

## 1. 研究動機與目的

程序控制應該是最接近工廠日常生產操作的一門課，然而，大部分化工系畢業的學生，對於程序控制的瞭解，應該會認為是拉氏轉換(Laplace Transform)的升級版，部分大學部的畢業生甚至分辨不清受控變數(Controlled Variable)和操作變數(Manipulated Variable)的差異。可能的原因來自於授課內容抽象化，利用拉氏轉換將程序與控制器轉換成方程式，藉此表達控制理論及原理，雖然有助於邏輯的推演及公式的推導，然而，大部分學生也就迷失在這些方程式中，無法理解程序控制這門課的實用性。表 1 列出程控教科書<sup>1</sup>的目錄，第 1 章簡介之後，學生可能在期中考前，都在研讀 2-4 章程序模式抽象化的技巧。第 5 章介紹控制系統元件之後，在第 6 章以方塊流程圖(Block Diagram)統整控制器與程序模式。終於，在第 7 章談到控制器參數的調諧方法，這部分往往是化工廠的程序工程師最需具備的能力，可惜學期應該快要結束。8-9 章應用複變數探討系統的穩定性，數學能力不是太好的學生，應該在這裡就會放棄這門課程，大概也就是學期結束。反而分散式控制系統(Distributed Control System、DCS)經常使用的串級控制(Cascade Control)、凌駕控制(Override Control)、比例控制(Ratio Control)...等，列在教科書<sup>1</sup>的 10-12 章，大學部畢業生可能都沒聽過。因此，本研究希望能大幅降低這門課的數學比重，取而代之，以動態模擬器 Aspen Hysys 模擬操作單元與控制器，利用實作的方式，讓學生理解程序控制這門課的內容，畢業後能具有程序工程師的基本能力。

表 1：教科書目錄<sup>1</sup>

Chapter 1	Introduction
Chapter 2	Mathematical Tools for Control Systems Analysis
Chapter 3	First-Order Dynamic Systems
Chapter 4	Higher-Order Dynamic Systems
Chapter 5	Basic Components of Control Systems
Chapter 6	Design of Single-Loop Feedback Control Systems
Chapter 7	Tuning of Feedback Controllers
Chapter 8	Root Locus
Chapter 9	Frequency Response Techniques
Chapter 10	Cascade Control
Chapter 11	Override and Selective Control
Chapter 12	Ratio and Feedforward Control
Chapter 13	Multivariable Process Control
Chapter 14	Mathematical Tools for Computer Control Systems
Chapter 15	Design of Computer Control Systems

## 2. 文獻探討

2006 年美國化工程控學界與業界合著一文<sup>2</sup>「大學部程序控制課程的再創新」(Renovating the Undergraduate Process Control Course)，探討當時美國化工系在程控教育所遇到的窘境，以及業界對於大學部程控訓練的建言。文中提及當化工系課程涉獵越廣，加入材料與生化相關課程，勢必減少現有化工的核心課程，而程序控制這門課，往往被點名應減少授課時數，甚至刪除的課程。這個現象與國內化工系的發展不謀而合，大約十年前開始，許多化工系陸續更名成化材系，為了增加材料相關的課程時數，在維持畢業學分不變的情況下，減少程控課程的時數成為部份化材系的因應方法。文獻<sup>2</sup>的業界作者(Downs JJ)提出當時美國程控教育與業界認知的落差：「當學校程控課程要求大學部的畢業生瞭解拉氏轉換(Laplace Transforms)、頻譜分析(Frequency Domain Analysis)和相對增益矩陣(Relative Gain Arrays)，畢業生進入職場控制室後才發現，上述所學的方法對於日常工作的幫助其實非常有限。程控課程應該讓學生瞭解控制迴路的目的，不外乎是維持質能平衡的動態延伸。以及，利用何種控制策略能達到這项目的，進而瞭解製程變數之間的動態交互影響，才能達到製程故障排除和穩定操作的目的。令人不安的事實是這些日常工作需要的知識，大多進入職場後才開始學習，在學校程控課程能學習到的實務能力往往有限」。這項建言似乎也跟國內的現況類似。

時隔 11 年，台大化工系教授撰文<sup>3</sup>呼籲：「程控教育應回歸製程本身，減少數學的推導過程」。建議程控課程學習目標如下：

1. 瞭解基本控制元件運作的原理，包括：程序、控制器、測量儀器和閥件。
2. 發展程序動態模式，藉以協助分析、設計與操作控制系統。
3. 熟練 PID 回饋控制器的設計、參數調諧和障礙排除。
4. 建置強化控制策略，包括：串級、凌駕、前饋和比例控制。
5. 利用 MATLAB/Simulink 駕馭控制系統的動態模擬。
6. 熟悉一般單元操作元件的基本控制。
7. 瞭解全廠製程動態與控制。

