

การพัฒนาชุดทดลองกระบวนการในการควบคุมแบบเวลาจริงโดยใช้การจำลองฮาร์ดแวร์ ภายในลูปร่วมกับระบบความจริงเสมือนเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้วิศวกรรมการควบคุม Development of a Real-Time Controlled Laboratory Plant With a Hardware-in-the-Loop simulation and Virtual Reality for Reinforcement of Control Engineering Education

สมหวัง อริสริยวงศ์^{1*} และ ธนดล ดำรงค์ศรีสกุล²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120

โทร 037-322609 โทรสาร 037-322609 *อีเมลล์ somwang@swu.ac.th

Somwang Arisariyawong^{1*} and Tanadol Damrongsisakul²

^{1,2} Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University,
Ongharak, Nakhonnayok, 26120

Tel: 037-322609, Fax: 037-322609, *E-mail: somwang@swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการนำระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูป (Hardware-in-the-Loop Simulation) มาใช้ร่วมกับระบบความจริงเสมือน (Virtual Reality) เพื่อส่งเสริมการศึกษาวิศวกรรมการควบคุม โดยใช้ระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปทำการจำลองกระบวนการที่จะควบคุม ส่วนระบบความจริงเสมือนจะใช้ในการสร้างภาพสามมิติของกระบวนการ ส่วนของซอฟต์แวร์ที่ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ร่วมกับโปรแกรมสร้างภาพสามมิติและในส่วนของฮาร์ดแวร์จะใช้การ์ดดาต้าแอคควิซิชัน (Data Acquisition Card) ในการสร้างสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อจำลองสัญญาณที่เข้าและออกจากกระบวนการ ในการทดลองได้ทำการจำลองทั้งกระบวนการทางไฟฟ้า และ กระบวนการทางกลในแบบเวลาจริง ซึ่งค่าตัวแปรต่างๆที่สำคัญสามารถสังเกตได้ในแบบเวลาจริง จากผลการทดลองพบว่าชุดทดลองที่พัฒนาขึ้นสามารถจำลองกระบวนการได้ดีเมื่อเทียบกับกระบวนการจริงในกรณีที่กระบวนการเป็นเชิงเส้น และสามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิศวกรรมการควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abstract

This paper describes the concept of "hardware-in-the-loop" simulation and virtual reality for reinforcement of control engineering education. The concept of "hardware-in-the-loop" method used to simulate a real plant, while the virtual reality displays the plant in 3D. This environment requires software

tools by MATLAB/SIMULINK and 3D CAD programs. The hardware tools include a data acquisition card and PC for generate the input-output signals from the plant. This host-target real-time environment is implemented and demonstrated by electrical plant and mechanical plant. The values of any parameters in the model can be observed in real-time. This environment allows for extensive experimentation, development of linear plants, and performance comparison with hardware-in-the-loop as shown in the experiments. This environment can be applied for enhancing control engineering education effectively.

1. บทนำ

ในการศึกษาทางด้านวิศวกรรมการควบคุมซึ่งจะต้องใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ขั้นสูงเป็นหลักในการเรียนการสอน ทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ยากและเกิดความเบื่อหน่ายในการเรียนทำให้การเรียนรู้ไม่สัมฤทธิ์ผลตามที่ต้องการ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจะต้องเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดลองนำความรู้จากทฤษฎีมาใช้ปฏิบัติจริง โดยจะพบว่าชุดทดลองในปัจจุบันจะมีอยู่สองลักษณะคือ ชุดทดลองระบบควบคุมกระบวนการด้วยการจำลองบนคอมพิวเตอร์ และ ชุดทดลองระบบควบคุมกระบวนการที่เป็นฮาร์ดแวร์ซึ่งจำลองมาจากกระบวนการในอุตสาหกรรม ชุดทดลองระบบควบคุมกระบวนการด้วยการจำลองบนคอมพิวเตอร์ มีข้อดีคือ สะดวกและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือผู้เรียนมองไม่เห็นภาพในทางปฏิบัติได้ชัดเจน ส่วนชุดทดลองระบบควบคุมกระบวนการที่เป็นฮาร์ดแวร์ซึ่ง

