) ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแบบจำลองเสมือนจริงที่คาดว่าจะมีการนำมาใช้หลายครั้ง โดยทั่วไปมักเป็นชิ้นส่วนมาตรฐานของแบบจำลอง (standard parts) เมื่อถึงเวลาที่ต้องการใช้จึงนำส่วนประกอบที่อยู่ในห้องสมุด มาประกอบกันและแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริงตามต้องการ

วิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถช่วยลดระยะเวลาในการประมวลข้อมูล เช่น ถ้าลักษณะงานเป็นการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของบ้าน การใช้วิธีนี้เริ่มด้วยการสร้างห้องสมุดเก็บชิ้นส่วนที่เป็นส่วนพื้นฐานของบ้าน ที่มักจะมีการใช้ซ้ำหลายครั้ง เช่น ประตู หน้าต่าง เอาไว้ล่วงหน้า เมื่อถึงเวลาที่ต้องการใช้งานก็จะสามารถเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการมาประกอบเป็นบ้านทั้งหลังได้โดยไม่ต้องเสียเวลาในการสร้างโมเดลในโปรแกรม CAD ที่ละชิ้นแล้วจึงส่งออกข้อมูลเข้ามาในแบบจำลองเสมือนจริง อย่างไรก็ตามวิธีนี้จำเป็นต้องใช้เวลาในช่วงต้นสร้างห้องสมุดของชิ้นส่วนประกอบของแบบจำลองเสมือนจริง ซึ่งการเลือกใช้วิธีดังกล่าวควรนำมาใช้กับชิ้นส่วนที่มีการใช้ซ้ำหรือมีการเรียกใช้บ่อย ๆ จึงจะมีความเหมาะสม

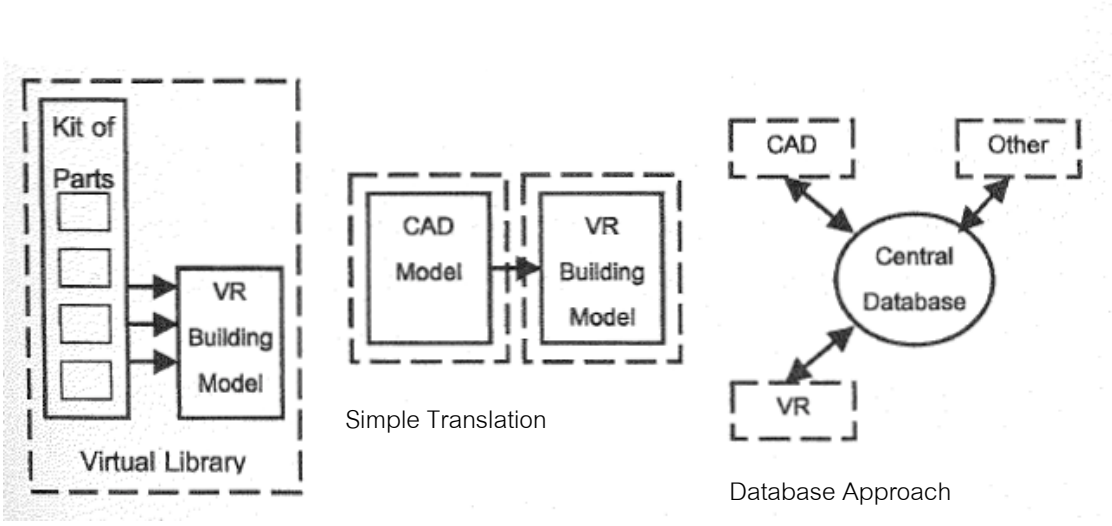
2. วิธี Straightforward Translation Approach หรือวิธี Simple Translation เป็นการนำข้อมูลแบบสามมิติมาแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริง โดยเริ่มจากการสร้างโมเดล CAD จนแล้วเสร็จสมบูรณ์ หลังจากนั้นนำมาแปลงข้อมูลให้กลายเป็นโมเดลของแบบจำลองเสมือนจริง วิธีการนี้ควรใช้ในกรณีที่แบบจำลองเสมือนจริงของงานวิจัยหรือการนำเสนอที่มีส่วนประกอบซึ่งมีการซ้ำกันไม่มากนัก หรือใช้ในการนำเสนองานออกแบบสถาปัตยกรรมที่แบบดังกล่าวนั้น มีความสมบูรณ์แล้ว หรือไม่มีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงหรือแก้ไขแบบจำลองในแบบ real time

3. วิธี Database Approach เป็นการนำข้อมูลแบบสามมิติมาแสดงผลภายในแบบจำลองเสมือนจริงโดยทำการดึงข้อมูลแบบสามมิติจากฐานข้อมูลตัวกลาง รูปแบบนี้เริ่มจากการสร้างฐานข้อมูลตัวกลางที่ประกอบด้วยส่วนประกอบของแบบจำลองเสมือนจริงและส่วนประกอบทางด้านกราฟิกสามมิติอื่น ๆ เมื่อต้องการสร้างแบบจำลองเสมือนจริง จะสามารถเรียกข้อมูลแบบ

สามมิติของส่วนประกอบต่าง ๆ ออกมาจากฐานข้อมูลตัวกลาง มาประกอบกันเป็นแบบจำลองเสมือนจริง