本研究基於上述課程目標設計學習主題，採用製程動態模擬器 Aspen Hysys 建置單元操作元件，搭配強化控制策略設計學習主題，其研究方法於下一節詳述。

文獻<sup>4,5</sup>也發表利用 MATLAB/Simulink 和 Aspen Hysys 作為改良程控教育的工具，教學內容由原先的控制理論的數學推演，改變成解決真實的製程問題，教學方向改為問題導向式學習。文獻<sup>4</sup>更報導該校化工系學生對於程控課程的教學評量，由原先的艱澀難以理解，轉變成實務可解決真實問題，對於課程的評價由負面轉換成正面評價。可見利用動態模擬器視覺化數學方程式，有助於學生理解原先艱澀難懂的教學內容。本研究基於這個概念，以及文獻<sup>3</sup>所建議的程控課程學習目標，利用製程動態模擬器 Aspen Hysys 設計教學內容，期望能對程控教育接軌化工廠控制室略盡棉薄之力。

### 3. 研究方法

本實踐研究計畫配合學校高教深耕的創新學習模式，採取問題導向式學習(Problem-Based Learning, PBL)，針對每一個學習主題，設計相對應的製程問題，在學校電算中心的行動學習平台，利用化工製程動態模擬器 Aspen Hysys，從建置單一操作元件，逐漸擴充至整廠製程。在實作的過程中，學生能學習如何面對實際問題，構想解決方案，而在動態模擬器中實踐構想，並驗證能否解決製程操作的問題，而非僅是單一面向的變數控制問題。因為在解決單一變數控制問題的同時，反而可能造成整體製程的操作不穩定性。使用動態模擬器，可以設想各種的操作狀況，訓練學生透過控制的方法解決製程的問題，而非單純的控制理論探討。基於這個構想，調整表 1 教科書的授課順序，學生應學習的主題如表 2 所列。

表 2：因應學習主題所規劃的授課計畫

授課計畫	
C. Sensors, Transmitters, and Control Valves	
3. First-Order Dynamic Systems	
5. Basic Components of Control Systems	
7. Tuning of Feedback Controllers (HW1)	2. Mathematical Tools 4. Higher-Order Dynamic Systems A. Instrumentation Symbols and Labels
9. Cascade Control (HW2)	
10. Ratio (HW3), Selective (HW4), and Split Range Control (HW5 and HW6)	
12. Distillation Column Control (HW7)	

首先介紹教科書<sup>1</sup>的附錄 C，如何測量製程變數，如：流量、壓力、液位、溫度...等。測量的物理量轉換成電流後，經控制器計算閥開度的電流訊號，經過電流/壓力轉換器(Current-to-Pressure Transducer, I/P)計算推動控制閥所需的壓力。之後，講解第 3 章一階動態的系統，利用學生學過的基本一階常微分方程式，說明程序增益(Process Gain)、時間常數(Time Constant)和時滯(Dead Time)的概念，避免繁複的公式推導。接著介紹第 5 章，解釋 PID 控制器的組成元件，以及運作原理。並且介紹工廠常用的控制閥，以及基於製程安全的考量，挑選適當作動模式的控制閥，例如：Fail-closed (Air-to-open)或 Fail-open (Air-to-close)。學生有了程序(第 3 章)和控制(第 5 章)的概念之後，實作第 1 個案例(HW1)，說明第 7 章調諧回饋控制器參數的方法，實作的內容於下一節詳述。如表 2 所列，進行實作案例的同時，除了講解實作案例的方法與原理，每週仍有 1~2 小時的時間，講解教科書第 2 和 4 章，說明高階動態系統的行為，以及相關的數學工具。案例 2 至 6(HW2-HW6)於教科書的第 9 和 10 章，分別演練實際工廠常用的串級控制(Cascade Control)、比例(Ratio)、選擇(Selective)和分程控制(Split Range Control)。最後利用教科書第 12 章蒸餾塔的控制範例(HW7)，實際演練基礎控制(Basic Control)的受控及操作變數的配對，進一步實作品質控制(Quality Control)的 PID 參數調諧。另外，由於工廠的控制迴路記載於管線和儀表配置圖(Piping and Instrumentation Diagram, P&ID)，學生需有能力閱讀 P&ID，利用教科書的附錄 A 介紹 P&ID 的符號，以及常用的操作單元，控制迴路的設計方法。

#### 4. 教學暨研究成果

第一個實作練習讓學生理解如何經由開環測試，計算 PID 控制器的參數，圖 1(a)為教科書利用熱交換器闡述程序一階動態的行為，藉由改變蒸汽閥開度，觀察製程流體出口溫度的變化。圖 1(b)為製程動態模擬器 Hysys 的流程圖，製程流體流量控制器 FIC-100，藉由調整 VLV-100 的閥開度，控制製程流體(Cool\_In)的流量。溫度控制器 TIC-100 調整 VLV-101 的閥開度，控制製程流體的出口溫度。圖 2 為 TIC-100 的開環測試結果，圖中 VLV-101 的閥開度由 50%增加至 70%，觀察製程流體的出口溫度到達新的穩態，藉此計算描述一階動態行為的參數，如：程序增益(Process Gain,  $K_p$ )、時間常數(Time Constant,  $\tau$ )和時滯(Dead Time,  $t_0$ )。

