การใช้ข่ายงานนิวรัลเป็นตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้น

นายสันติ ลิ้มพรชัยเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-621-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17180405

USE OF NEURAL NETWORKS AS NONLINEAR CONTROLLERS

Mr. Santi Limpornchaijaroen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-621-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ข่ายงานนิวรัลเป็นตัวควบคุมแบบไม่เชิงเส้น
โดย	นาย สันติ ลิ้มพรชัยเจริญ
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.มนตรี วงศ์ศรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. มนตรี วงศ์ศรี)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ไพศาล กิตติศุภกร)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพาณิชกุล)

หน้า

รูปที่ 6.35 การเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนที่เวลาต่าง ๆ ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง.....116
รูปที่ 6.36 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....117
รูปที่ 6.37 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....118
รูปที่ 6.38 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....119
รูปที่ 6.39 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....120
รูปที่ 6.40 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....121
รูปที่ 6.41 ผลการควบคุมของตัวควบคุมแบบพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....122
รูปที่ 6.42 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....123
รูปที่ 6.43 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....123
รูปที่ 6.44 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....124
รูปที่ 6.45 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....124
รูปที่ 6.46 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....125
รูปที่ 6.47 ผลการควบคุมของตัวควบคุมแบบพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 10 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....125

หน้า

รูปที่ 6.48 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....126
รูปที่ 6.49 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....126
รูปที่ 6.50 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....127
รูปที่ 6.51 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....127
รูปที่ 6.52 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....128
รูปที่ 6.53 ผลการควบคุมของตัวควบคุมแบบพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 15 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....128
รูปที่ 6.54 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....130
รูปที่ 6.55 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....131
รูปที่ 6.56 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....132
รูปที่ 6.57 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....133
รูปที่ 6.58 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....134

หน้า

รูปที่ 6.59 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง ที่มีเดดไทม์ 5 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....135
รูปที่ 6.60 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....137
รูปที่ 6.61 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....138
รูปที่ 6.62 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....139
รูปที่ 6.63 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....140
รูปที่ 6.64 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....141
รูปที่ 6.65 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....142
รูปที่ 6.66 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....143
รูปที่ 6.67 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....143
รูปที่ 6.68 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....144
รูปที่ 6.69 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....144
รูปที่ 6.70 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....145
รูปที่ 6.71 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....145

หน้า

รูปที่ 6.72 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....146
รูปที่ 6.73 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....146
รูปที่ 6.74 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....147
รูปที่ 6.75 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....147
รูปที่ 6.76 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....148
รูปที่ 6.77 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ.....148
รูปที่ 6.78 การเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนที่เวลาต่าง ๆ ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....149
รูปที่ 6.79 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....150
รูปที่ 6.80 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....151
รูปที่ 6.81 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....152
รูปที่ 6.82 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....153
รูปที่ 6.83 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....154
รูปที่ 6.84 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....155

หน้า

รูปที่ 6.85 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....156
รูปที่ 6.86 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....156
รูปที่ 6.87 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....157
รูปที่ 6.88 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....157
รูปที่ 6.89 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....158
รูปที่ 6.90 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 6 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....158
รูปที่ 6.91 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....159
รูปที่ 6.92 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....159
รูปที่ 6.93 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....160
รูปที่ 6.94 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....160
รูปที่ 6.95 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....161
รูปที่ 6.96 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 9 วินาที โดยตัวรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงแบบสเต็พ.....161
รูปที่ 6.97 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 1 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ.....162