ข้อดีของวิธีนี้ คือ การใช้ระบบฐานข้อมูลตัวกลางเป็นสื่อเชื่อมการส่งออกของข้อมูลสามมิติ ซึ่งสามารถลดการเสียเวลาในการส่งออกข้อมูลของข้อมูล CAD ไปสู่แบบจำลองเสมือนจริง และการทำงานกับแบบจำลองเสมือนจริงผู้ทำงานสามารถทำงานแบบร่วมมือกันได้ (collaborative design) เพราะมีฐานข้อมูลตัวกลางคอยเชื่อมระหว่างการทำงานในระดับต่าง ๆ อยู่ แต่ข้อเสียก็คือการใช้วิธีนี้ต้องมีการออกแบบระบบฐานข้อมูลตัวกลาง ซึ่งถ้าเป็นการใช้งานในโครงการที่ไม่ใหญ่มาก ก็อาจไม่เหมาะสม เพราะต้องเสียเวลาในการออกแบบระบบฐานข้อมูลตัวกลาง

ภาพที่ 2.4
แนวคิดของวิธีการสร้างแบบจำลองทั้ง 3 แบบ



2.3 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวทางการนำซอฟต์แวร์ประเภทพัฒนาเกมและการประยุกต์เอนจิ้นการแสดงผลของเกม 3 มิติ มาใช้ในการงานออกแบบสถาปัตยกรรม มีการพูดถึงในเชิงวิชาการและงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 1999 มีการนำเอนจิ้นแสดงผล 3 มิติของเกม Quake II มาประยุกต์ใช้ในการสื่อสารงานออกแบบ (Richen & Trinder, 1999, pp. 361-375) ด้วยการนำลักษณะการแสดงผลแบบมุมมองบุคคลที่หนึ่ง และระบบผู้เล่นหลายคน (multiplayer) ของเกมดังกล่าวในการจำลอง

ประสบการณ์การเดินชมอาคาร ที่ผู้ชมสามารถมีส่วนร่วมแสดงความคิดเห็นของตนที่มีต่องานออกแบบผ่านคุณสมบัติการสื่อสารข้อความในระบบผู้เล่นหลายคนของ Quake II โดยงานวิจัยดังกล่าว ผู้ชมยังคงมีปฏิสัมพันธ์กับแบบจำลองอาคารในเชิงทัศนาการเพียงอย่างเดียว

ภาพที่ 2.5

งานวิจัยของ Richen P. และ Trinder M.

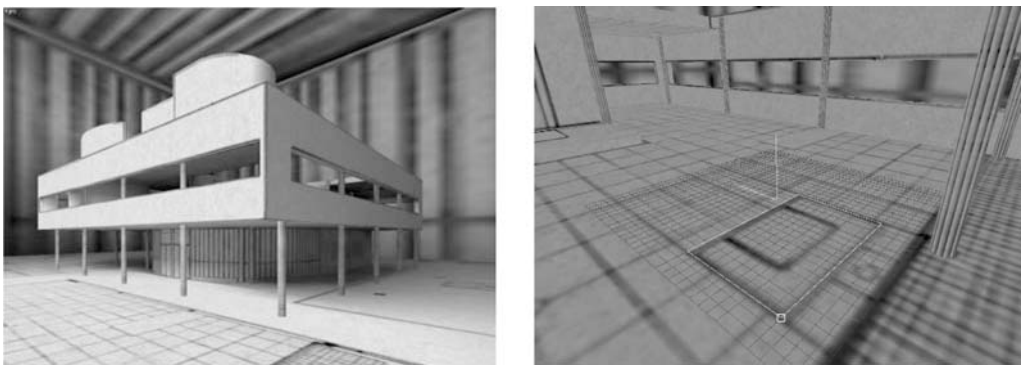
ที่มา: Richen & Trinder, 1999, p.372.

การพัฒนารูปแบบของการปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการระหว่างผู้ชมกับแบบจำลองในสภาพแวดล้อมเสมือนถูกหยิบยกขึ้นมาเป็นประเด็นในงานวิจัยของ Calderon and Cavazza (2001, pp. 415-419) ด้วยการทดลองพัฒนารูปแบบการปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการกับแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยเอนจิ้นการแสดงผลของเกม Unreal โดยพบว่าในการสร้างรูปแบบการปฏิสัมพันธ์อื่น ๆ ที่นอกเหนือจากการทำงานของตัวเอนจิ้น Unreal นั้น จำเป็นต้องมีการปรับแต่งชุดคำสั่ง (coding) ของเอนจิ้น เพื่อเพิ่มเติมความสามารถในการปฏิสัมพันธ์รูปแบบอื่น ๆ เช่น การหยิบวัตถุ การโยนวัตถุ การเลื่อนตำแหน่ง หรือการปรับแต่งรูปทรงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การย่อและขยายวัตถุ เหล่านี้ จำเป็น

ที่ผู้ใช้งานจะต้องมีการเขียนคำสั่งเพิ่มเติมเข้าไปในระบบการทำงานของเอนจิ้น ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยุ่งยากและค่อนข้างซับซ้อนสำหรับผู้ใช้งานที่ไม่ใช่ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญของการพัฒนารูปแบบการปฏิสัมพันธ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเพิ่มเติมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ซึ่งผู้วิจัยทั้งสองท่านพบว่า เอนจิ้นการแสดงผล 3 มิติดังกล่าวไม่อนุญาตให้มีการเพิ่มเติมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในรูปแบบอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากรูปแบบที่มีในระบบการแสดงผลของตัวเอนจิ้น