藉由理論所推導的 PI 控制參數： $K_C = \tau / [K_p(\tau + t_0)]$ 、 $\tau_I = \tau$ ，以及教科書所提供的經驗式，分別計算 PID 控制器的參數( $K_C$ 、 $\tau_I$ 和 $\tau_D$ )，並且藉由設定點追蹤(製程流體出口溫度調降 1°C)，以及干擾排除(製程流體流量減少 10%)，比較每一組 PID 參數的控制效能，如圖 3 所示。藉此範例學生能理解如何藉由開環測試得知 PID 控制器參數，以及評估參數的控制效能。

第二個實作練習為工廠常用的串級控制，延續第一個作業，降低蒸汽入口壓力 10%，間接影響蒸汽的入口流量，然而溫度控制器 TIC-100 需等到出口溫度下降，才能改變 VLV\_101 閥開度修正溫度的偏差。如在蒸汽閥增設流量控制器，如圖 4(a)中 FIC-101 控制蒸汽流量，而流量的設定值由溫度控制器 TIC-100 提供。此時若蒸汽入口壓力下降，導致的蒸汽流量降低，FIC-101 可直接調整閥開度修正流量，無需等到出口溫度的改變才回饋修正，圖 4(b)比較一般 PI 控制器與串級控制器，對於蒸汽入口壓力下降導致出口溫度變化的影響，圖中顯示串級控制相較於一般 PI 控制器，能快速修正製程流體出口溫度。圖 4(c)和 4(d)比較一般 PI 控制器及串級控制器的效能，無論是設定點追蹤或是干擾排除，在相同的控制參數的條件下，串級控制都有較好的控制成效，學生能藉此範例理解串級控制的原理，以及實作的方法。