หน้า

รูปที่ 6.98 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 2 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ....163
รูปที่ 6.99 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 3 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ....164
รูปที่ 6.100 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 4 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ....165
รูปที่ 6.101 ผลการควบคุมของโครงสร้างการควบคุมที่ 5 ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ....166
รูปที่ 6.102 ผลการควบคุมของตัวควบคุมพีไอดี ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง ที่มีเดดไทม์ 3 วินาที โดยมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของกระบวนการ....167
รูปที่ ข.1 การเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการไว้ในหน่วยความจำ....188
รูปที่ ข.2 แสดงผลการซิมมูเลทสมการอนุพันธ์ f500.M โดยใช้ฟังก์ชัน ODE45.M....193
รูปที่ ข.3 แสดงผลการซิมมูเลทโดยใช้ใช้ฟังก์ชัน ODE45.M....199
รูปที่ ข.4 แสดงผลการซิมมูเลทโดยใช้ใช้ฟังก์ชัน RKSTEP4.M....199
รูปที่ ค.1 ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ....203
รูปที่ ค.2 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีไอ....207
รูปที่ ค.3 การตอบสนองของตัวควบคุมแบบพีดี....207
รูปที่ ค.4 การจูนตัวควบคุมแบบพีไอดีโดยวิธีของ “ซิเกลอร์-นิโคลส์” เมื่อ $K_C < K_{CU}$....209
รูปที่ ค.5 การจูนตัวควบคุมแบบพีไอดีโดยวิธีของ “ซิเกลอร์-นิโคลส์” เมื่อ $K_C = K_{CU}$....209
รูปที่ ค.6 การจูนตัวควบคุมแบบพีไอดีโดยวิธีของ “ซิเกลอร์-นิโคลส์” เมื่อ $K_C > K_{CU}$....210
รูปที่ ค.7 ลักษณะการตอบสนองของกระบวนการ....212

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
5.1	ข้อมูลสำหรับถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง	79
5.2	สภาวะในการปฏิบัติการของระบบ nonisothermal CSTR ที่สภาวะคงตัว	83
6.1	ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง โดยมีอินพุทเวคเตอร์ และจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน	95
6.2	ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่องโดยมีอินพุทเวคเตอร์ และจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน	96
6.3	ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของแบบจำลองผกผัน ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง โดยมีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน	101
6.4	ผลรวมของค่าผิดพลาดยกกำลังสองของแบบจำลองผกผัน ของเครื่องปฏิกรณีถังกวนแบบต่อเนื่อง โดยมีจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนที่แตกต่างกัน	101
6.5	ผลการควบคุมระดับของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ ที่เดดไทม์ 5 วินาที 10 วินาที และ 15 วินาที ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง	116
6.6	ผลการควบคุมระดับของเหลวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวรบกวนแบบสเต็พ ที่เดดไทม์ 5 วินาที 10 วินาที และ 15 วินาที ของกระบวนการถังที่มีของเหลวไหลตามแรงโน้มถ่วง	129
6.7	ผลการควบคุมความเข้มข้นของสาร A ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเซ็ทพอยท์แบบสเต็พ ที่เดดไทม์ 3 วินาที 6 วินาที และ 9 วินาที ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง	136

ตารางที่ หน้า

6.8 ผลการควบคุมความเข้มข้นของสาร A ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าตัวรบกวนแบบสเต็พ ที่เดดไทม์ 3 วินาที 6 วินาที และ 9 วินาที ของเครื่องปฏิกรณ์ถังกวนแบบต่อเนื่อง.....149

คำอธิบายสัญลักษณ์

q	อัตราการไหลของสายป้อน (l/min)
C_{Af}	ความเข้มข้นเริ่มต้นของสาร A (mol/l)
T_0	อุณหภูมิของสายป้อน (K)
C_A	ความเข้มข้นของสาร A (mol/l)
T	อุณหภูมิของระบบ (K)
q_c	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น (l/min)
T_{Cf}	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาเข้า (K)
T_C	อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นขาออก (K)
V	ปริมาตรของถังปฏิกรณ์ (l)
ρ	ความหนาแน่นของสารในถังปฏิกรณ์ (g/l)
ρ_C	ความหนาแน่นของน้ำหล่อเย็น (g/l)
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (cal/min.K)
k_0	สัมประสิทธิ์อัตราการเกิดปฏิกิริยา (min^{-1})
E/R	พลังงานกระตุ้น / ค่าคงที่ของก๊าซ (K)
$-\Delta H$	ความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยา (cal/min)
F_0	อัตราการไหลของเหลวขาเข้า (ft^3/s)
F	อัตราการไหลของเหลวขาออก (ft^3/s)
h	ความสูงของระดับของเหลวในถัง (ft)
A_T	พื้นที่หน้าตัดของถัง
L	ความยาวของท่อขาออก (ft)
A_p	พื้นที่หน้าตัดของท่อขาออก (ft^2)
ID_p	เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อขาออก (ft)
ID_T	เส้นผ่าศูนย์กลางของถัง (ft)
v	ความเร็วของเหลวขาออก (ft/s)