Lehtinen S. (2002, pp. 538-541) นำเครื่องมือสร้างฉาก (level editor) ของเกม Max Payne ชื่อ MaxED ซึ่งมีความสามารถในการประมวลผลแสงเงาแบบ radiosity ในขณะการรับชมของเกม Max Payne มาทดลองใช้ในการแสดงผลแบบจำลองอาคาร เพื่อการสื่อสารงานออกแบบผ่านเอนจิ้นแสดงผล 3 มิติของเกม ที่ให้ความสวยงามและความสมจริงยิ่งขึ้นในการนำเสนองานออกแบบ แต่การใช้เอนจิ้นดังกล่าวยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องการปรับแต่งคำสั่งต่าง ๆ ของเอนจิ้น Max Payne นั้นไม่อนุญาตให้ผู้ใช้งานปรับเปลี่ยนชุดคำสั่งตามต้องการ จึงทำให้การนำเสนองานออกแบบสถาปัตยกรรมด้วย MaxED นั้น ยังคงจำกัดอยู่ที่การจำลองประสบการณ์การเดินชมอาคารในรูปแบบเดิมอยู่

ภาพที่ 2.6
การแสดงแบบจำลองอาคารในเอนจิ้นการแสดงผล 3 มิติของ Max Payne และ
การทำงานใน MaxED



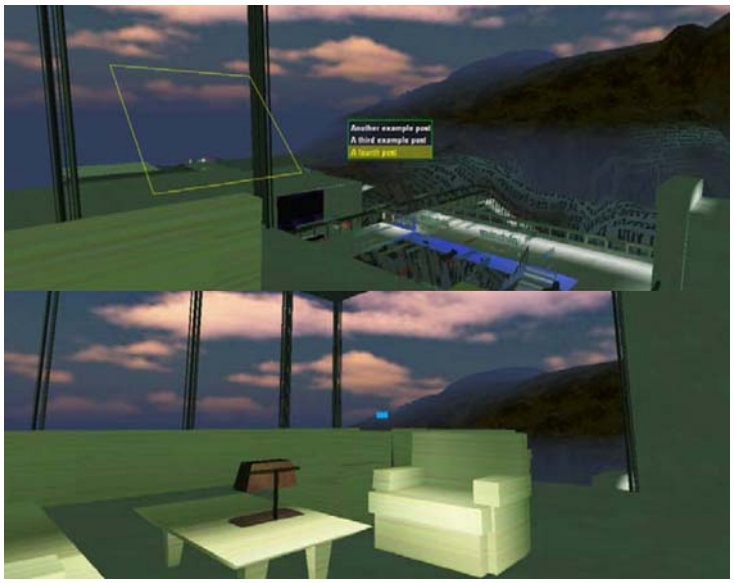
ที่มา: Lehtinen, 2002, p.540.

การพัฒนารูปแบบการปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการให้กับเอนจิ้นการแสดงผล 3 มิติของเกมยังถูกกล่าวถึงอย่างต่อเนื่องโดย Moloney (2003, pp.255-262) ได้ใช้เกมเอนจิ้นชื่อ Torque ในการ

พัฒนารูปแบบการแสดงความคิดเห็นในงานออกแบบ (design critique) ทำให้ผู้รับชมมีอิสระมากขึ้นในการแสดงความคิดเห็นลงไปในแบบจำลอง 3 มิติของอาคาร ในตำแหน่งที่ต้องการจะวิจารณ์หรือนำเสนอความเห็นของตน ซึ่งความคิดเห็นที่ถูกบันทึกลงบนแบบจำลอง สำหรับผู้รับชมคนอื่นสามารถรับชมความคิดเห็นหรือข้อวิจารณ์ดังกล่าว พร้อมทั้งสามารถแสดงความคิดเห็นในเชิงโต้ตอบกันผ่านแบบจำลองอาคารได้

ภาพที่ 2.7

งานวิจัยของ Molony J.



ที่มา: Molony J., 2003, p.260.

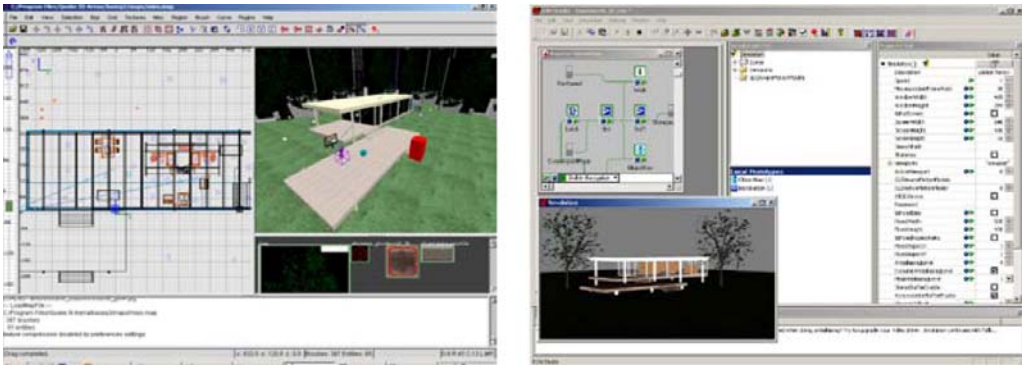
อีกรูปแบบหนึ่งของการพัฒนาการปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการในเอนจิ้นการแสดงผล 3 มิติของเกม คือ การพัฒนาส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานให้กับเอนจิ้น ซึ่ง Frost (2003, pp. 203-212) นำเสนอแนวทางการเชื่อมโยงระหว่างการสร้างแอพพลิเคชั่นอินเตอร์เฟซด้วย java ให้ทำงานร่วมกับการแสดงผล 3 มิติ เพื่อเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนของแบบจำลองในเกม Half-Life รูปแบบการทำงานเชื่อมต่อระหว่างการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในรูปของแอพพลิเคชั่น เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงบางอย่างในแบบจำลอง 3 มิติที่แสดงในเกม ผ่านการทำงานกับแอพพลิเคชั่นที่เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน เนื่องจากในการปรับแต่งเอนจิ้นการแสดงผลของเกมดังกล่าว ยังไม่รองรับการเพิ่มเติมส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานลงไปโดยตรงในหน้าจอการแสดงผล ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญในการปรับแต่งการทำงานเช่นเดียวกับเอนจิ้นแสดงผล 3 มิติของเกมอื่น ๆ