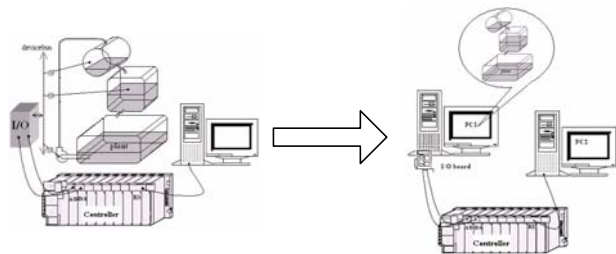
จำลองมาจากกระบวนการในอุตสาหกรรม มีข้อดีคือผู้เรียนมองเห็นภาพในเชิงปฏิบัติ แต่มีข้อเสียตรงที่รูปแบบการทดลองไม่ยืดหยุ่น เพราะถูกจำกัดด้วยอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์ ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของชุดทดลองในปัจจุบันงานวิจัยนี้จึงได้นำหลักการของระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูป (Hardware-in-the-Loop Simulation System) และ ระบบความจริงเสมือน (Virtual Reality) มาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาต้นแบบชุดทดลองกระบวนการในการควบคุมแบบเวลาจริงเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของการทดลองทั้งสองลักษณะข้างต้น โดยระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปจะจำลองการทำงานของชิ้นส่วนบางชิ้นหรือทั้งหมดของกระบวนการด้วยซอฟต์แวร์ แต่ส่วนที่เป็นสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต ของกระบวนการ เช่น สัญญาณจากเซนเซอร์ต่าง ๆ จะเป็นสัญญาณที่สร้างขึ้นจากการวัดประมวลผลข้อมูล (Data Acquisition Card) ซึ่งสามารถใช้เครื่องมือวัดทำการตรวจวัดสัญญาณได้ และ มีการสร้างภาพของกระบวนการด้วยระบบความจริงเสมือนในลักษณะภาพสามมิติ

ระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบและ ทดสอบ ระบบควบคุมในอุตสาหกรรมเพื่อลดเวลา ลดความผิดพลาด และ ลดต้นทุนการผลิต [1,2,3] ในส่วนทางด้านการศึกษานั้นก็ ได้เริ่มมีการนำระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปมาช่วยในการเรียนการสอนเช่นกัน [4,5] ในส่วนของระบบความจริงเสมือนนั้นได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่แล้วจะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงผลในลักษณะสามมิติ [6,7,8,9]

บทความนี้เริ่มต้นจะกล่าวถึงภาพรวมของระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปและระบบความจริงเสมือน จากนั้นจะเป็นการนำเสนอ การทดลอง ผลการทดลอง สรุปผลการทดลอง และ การประยุกต์ใช้งาน

2. ระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูป (Hardware-in-the-Loop Simulation System)

ระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูป (Hardware-in-the-Loop Simulation System) หมายถึง ระบบที่ทำการจำลองการทำงานของชิ้นส่วนบางชิ้นหรือทั้งหมดของกระบวนการด้วยซอฟต์แวร์ โดยที่สัญญาณเข้าและออกจากกระบวนการที่จำลองขึ้นจะเป็นสัญญาณจริงที่สามารถตรวจวัดได้ หลักการของระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



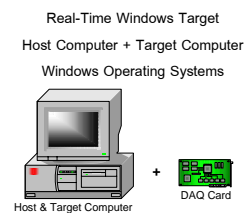
รูปที่ 1 หลักการของระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูป
จากรูปที่ 1 จะพบว่ากระบวนการจริงทางด้านซ้ายมือจะถูกแทนด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งมีการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ของกระบวนการเอาไว้แล้ว ส่วนสัญญาณเข้าและออกจากกระบวนการจะถูกสร้างขึ้นผ่านทางการ์ดดาต้าแอคควิซิชัน (Data Acquisition Card)

2.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูป

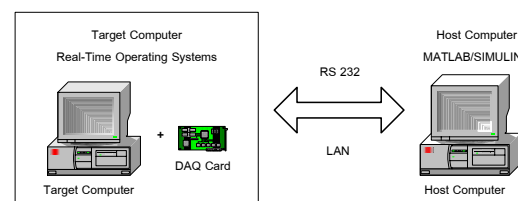
ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการขึ้นมานั้นจะใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK [10] เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในสาขาวิศวกรรมการควบคุม และ ตัวโปรแกรมเองก็มีความสามารถในการติดต่อกับการประมวลผลข้อมูลที่ผลิตจากบริษัทต่างๆ อีกทั้งยังมีความสามารถในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ทำงานแบบเวลาจริงได้อีกด้วย [11] ในส่วนของการจำลองกระบวนการแบบเวลาจริงนั้นโปรแกรม MATLAB/SIMULINK จะแบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ