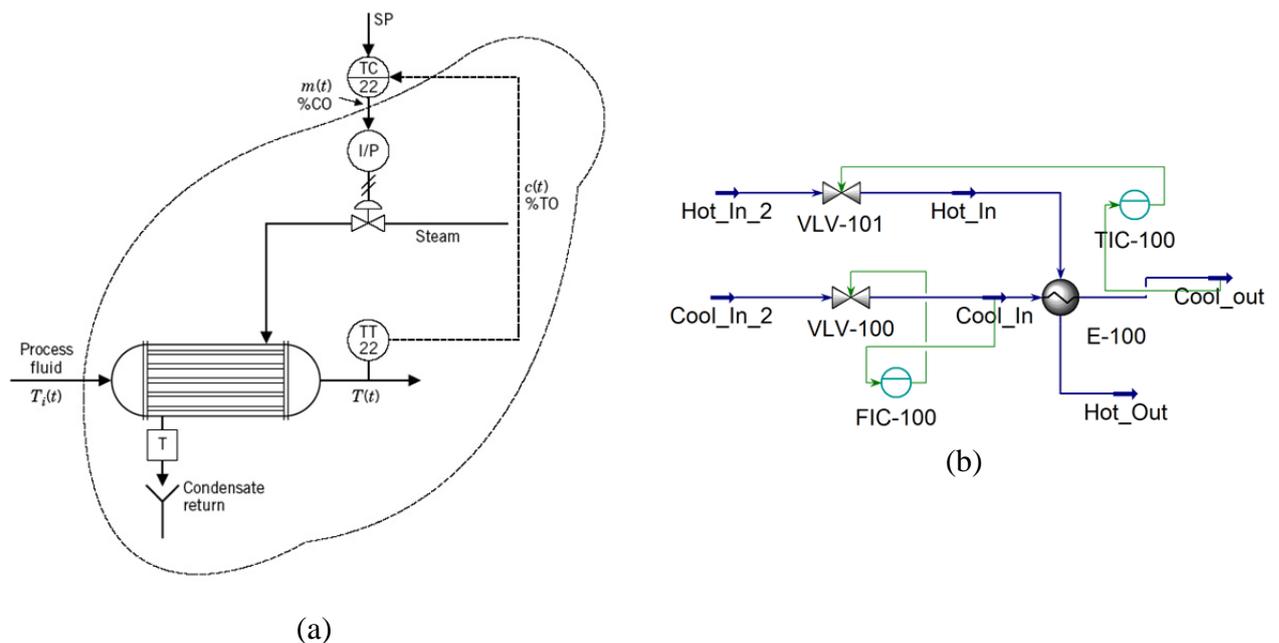


圖 1：HW1 實作 PID Tuning，(a)控制熱交換器出口溫度，(b)動態模擬器實作熱交換器製程

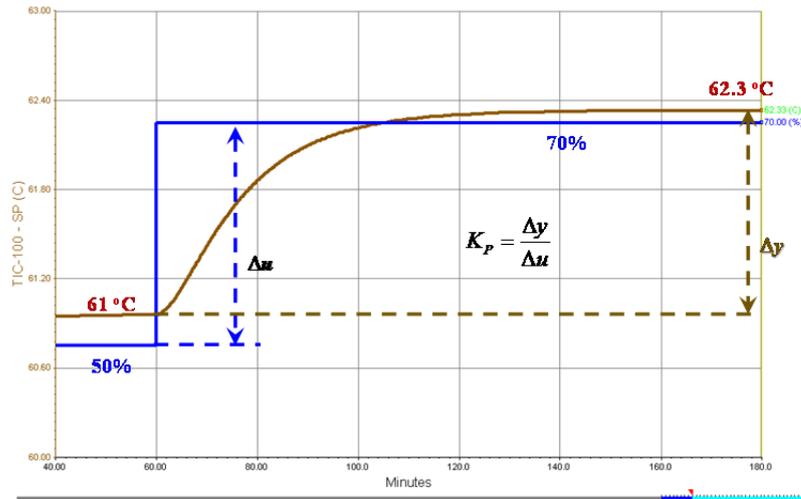
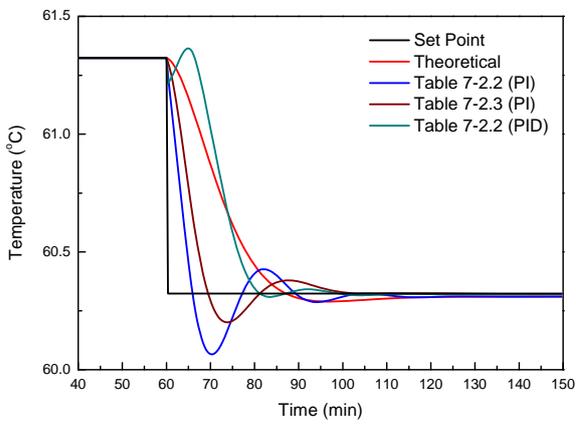
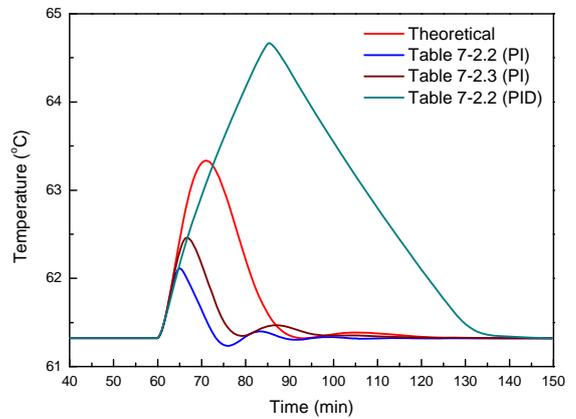


圖 2：開環測試的結果

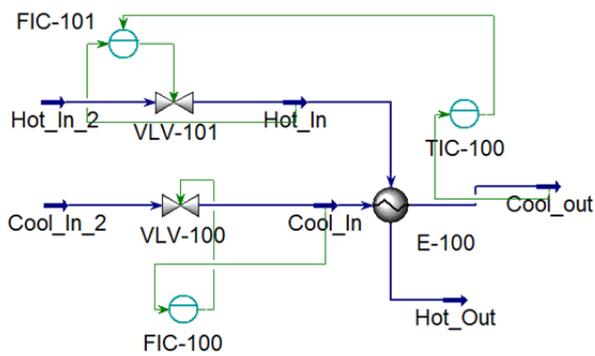


(a)

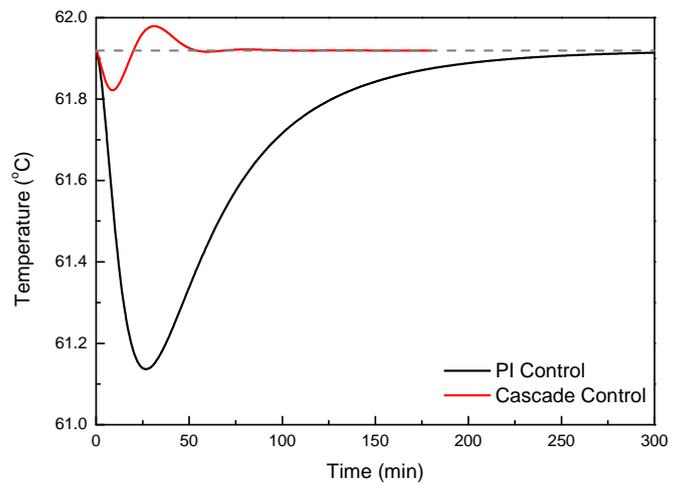


(b)