การทำงานของเอนจิ้นแสดงผล 3 มิติของเกมและการใช้งานซอฟต์แวร์ประเภทพัฒนาเกมถูกหยิบยกขึ้นมากล่าวถึงในเชิงของการศึกษาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย โดย Yoon S. Y. and Uddin M. S. (2004, pp. 601-612) ทำการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานระหว่างเอนจิ้น Quake III และซอฟต์แวร์ประเภทพัฒนาเกมชื่อ EON studio ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาของทั้งสอง พบว่า เมื่อเปรียบเทียบในแง่ของผลการนำไปใช้ ด้านความสวยงามในการแสดงผลแบบจำลองอาคารนั้น การใช้เอนจิ้น Quake III มีความเหมาะสมกว่า ในขณะที่ EON studio ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ประเภทพัฒนาเกม 3 มิตินั้น ไม่สามารถให้ความสวยงามในระดับ Quake III ได้ แต่ EON studio รองรับการทำงานเพื่อเพิ่มคำสั่งปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการของผู้ใช้งานได้ดีกว่า และสามารถกำหนดรูปแบบการนำไปใช้งานได้หลากหลายกว่าการใช้เอนจิ้นแสดงผลของ Quake III เช่น การสร้างสื่อนำเสนอในรูปแบบ stand alone CD-ROM หรือการแสดงผล 3 มิติบนหน้าเว็บเพจ ซึ่ง Quake III จะรองรับรูปแบบการนำเสนอเพียงการแสดงผลแบบจำลองอาคารด้วยการเล่นเกมเท่านั้น

ภาพที่ 2.8

การศึกษาในเชิงเปรียบเทียบการทำงานระหว่าง Quake III และ EON studio

ของ Yoon S. Y. และ Uddin M. S.



ที่มา: Yoon & Uddin, 2004, p.607.

ซอฟต์แวร์ประเภทพัฒนาเกมถูกนำมาใช้ในการนำเสนองานออกแบบ ที่ต้องการรูปแบบการปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการของผู้ใช้งาน ที่มีความหลากหลายมากขึ้นกว่าการใช้เอนจิ้นแสดงผลของเกม เช่น การสนับสนุนบทบาทการมีส่วนร่วมของชุมชนในการพัฒนาพื้นที่สาธารณะของชุมชนที่ชื่อ home zone ในประเทศอังกฤษ (O' Coil & Doughty, 2004, pp.12-23) โดยใช้ซอฟต์แวร์พัฒนาเกมชื่อ Virtools เป็นเครื่องมือในการสร้างงานนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการในการรับชม

รูปแบบการปรับปรุงภูมิทัศน์ของส่วนต่าง ๆ ในพื้นที่ home zone หรือการใช้ซอฟต์แวร์ Quest3D เวอร์ชั่น 3.0 ในการจำลองเหตุการณ์เสมือน (simulation) ของกระบวนการเตรียมงานในพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อประมาณเวลาที่จะใช้ในการทำงานของกระบวนการดังกล่าว (Bargstadt & Blicking, 2005, pp.1549-1558)

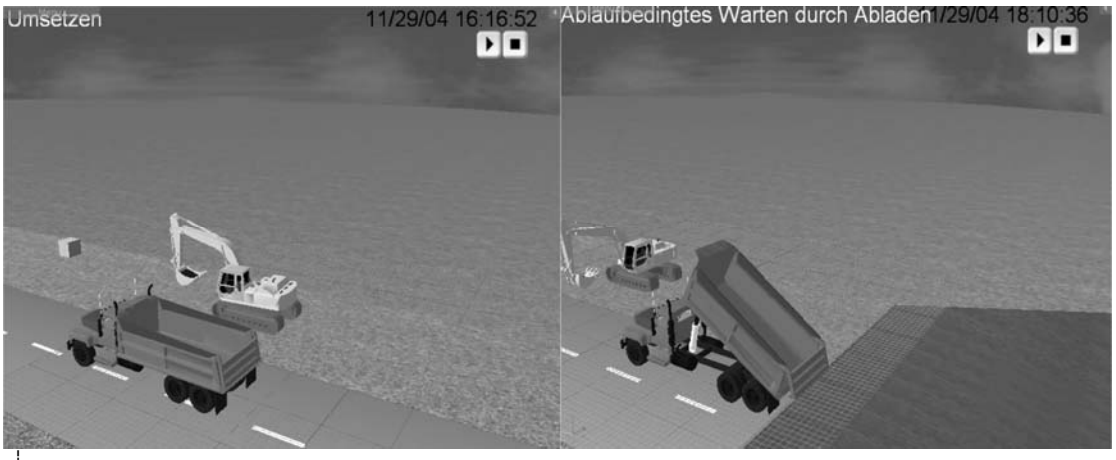
ภาพที่ 2.9

การนำเสนอรูปแบบการปรับปรุงภูมิทัศน์ด้วย Virtools

ที่มา: O' Coil & Doughty, 2004, p.18.