1. Real-Time Windows Target คือ การทำให้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK สามารถติดต่อกับการประมวลผลข้อมูล และ ทำงานแบบเวลาจริงได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โดยจะต้องมี Real-Time Windows Target Toolbox ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เสริมของ MATLAB/SIMULINK อยู่ด้วย คาบเวลาสุ่มทำได้ในระดับมิลลิวินาที รูปแบบการใช้งาน Real-Time Windows Target สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการใช้งานของ Real-Time Windows Target

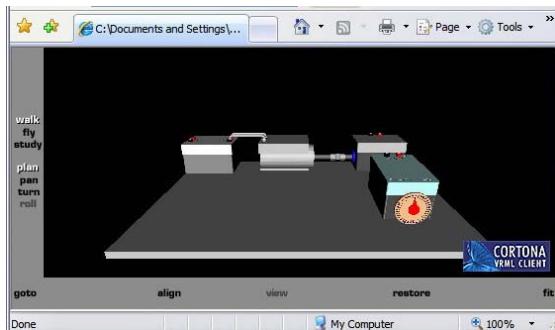
2. xPC Target คือ การทำให้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK สามารถติดต่อกับการประมวลผลข้อมูล และ ทำงานแบบเวลาจริงโดยใช้ระบบปฏิบัติการแบบเวลาจริง โดยจะต้องมี xPC Target Toolbox ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เสริมของ MATLAB/SIMULINK อยู่ด้วย ดังนั้นจะต้องมีคอมพิวเตอร์สองเครื่อง เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องแรกไว้สำหรับเขียนโปรแกรมแล้วดาวน์โหลดโค้ดที่เขียนไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องที่สองเพื่อให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นทำงานแบบเวลาจริง คาบเวลาสุ่มสามารถทำได้ในระดับไมโครวินาที รูปแบบการใช้งาน xPC Target สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบการใช้งานของ xPC Target
ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองใช้ทั้งสองรูปแบบเพื่อศึกษาถึงข้อดีข้อเสียและขีดจำกัดของแต่ละรูปแบบ

3. ระบบความจริงเสมือน

เพื่อให้กระบวนการที่จำลองขึ้นมีความใกล้เคียงกับกระบวนการจริงจึงได้มีการนำระบบความจริงเสมือนมาใช้เพื่อสร้างภาพสามมิติของกระบวนการ โดยภาพสามมิติของกระบวนการที่สร้างขึ้นนั้นสามารถแสดงผลอยู่ในเว็บเบราว์เซอร์เพื่อให้สามารถรองรับการพัฒนาต่อไปได้ ซึ่งภาพสามมิติที่สร้างขึ้นนั้นจะใช้โปรแกรม Solid Work ร่วมกับโปรแกรม 3d Studio Max หลังจากได้ภาพสามมิติแล้วจะต้องนำภาพที่ได้เข้าสู่โปรแกรม V-Realm Builder เพื่อไปแก้ไขแกนอ้างอิงให้เหมาะสมกับการแสดงผลในเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งภาพจำลองของกระบวนการที่สร้างขึ้นจะมีการตอบสนองสัมพันธ์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่ได้สร้างไว้ตามหัวข้อ 2.1 ตัวอย่างภาพสามมิติของกระบวนการที่จำลองขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ส่วนรูปที่ 5 แสดงกระบวนการจริง



รูปที่ 4 ภาพสามมิติของกระบวนการที่จำลองขึ้น



รูปที่ 5 กระบวนการจริง

4. การนำระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปมารวมกับระบบความจริงเสมือน

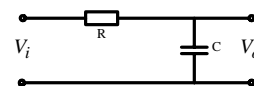
ในการนำระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปมารวมกับระบบความจริงเสมือนเพื่อให้เป็นระบบที่สมบูรณ์จะต้องใช้ Real-Time Windows Target Toolbox หรือ xPC Target Toolbox ร่วมกับ Virtual Reality Toolbox [12] ซึ่งทั้งหมดเป็นซอฟต์แวร์เสริมของ MATLAB/SIMULINK โดยที่ Real-Time Windows Target Toolbox และ xPC Target Toolbox ทำให้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK สามารถติดต่อกับการประมวลผลข้อมูลและทำงานได้แบบเวลาจริง ส่วน Virtual Reality Toolbox ทำหน้าที่แสดงผลภาพสามมิติในเว็บเบราว์เซอร์