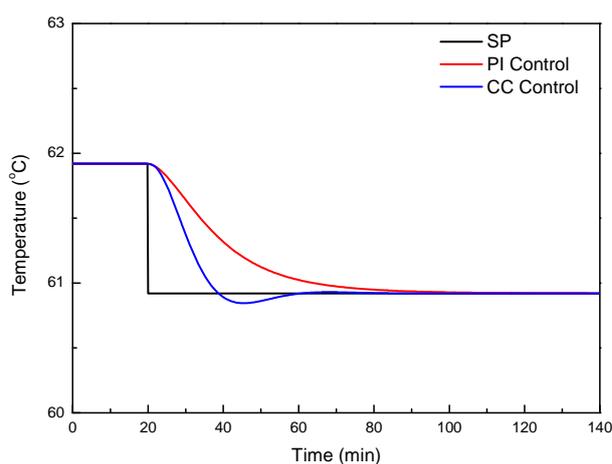
圖 3：閉環應答，(a)設定點追蹤，(b)干擾排除



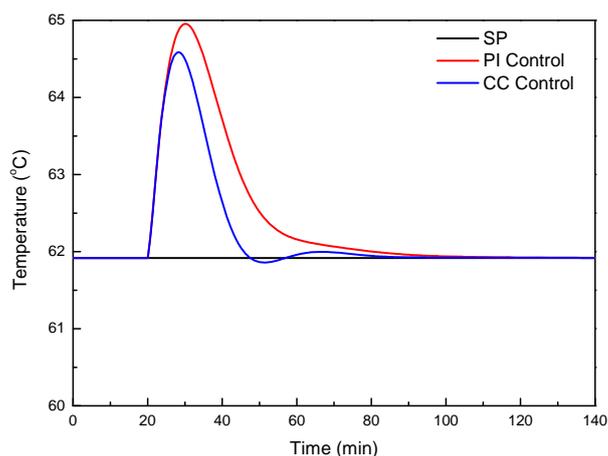
(a)



(b)



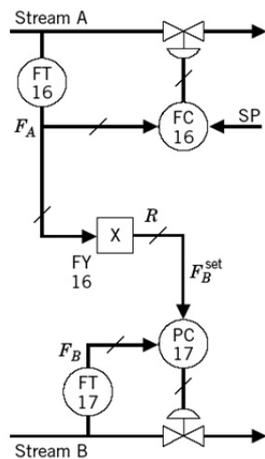
(c)



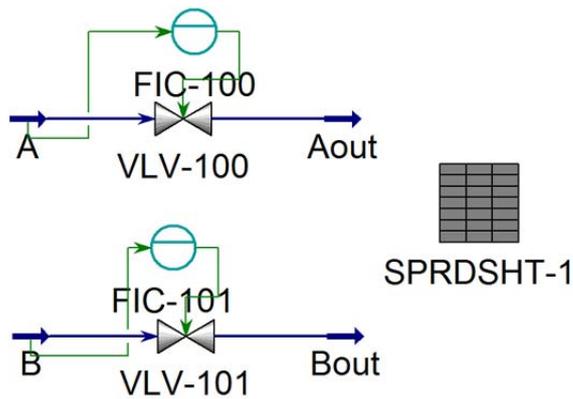
(d)

圖 4：HW2 實作串級控制，(a)串級控制蒸汽流量，(b)比較串級控制對於蒸汽入口壓力下降的影響，比較 PI 控制器與串級控制器：(c)設定點追蹤的效能，(d)干擾排除的效能

比例控制器常見於調整反應器不同的進料流量，為了維持固定的反應計量比，或是維持燃料流量與氧氣流量必須符合特定的燃燒比值。圖 5(a)為第三個實作範例示意圖，藉由物流 A 的流量( $F_A$ )，以及特定的比值  $R$  計算物流 B 的流量設定值( $F_B^{set}$ )。圖 5(b)為動態模擬器的實作圖，藉由試算表(SPRDSHT-1)匯入 Aout 的流量，乘上特定比值  $R$ ，作為物流 B 的流量控制器 FIC-101 的設定值。延伸比例控制器的實作範例，做為第四個實作範例(選擇控制)，燃料與氧氣流量在穩定操作時，必須維持特定的燃燒比值  $R$ 。然而在升降載的過程中，為了確保不會出現燃燒不完全的現象，氧氣流量必須略高於燃料所需的流量。因此，在升載過程中，氧氣流量必須先於燃料流量增加。反之降載時，燃料流量需先於氧氣流量減少。圖 6(a)為選擇控制的示意圖，燃料流量的設定值，分別藉由燃料需求量和氧氣流量除上燃燒比值  $R$  計算，兩者取較小值做為燃料流量設定值。此外，利用燃料需求量和燃料流量測量值，分別乘上燃燒比值  $R$ ，兩者取較大值做為氧氣流量設定值，圖 6(b)為動態模擬器的實作圖。降載時，燃料需求量的設定值瞬間下降，然而實際的燃料測量值需要時間降低，此時燃料測量值高於設定值，燃料流量設定值依較小者設定，所以選擇設定值。同時，氧氣流量設定值依照較大氧氣需求量設定，如圖 6(c)在時間 80 min 的變化。升載時，燃料需求量的設定值瞬間上升，實際的燃料測量值會低於設定值，燃料流量設定值依較小者設定，氧氣流量設定值依照較大氧氣需求量設定，如圖 6(c)在時間 100 和 120 min 的變化。圖 6(d)顯示在升降載的過程中，氧氣對於燃料的比值，約略高於燃燒比值( $R=2$ )的設定值，確保燃燒不完全的現象不會發生。

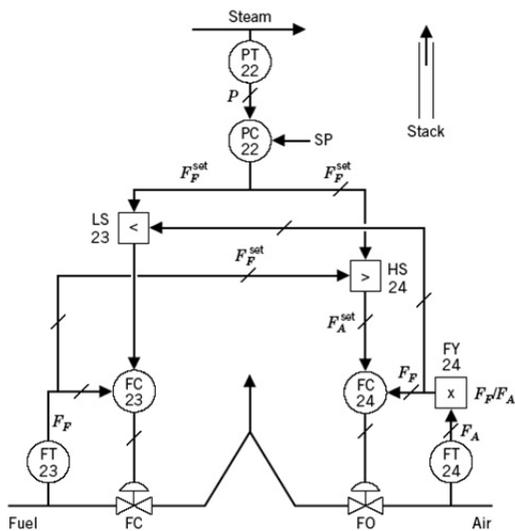


(a)