ภาพที่ 2.10

การจำลองกิจกรรมการเตรียมงานในพื้นที่ก่อสร้างด้วย Quest3D 3.0

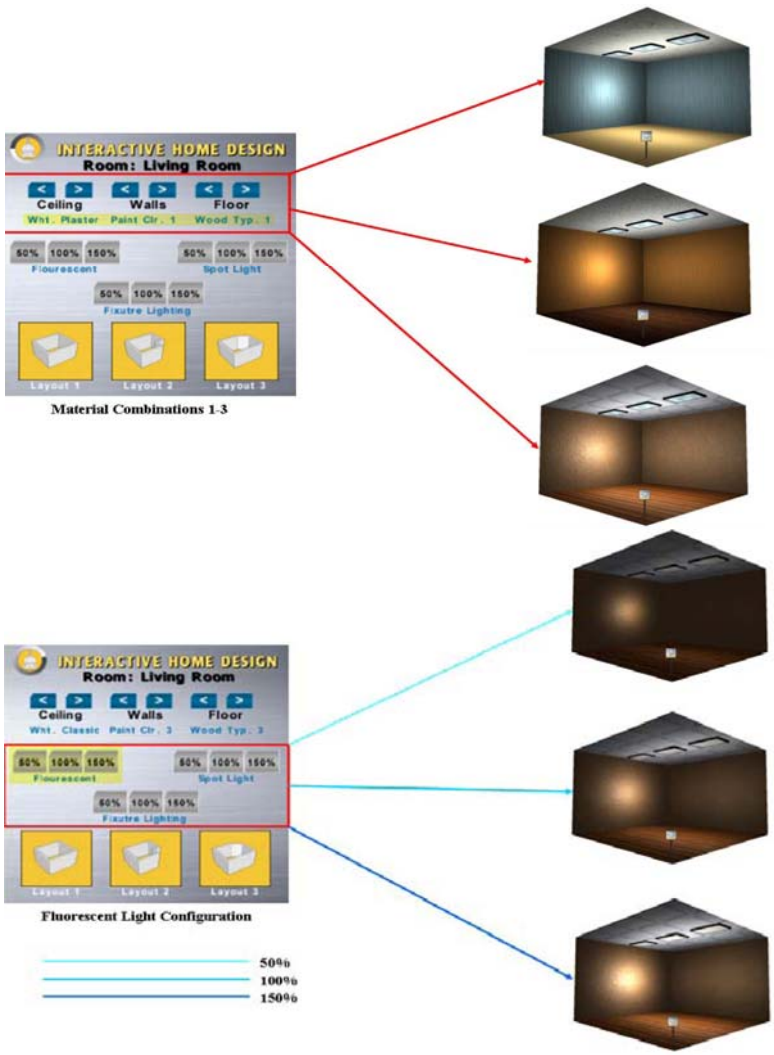


ที่มา: Bargstadt & Blicking, 2005, p.1556.

Kitchens K. and Shiratuddin M. F. (2007, pp.10-19) ทดลองศึกษาแนวทางการเปลี่ยนแปลงงานออกแบบด้วยรูปแบบการปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการของผู้ใช้งาน ที่ใช้ซอฟต์แวร์ C4Engine ในการศึกษา โดยทดลองการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองใน 3 ลักษณะคือ การเลือกใช้วัสดุ การส่องสว่างของแสง และการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองผนังห้อง (ภาพที่ 2.11 และ ภาพที่ 2.12) ซึ่งการศึกษาดังกล่าว ทำให้เห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงส่วนต่าง ๆ ของแบบจำลองที่สามารถปรับแต่งผลลัพธ์ของงานออกแบบได้อิสระมากขึ้นกว่าการใช้เอนจิ้นแสดงผลของเกม 3 มิติ

ภาพที่ 2.11

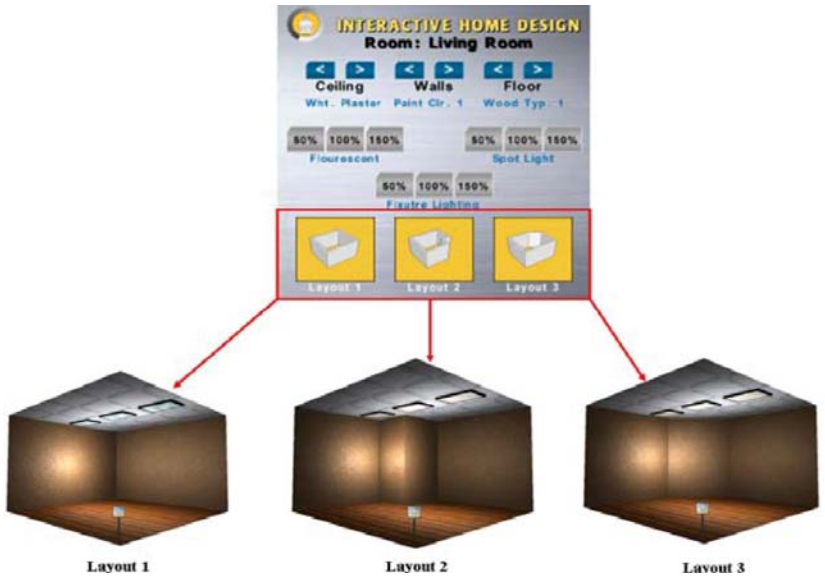
รูปแบบการเปลี่ยนแปลงวัสดุและความส่องสว่างบนแบบจำลองด้วย C4Engine



ที่มา: Kitchens & Shiratuddin, 2007, p.14.