5. การทดลองและผลการทดลอง

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการตอบสนองของกระบวนการ ระหว่างกระบวนการจริงกับกระบวนการจำลองที่สร้างขึ้นจากระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูป โดยทดลองกับกระบวนการทางไฟฟ้าและกระบวนการทางกล โดยทั้งกระบวนการทางไฟฟ้าและกระบวนการทางกลแบ่งการทดลองออกเป็นสองรูปแบบคือ Real-Time Windows Target และ xPC Target

5.1 การทดลองกรณีกระบวนการทางไฟฟ้า

กระบวนการทางไฟฟ้าที่จะนำใช้ในการทดลองเป็นวงจร RC อินทิเกรเตอร์ ซึ่งลักษณะของวงจรเป็นดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจร RC อินทิเกรเตอร์

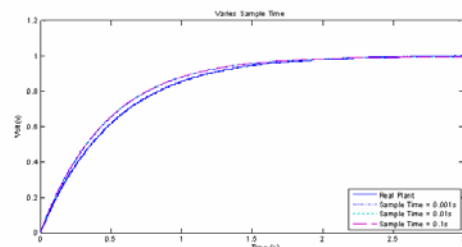
ซึ่งจะได้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) เป็นดังนี้

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{RCs + 1} = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (1)$$

ในการทดลองจะทำการป้อนอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นหนึ่งหน่วยที่คาบเวลาสุ่มต่างๆ เพื่อดูผลกระทบของคาบเวลาสุ่มต่อค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการจริงกับกระบวนการจำลองที่สร้างขึ้นจากระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูป ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 และ 2 ส่วนรูปที่ 7 และ 8 แสดงผลการตอบสนอง

ตารางที่ 1 ค่า Root Mean Square Error (RMSE) กรณีการจำลองกระบวนการทางไฟฟ้า ($\tau = 0.47$ s) กรณี Real-Time Windows Target เมื่อเปลี่ยนคาบเวลาสุ่มเป็น 0.001s, 0.01s และ 0.1s

คาบเวลาสุ่ม (Sample Time) (s)	0.001	0.01	0.1
RMSE	1.52%	1.64%	1.93%

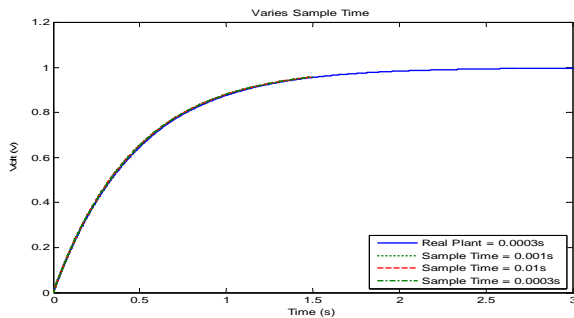


รูปที่ 7 ผลการตอบสนองกรณีการจำลองกระบวนการทางไฟฟ้า

($\tau = 0.47$ s) กรณี Real-Time Windows Target เมื่อเปลี่ยนคาบเวลาสุ่มเป็น 0.001s, 0.01s และ 0.1s

ตารางที่ 2 ค่า Root Mean Square Error (RMSE) กรณีการจำลอง
กระบวนการทางไฟฟ้า ($\tau = 0.47$ s) กรณี xPC Target
เมื่อเปลี่ยนคาบเวลาสุ่มเป็น 0.0003s, 0.001s และ 0.01s

คาบเวลาสุ่ม (Sample Time) (s)	0.0003	0.001	0.01
RMSE	0.23%	1.60%	1.70%

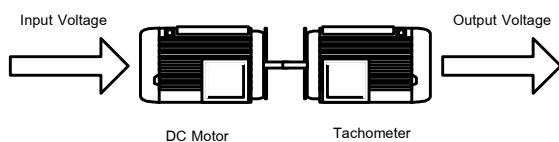


รูปที่ 8 ผลการตอบสนองกรณีการจำลองกระบวนการทางไฟฟ้า
($\tau = 0.47$ s) กรณี xPC Target เมื่อเปลี่ยนคาบเวลาสุ่มเป็น
0.0003s, 0.001s และ 0.01s