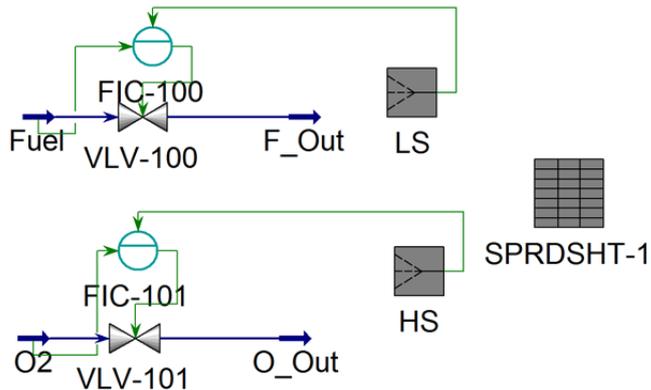


(b)

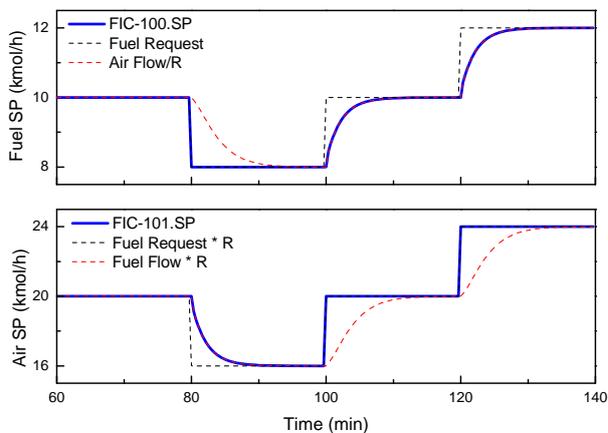
圖 5：HW3 實作比例控制，(a)比例控制的 P&amp;ID 圖，(b)動態模擬器的實作圖



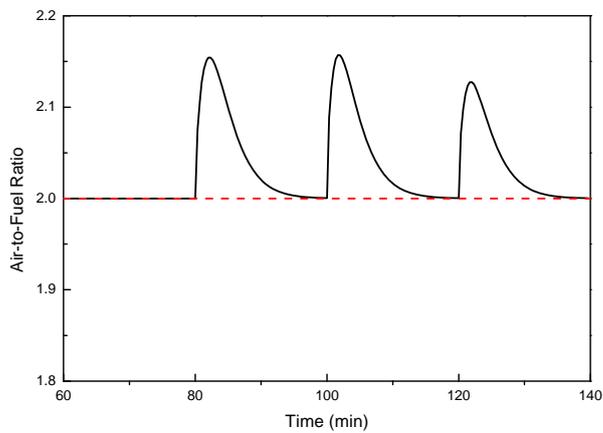
(a)



(b)



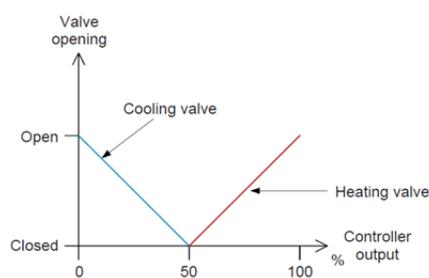
(c)



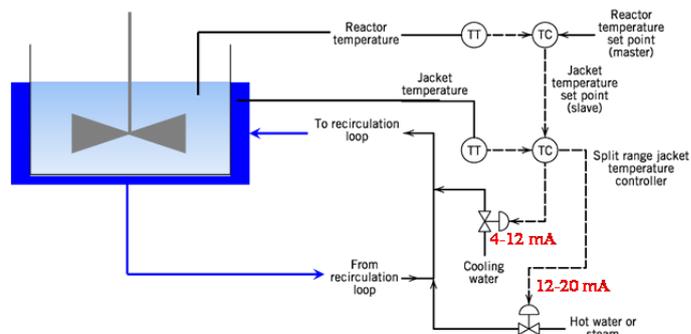
(d)

圖 6：HW4 實作選擇控制，(a)選擇控制的 P&amp;ID 圖，(b)動態模擬器的實作圖，(c)比較氧氣與燃料的流量設定值，(d)在升降載過程中氧氣與燃料的比值