ภาพที่ 2.12

รูปแบบการเปลี่ยนแปลงแบบจำลองผนังห้องด้วย C4Engine



ที่มา: Kitchens & Shiratuddin, 2007, p.15.

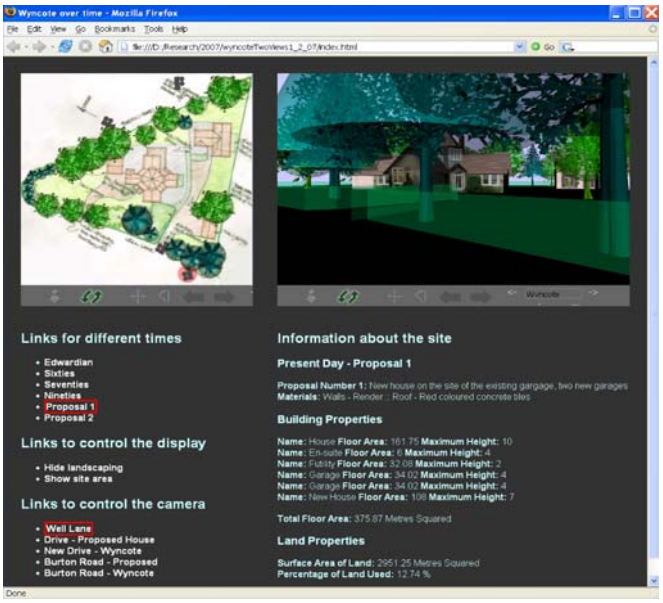
Hetherington and Farrimond (2007, pp. 613-622) นำเสนอประเด็นการปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการกับแบบจำลอง 3 มิติทางสถาปัตยกรรมในรูปแบบการแสดงผลผ่านหน้าเว็บเพจ ที่พัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ X3D และ Ajax ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบการทำงานแบบเว็บแอพพลิเคชั่น 3 มิติ ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างส่วนแสดงผล 2 มิติ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน และส่วนแสดงผล 3 มิติ ให้สามารถทำงานอยู่บนหน้าเว็บเพจเดียวกันได้ โดยไม่ต้องเปิดหน้าต่างของเว็บบราวเซอร์หลาย ๆ หน้าเพื่อทำงานเชื่อมต่อกัน (ภาพที่ 2.13)

Wang and Su (2008, pp. 172-176) พัฒนาระบบนาวิเกเตอร์สำหรับการปฏิสัมพันธ์กับเชิงปฏิบัติการกับแบบจำลองสถาปัตยกรรมที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งถูกพัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ Quest3D เวอร์ชั่น 4.0 โดยผู้วิจัยทั้ง 2 แสดงแนวคิดในการเชื่อมต่อระหว่างการนำตำแหน่งพิกัดของตัวละคร (avatar) ที่ปรากฏบนแบบจำลองแสดงผลในส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานในรูปของแผนที่แสดงผังรวมของโครงการ (layout plan) มาใช้ในการดาวน์โหลดข้อมูลต่าง ๆ ที่จะแสดงในพื้นที่ที่ตัวละครดังกล่าวปรากฏอยู่ เช่น การโหลดแบบจำลองของสภาพแวดล้อมในพื้นที่ดังกล่าว เข้ามาแสดงในแบบจำลอง หรือเมื่อตัวละครเข้าไปภายในอาคาร ระบบจะยกเลิกการโหลดแบบจำลองต่าง ๆ ที่อยู่ภายนอกอาคาร และโหลดแบบจำลองของพื้นที่ภายในอาคารมาแสดงบนหน้าจอแทน ซึ่งผลที่ได้จากลักษณะการเชื่อมต่อการทำงานในรูปแบบดังกล่าวนี้ ทำให้การนำเสนองาน

ออกแบบโครงการขนาดใหญ่ในแบบ real time rendering ผ่านการแสดงผลบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตสามารถทำงานได้รวดเร็วขึ้น

ภาพที่ 2.13

เว็บเพจ 3 มิติที่พัฒนาด้วย X3D และ Ajax



ที่มา: Hetherington and Farrimond, 2007, p.615.