จากตารางที่ 1 และ 2 และ รูปที่ 7 และ 8 จะพบว่าถ้า
คาบเวลาสุ่มลดต่ำลงค่าความผิดพลาดก็จะลดลงด้วย แต่ในกรณีที่ใช้
xPC Target จะสามารถลดคาบเวลาสุ่มได้ต่ำกว่ากรณีที่ใช้ Real-
Time Windows Target

5.2 การทดลองกรณีกระบวนการทางกล

ในการทดลองกระบวนการทางกลนั้นจะป้อนอินพุตเป็น
แรงดันไฟฟ้าลักษณะฟังก์ชันขั้นให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแล้ววัด
เอาท์พุทในรูปของความเร็วเชิงมุม ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การทดลองกระบวนการทางกล

จากรูปที่ 9 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการ
ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอนได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K_e^{-1}}{\left(\frac{RJ}{K_e K_t} \right) s + 1} \quad (2)$$

โดย

$\omega(s)$	คือ	ความเร็วเชิงมุม (rad/s)
$V(s)$	คือ	แรงดันไฟฟ้า (Volt)
J	คือ	โมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์ ($\text{Kg.m}^2/\text{s}^2$)
K_e, K_t	คือ	ค่าคงที่ของมอเตอร์ (Nm/A)

R คือ ความต้านทานของมอเตอร์ (Ω)

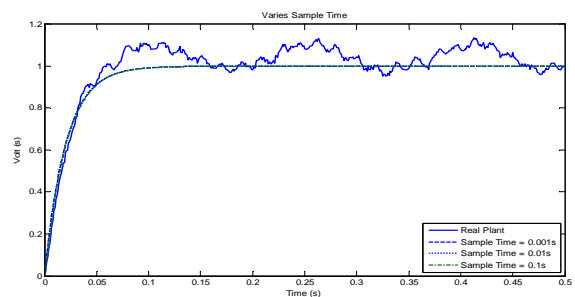
แทนค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ลงในฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้ว่า

$$G(s) = \frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{26.17}{0.0205s + 1} \quad (3)$$

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 และ 4 ส่วนรูปที่ 10 และ 11
แสดงผลการตอบสนอง

ตารางที่ 3 ค่า Root Mean Square Error (RMSE) กรณีกระบวนการ
ทางกลเมื่อใช้ Real-Time Windows Target โดยคาบเวลาสุ่ม
ที่ใช้คือ 0.001s, 0.01s และ 0.1s

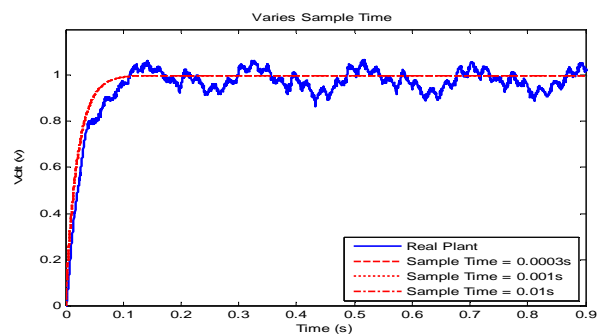
คาบเวลาสุ่ม (Sample Time) (s)	0.001	0.01	0.1
RMSE	7.13%	10.24%	26.50%



รูปที่ 10 ผลการตอบสนองกรณีการจำลองกระบวนการทางกล กรณี
Real-Time Windows Target เมื่อเปลี่ยนคาบเวลาสุ่มเป็น
0.001s, 0.01s และ 0.1s

ตารางที่ 4 ค่า Root Mean Square Error (RMSE) กรณีกระบวนการ
ทางกลเมื่อใช้ xPC Target โดยคาบเวลาสุ่มที่ใช้คือ 0.0003s,
0.001s และ 0.01s

คาบเวลาสุ่ม (Sample Time) (s)	0.0003	0.001	0.01
RMSE	5.15%	7.13%	10.24%



รูปที่ 11 ผลการตอบสนองกรณีการจำลองกระบวนการทางกล กรณี
xPC Target เมื่อเปลี่ยนคาบเวลาสุ่มเป็น 0.0003s, 0.001s
และ 0.01s