分程控制是第五和第六個實作範例，圖 7(a)顯示控制器的輸出訊號小於 50%時，驅動冷卻水的閥開度，相對而言，輸出訊號大於 50%時，驅動熱水的閥開度。這種控制策略常用於放熱反應的反應器溫度控制，反應初期為了促使反應發生，需要調整熱水閥，加熱反應器。反應發生後，需要利用冷卻水的循環帶走反應熱，此時需要調整冷水閥維持反應器的溫度，如圖 7(b)所示。反應器的溫度控制器不應該同時作動熱水閥與冷水閥，所以溫度控制器的輸出訊號採取分程控制的策略。當反應器溫度低於設定值，控制器輸出訊號大於 50%，驅動熱水閥開度，溫度越接近設定值，熱水閥開度越小，直到溫度到達設定值，控制器輸出訊號等於 50%，關閉熱水閥。反之，當反應器溫度高於設定值，控制器輸出訊號小於 50%，驅動冷水閥開度，反應器溫度越高，控制器輸出訊號遠小於 50%，冷水閥開度越大，增加冷水循環量帶走反應熱。圖 8(a)顯示另一種分程控制的策略，控制器的輸出訊號同時驅動兩個閥，但是兩個閥的作動模式正好相反。這種控制方法適用於調整不同物流混合之後的濃度，圖 8(b)為利用分程控制調整水與甲醇混合之後的濃度，同時調整水(H2O\_VLV)和甲醇(MeOH\_VLV)的流量，藉此維持混合後(Mix)甲醇的濃度。

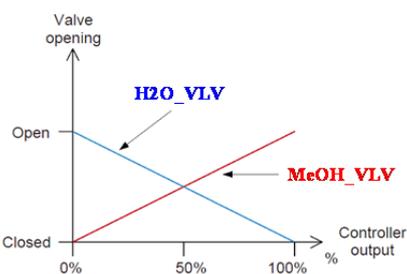


(a)

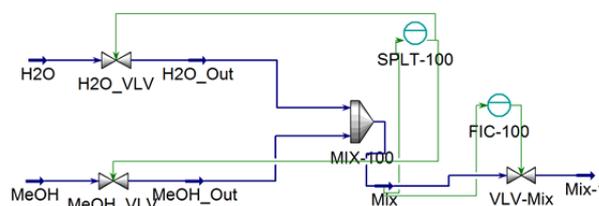


(b)

圖 7：HW5 實作分程控制(I)，(a)控制器輸出訊號與閥開度的關係，(b)冷水與熱水閥共用一個分程控制器



(a)



(b)

圖 8：HW6 實作分程控制(II)，(a)控制器輸出訊號與閥開度的關係，(b)同時調整水和甲醇的流量控制出口甲醇濃度

最後一個實作範例為分離苯與甲苯的典型蒸餾塔，如圖 9(a)所示，學生需先完成基礎控制(Basic Control)，如：進料流量(FIC-100)、塔頂壓力(PIC-100)、冷凝器與再沸器液位(LIC-100 和 LIC-101)和溫度控制(TIC-100)，如圖 9(b)所示。在設定基礎控制的過程中，訓練學生理解

受控與操作變數的配對原則，以及控制器作動模式的選擇。之後，加入兩個品質控制(Quality Control)迴路，分別為塔頂甲苯的純度控制(AIC-100)，以及塔底苯的純度控制(AIC-101)。經由開環測試決定這兩個品質控制器的PID 參數之後，進行閉環應答的測試。圖 10(a)為塔底苯的純度由 0.05 降低至 0.01，圖 10(b)為同時塔頂甲苯純度的變化，讓學生理解多變數控制之間的干擾效應。圖 10(c)和 10(d)為進料流量增加 20%的干擾排除測試，分別為塔底苯的純度變化，以及塔頂甲苯純度的變化。