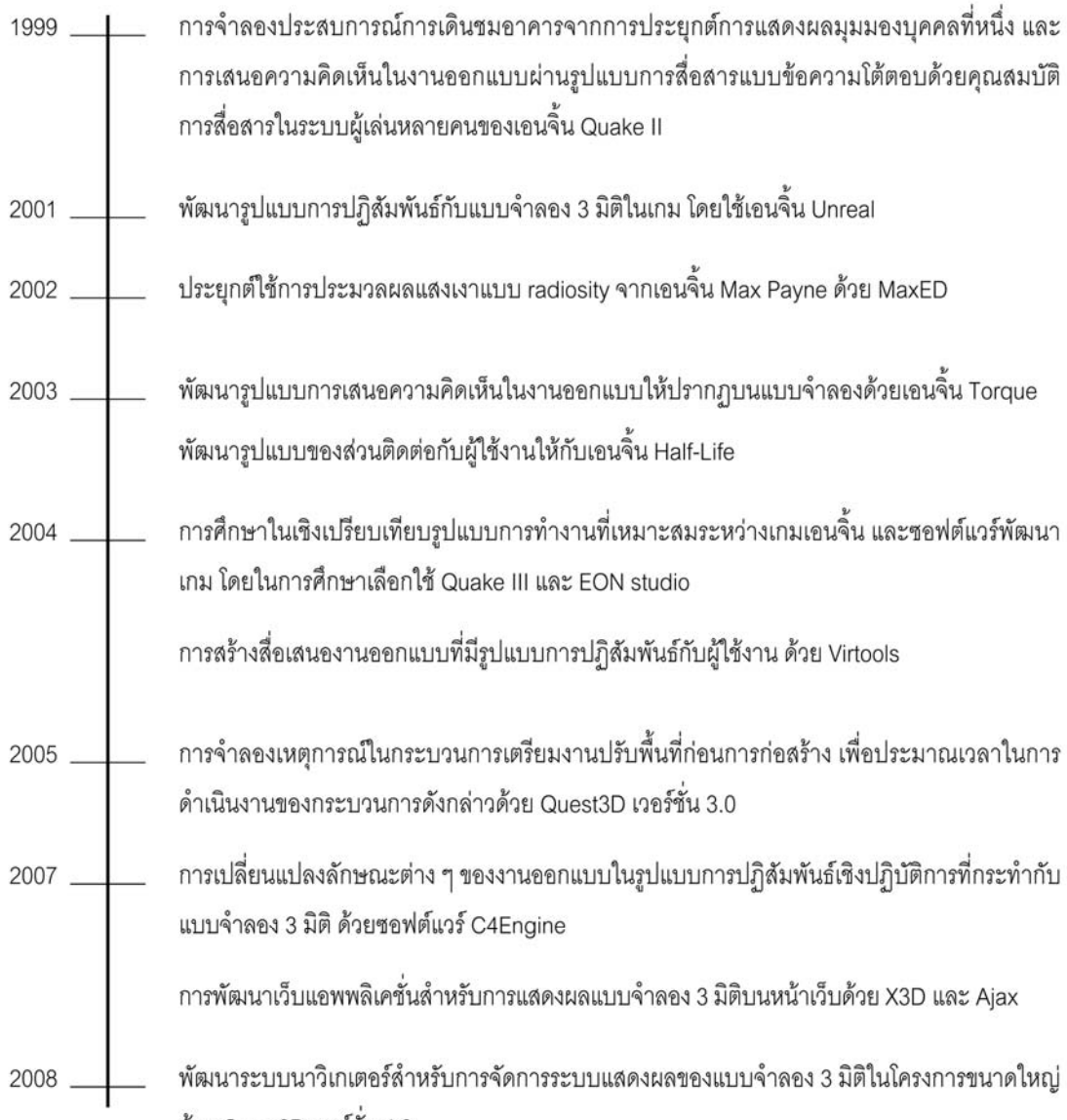
ภาพที่ 2.14

ระบบนาวิเกเตอร์ที่พัฒนาด้วย Quest3D 4.0

ที่มา : Wang & Su, 2008, p.174.

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้สรุปพัฒนาการของการประยุกต์ใช้เอนจิ้นการแสดงผลของเกม 3มิติและซอฟต์แวร์พัฒนาเกมในงานออกแบบสถาปัตยกรรม ดังภาพที่ 2.15

ภาพที่ 2.15
พัฒนาการของการประยุกต์ใช้เอนจิ้นการแสดงผลของเกม 3 มิติและซอฟต์แวร์พัฒนาเกม
ในงานออกแบบสถาปัตยกรรมที่ได้จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง



การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผู้วิจัยเห็นถึงข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการประยุกต์ใช้เอนจิ้นการแสดงผลของเกม 3มิติและซอฟต์แวร์พัฒนาเกมในงานออกแบบสถาปัตยกรรม นั่นคือการรองรับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงหรือการเพิ่มเติมลักษณะการออกแบบในภายหลังของเครื่องมือนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการ โดยจากการศึกษางานวิจัย จะเห็นได้ว่าการแสดงผลงานออกแบบ หรือผลลัพธ์ของการเลือกเปลี่ยนแปลงที่สามารถเป็นไปได้ในงานออกแบบยังคงเกิดขึ้นจากการจัดเตรียมผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในงานออกแบบเอาไว้ล่วงหน้าจากผู้วิจัย เนื่องจากการพัฒนาเครื่องมือในงานวิจัยดังที่ได้ศึกษานั้นเป็นการสร้างเครื่องมือเพื่อตอบรับลักษณะของการปฏิสัมพันธ์จากผู้รับชมซึ่งเป็นผู้ใช้อาคารหรือเจ้าของอาคารเพียงอย่างเดียว โดยยังมิได้ศึกษาถึงการเพิ่มเติมข้อมูลงานออกแบบ เพื่อรองรับการออกแบบเพิ่มเติมจากสถาปนิกหรือนักออกแบบในระหว่างการนำเสนอผลงานออกแบบ หรือการเปลี่ยนแปลงงานออกแบบเข้าไปในระบบของเครื่องมือนำเสนอ ทำให้ผลของการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาเครื่องมือนำเสนอแบบมีปฏิสัมพันธ์ต่าง ๆ เหล่านี้ ยังคงเป็นการพัฒนาเครื่องมือนำเสนอที่มุ่งเน้นการแสดงผลลัพธ์ของงานออกแบบ โดยสถาปนิกหรือนักออกแบบไม่สามารถเพิ่มเติมหรือแก้ไขงานออกแบบ ในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนผลการออกแบบเข้าไปได้