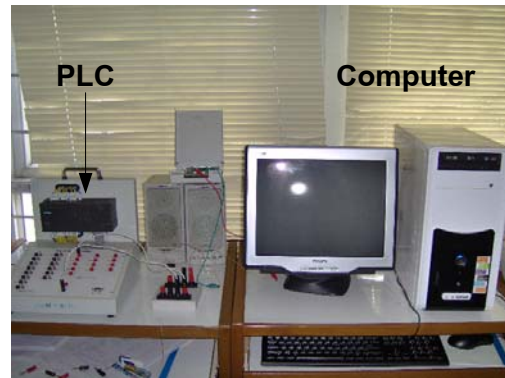
จากตารางที่ 3 และ 4 และ รูปที่ 10 และ 11 จะพบว่าถ้าคาบเวลาสุ่มลดต่ำลงค่าความผิดพลาดก็จะลดลงด้วย แต่ในกรณีที่ใช้ xPC Target จะสามารถลดคาบเวลาสุ่มได้ต่ำกว่ากรณีที่ใช้ Real-Time Windows Target และมีการแกว่งของสัญญาณ ณ สภาวะคงตัว

6. สรุปผลการทดลอง

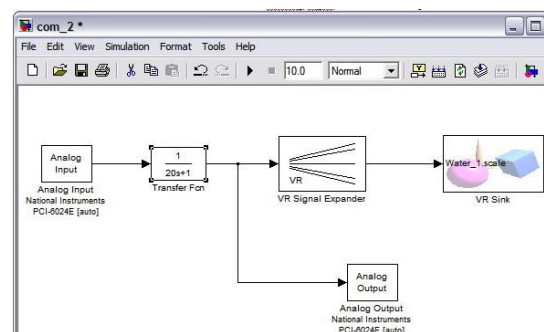
จากผลการทดลองทั้งในกรณีของกระบวนการทางไฟฟ้าและกระบวนการทางกลจะพบว่าเมื่อคาบเวลาสุ่มลดค่าความผิดพลาดก็จะลดลงด้วย แต่ในกรณีของ xPC Target สามารถทำคาบเวลาสุ่มได้ต่ำกว่า Real-Time Windows Target และจะพบว่ากระบวนการทางไฟฟ้ามีค่าความผิดพลาดต่ำกว่ากระบวนการทางกล ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการที่จำลองขึ้นมาเป็นแบบจำลองเชิงเส้น ซึ่งกระบวนการทางไฟฟ้ามีความเป็นเชิงเส้นสูงกว่ากระบวนการทางกล เมื่อนำระบบความจริงเสมือนไปรวมกับระบบจำลองฮาร์ดแวร์ภายในลูปจะพบว่าการเคลื่อนไหวของภาพจะช้ากว่าที่ควรจะเป็นเมื่อเทียบกับกระบวนการจริง ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าคอมพิวเตอร์จะต้องเสียเวลาส่วนหนึ่งมาทำการแสดงผลในสามมิติ แต่เมื่อลดคาบเวลาสุ่มลงจะพบว่าภาพเคลื่อนไหวได้เร็วขึ้นและใกล้เคียงกับกระบวนการจริงแต่ค่าความผิดพลาดก็จะสูงตามด้วย แนวทางการแก้ไขคือใช้การ์ดแสดงผลและคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็จะช่วยได้ ดังนั้นถ้ากระบวนการใดที่ไม่ต้องการคาบเวลาสุ่มต่ำมากนักก็ควรใช้ Real-Time Windows Target จะเหมาะสมกว่าเนื่องจากจะประหยัดคอมพิวเตอร์ลงได้หนึ่งตัว แต่ถ้ากระบวนการใดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วก็ควรใช้ xPC Target จะเหมาะสมกว่าเพราะสามารถกำหนดคาบเวลาสุ่มให้ลดลงได้ถึงระดับไมโครวินาที แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ไม่ควรที่จะสร้างภาพสามมิติให้มีความละเอียดจนเกินไปเนื่องจากจะทำให้การแสดงผลช้าลง

7. การนำไปประยุกต์ใช้งาน

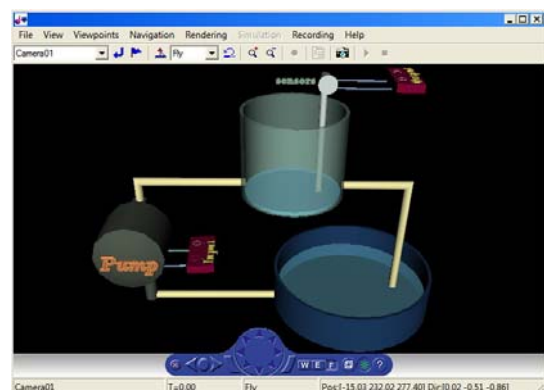
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 12 กล่าวคือ ผู้สอนสามารถสร้างแบบจำลองของกระบวนการใดๆก็ได้ลงในคอมพิวเตอร์ จากนั้นให้ผู้เรียนออกแบบระบบควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการที่จำลองขึ้น โดยในรูปที่ 12 ระบบควบคุมที่นำมาทดลองคือ พี แอล ซี (PLC) ส่วนรูปที่ 13 จะแสดงตัวอย่างโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อจำลองกระบวนการ และ รูปที่ 14 เป็นตัวอย่างการจำลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง



รูปที่ 12 การประยุกต์ใช้งานโดยใช้ตัวควบคุมเป็น พี แอล ซี



รูปที่ 13 ตัวอย่างโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อจำลองกระบวนการ



รูปที่ 14 ตัวอย่างการจำลองกระบวนการควบคุมระดับน้ำในถัง

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประเภททุนไม่กำหนดทิศทาง ประจำปี 2549

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Isermann, J. Schaffnit and S. Sinsel, 1999. Hardware-in-the-loop simulation for design and testing of engine-control systems, *Control Engineering Practice*, Pergamon, vol.7, pp.643-653.
- [2] M. Linjama, T. Virvalo, J. Gustafsson, J. Lintula, V. Aaltonen and M. Kivikoski, 2000. Hardware-in-the-loop environment for servo controller design, tuning and testing, *Microprocessors and Microsystems*, Elsevier, vol.24, pp.13-21.
- [3] Kenji Hagiwara, Satoshi Terayama, Youhei Takeda, Ko Yoda and Shoichi Suzuki, 2002. Development of automatic transmission control system using hardware-in-the-loop simulation system, *JSAE Review*, Elsevier, vol.23, pp.55-59.
- [4] Panayiotis S. Shiakolas and Damrongrit Piyabongkarn, 2003. Development of a Real-Time Digital Control System With a Hardware-in-the-Loop magnetic Levitation Device for Reinforcement of Controls Education, *IEEE Trans. on Education*, vol.46, no.46, pp.79-87.
- [5] Wojciech Grega, 1999. Hardware-in-the-loop simulation and its application in control education, *The 29th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, San Juan, Puerto Rico, Nov 10-13, pp.12b6-7 – 12b6-12.
- [6] R. Bowen Loftin, Mark Engelberg and Robin Benedetti, 1993. Applying Virtual Reality in Education: A Prototypical Virtual Physics Laboratory, *IEEE Symposium on Research Frontiers in Virtual Reality*, Oct. 25-26, CA.
- [7] Min Jou, Han-Wei Zhang and Chia-Wan Lin, 2005. Development of an Interactive e-Learning System to Improve Manufacturing Technology Education, *IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies*, July 5-8.
- [8] Chien Chou, Chin-Chung Tsai and Hsiu-Fei Tsai, 2001. Developing a networked VRML learning system for health science education in Taiwan, *International Journal of Educational Development*, Vol.21, pp.293-303.
- [9] Hasan Esen, Ken ichi Yano and Martin Buss, 2004. A Virtual Environment Medical Training System For Bone Drilling with 3 DOF Force Feedback, *Proc. Int. Conf. on Intelligent Robotics and Systems*, Sept. 28 – Oct. 2, Japan.
- [10] The Mathworks—MATLAB and Simulink for technical computing, <http://www.mathworks.com>.
- [11] สมหวัง อริสริยวงศ์, 2548. การประยุกต์ใช้ MATLAB/SIMULINK ในการควบคุมแบบเวลาจริง, การประชุมวิชาการทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและหุ่นยนต์ นนทบุรี, 16-17 มิถุนายน 2548, หน้า 74-78
- [12] Virtual Reality Toolbox, <http://www.mathworks.com/products/virtualreality> (accessed on June 2007)