ดังนั้นการพัฒนาระบบสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติในงานวิจัย ควรคำนึงถึงการพัฒนารูปแบบการทำงานของสื่อนำเสนอที่มีความสามารถสำหรับให้นักออกแบบหรือสถาปนิกผู้ออกแบบอาคาร สามารถเพิ่มเติมข้อมูลของทางเลือกในงานออกแบบเข้าไปในเครื่องมือนำเสนองานออกแบบ เพื่อให้การเลือกทางเลือกและการพิจารณาผลลัพธ์ของอาคารจากทางเลือกต่าง ๆ ไม่ถูกจำกัดอยู่ที่การพิจารณาเพียงผลลัพธ์ของงานออกแบบถูกจัดเตรียมไว้เพียงอย่างเดียว ซึ่งในกรณีที่ผู้ใช้หรือเจ้าของอาคารยังไม่เกิดความพึงพอใจในงานออกแบบ สถาปนิกผู้ออกแบบก็สามารถที่จะเพิ่มเติมแนวทางการออกแบบในทางเลือกอื่น ๆ เข้าไปในการนำเสนอ เพื่อให้เจ้าของอาคารสามารถดำเนินการพิจารณาเพื่อตัดสินใจเลือกงานออกแบบต่อไปได้ โดยไม่จำเป็นต้องจัดทำสื่อนำเสนอใหม่ เพื่อนำเสนองานออกแบบทางเลือกที่เพิ่มเติมจากการออกแบบของสถาปนิก

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่ได้ศึกษาทั้งหมดในส่วนนี้ ผู้วิจัยได้สรุปแนวทางการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษา เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาระบบสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติในงานวิจัยดังนี้

1. การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวกับการมีส่วนร่วมในงานออกแบบสถาปัตยกรรม เป็นการศึกษาเบื้องต้นเพื่อสร้างความเข้าใจในนิยาม ความหมาย และลักษณะของการดำเนินการมีส่วนร่วมในงานออกแบบ เพื่อนำไปใช้ในเป็นกรอบแนวความคิดในการพัฒนาระบบสภาพแวดล้อม

เสมือน 3 มิติ สำหรับการพัฒนาสื่อนำเสนอเพื่อสร้างการมีส่วนร่วมในงานออกแบบของเจ้าของอาคาร โดยจากการศึกษาหัวข้อดังกล่าว ทำให้ทราบถึงเป้าหมายและจุดประสงค์ของการเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในการออกแบบของเจ้าของอาคาร นั่นคือ ความต้องการผลการตัดสินใจงานออกแบบของเจ้าของอาคาร เพื่อสถาปนิกจะได้นำผลไปใช้ในการพัฒนางานออกแบบในขั้นตอนการจัดทำเอกสารงานออกแบบเพื่อการก่อสร้างต่อไป ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้กำหนดกรอบแนวความคิดของการออกแบบและพัฒนาระบบนำเสนอในงานวิจัยไว้ที่การทำหน้าที่สนับสนุนการตัดสินใจของเจ้าของอาคาร โดยการปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการที่จะทำการพัฒนาเพิ่มเติมในระบบสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติจะถูกกำหนดกรอบของการทำหน้าที่เป็นเครื่องมือช่วยในการพิจารณาผลลัพธ์ของการเลือกทางเลือกต่าง ๆ ในงานออกแบบ ให้กับเจ้าของอาคาร โดยรายละเอียดในการพัฒนาระบบจะกล่าวถึงในบทต่อไป

2. การศึกษาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติสำหรับงานออกแบบสถาปัตยกรรม เป็นการศึกษาถึงเพื่อให้ทราบถึงแนวทางและวิธีการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติ ในงานสถาปัตยกรรม โดยองค์ความรู้ที่ได้จะนำไปใช้ในการทำงานวิจัยดังต่อไปนี้

2.1 วิธีการสร้างแบบจำลองอาคารสำหรับการประมวลผล 3 มิติในขณะการรับชม

2.2 แนวทางการเลือกเครื่องมือประเภทซอฟต์แวร์พัฒนาเกม ที่จะนำไปใช้ในการสร้างระบบสภาพแวดล้อมเสมือน 3 มิติสำหรับการวิจัย

2.3 วิธีการเชื่อมต่อข้อมูลแบบ 3 มิติที่ได้จากซอฟต์แวร์ออกแบบเพื่อนำไปใช้งานต่อในการทำงานกับซอฟต์แวร์พัฒนาเกม

3. การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผู้วิจัยทราบถึงแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือนำเสนองานออกแบบที่มีปฏิสัมพันธ์เชิงปฏิบัติการกับผู้รับชม และข้อจำกัดของงานวิจัยที่ผ่านมาที่ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ของงานออกแบบได้โดยตรงในขณะการนำเสนอ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงหรือการเพิ่มเติมข้อมูลผลลัพธ์ของงานออกแบบต่าง ๆ ยังคงจำกัดการแก้ไขเพิ่มเติมโดยบุคคลผู้ที่เป็นคนพัฒนาระบบหรือเป็นผู้วิจัยเท่านั้น