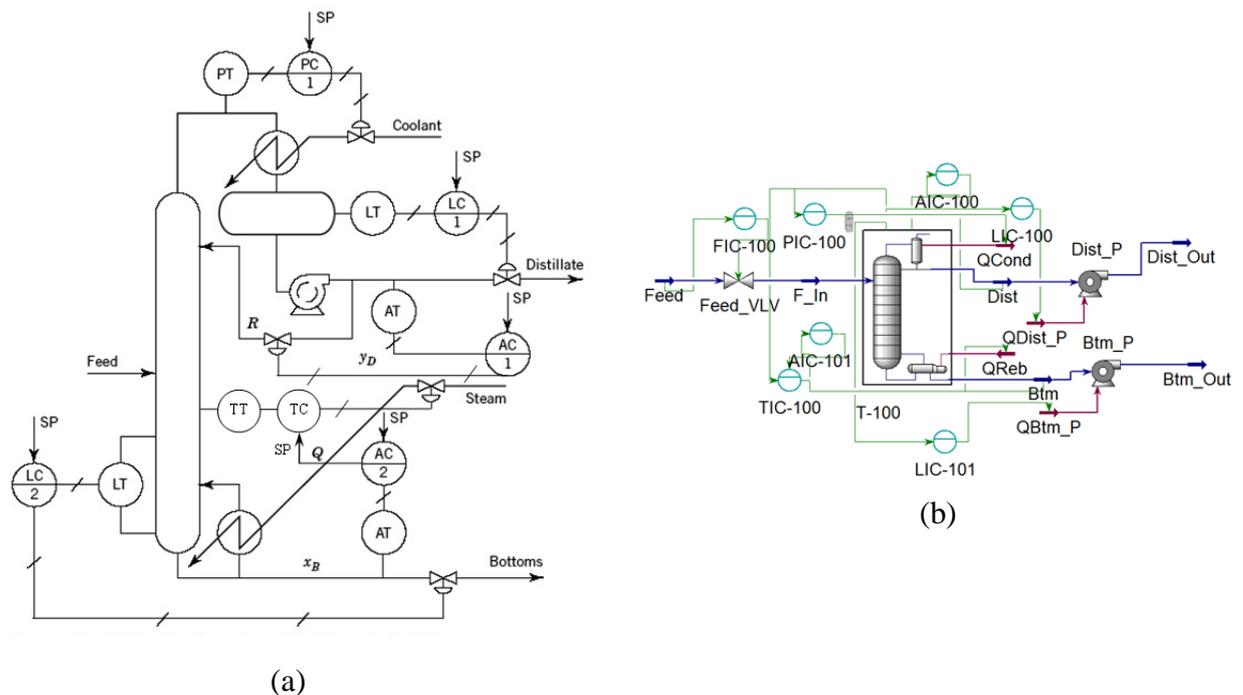


圖 9：HW7 實作蒸餾塔控制，(a)教科書的蒸餾塔流程圖，(b)動態模擬器的實作圖

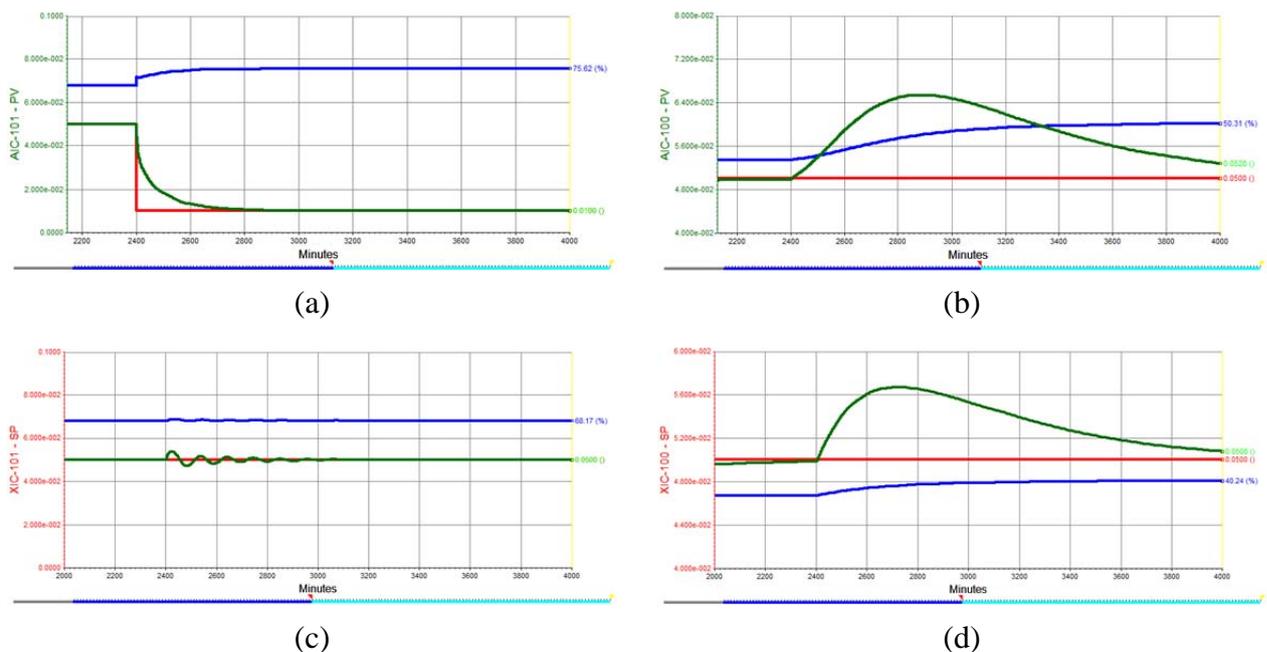


圖 10：實作蒸餾塔控制的閉環應答，設定點追蹤：(a)塔底苯的純度變化，(b)塔頂甲苯的純度變化。干擾排除，進料流量增加 20%：(c)塔底苯的純度變化，(d)塔頂甲苯的純度變化

學習成效調查在下學期開學後第二週以考試形式執行，A、B 兩班(教科書相同、授課老師不同)同時進行，答題時間 30 分鐘。為了避免學生亂猜答案，採取單複選混和，每題全對 5%，答錯扣 1%，放棄作答不予計分，然而實際計分並未採取答錯扣分，學習成效調查的題目列於附件 1。兩班學生平均分數分別為 50 和 30 分，圖 11(a)為分數分布圖，A 班最高分 100 一位，B 班最高分 70 一位，A 班 70 分以上有 7 位。此外，問卷共有五個題組 20 個題目：題組 1 (1-4 題)：辨識受控及操作變數，控制訊號的傳遞方式。題組 2 (5-10 題)：基於考量安全操作的前提下，設定控制閥的作動模式。題組 3 (11-13 題)：拉氏轉換在這門課程的功用。題組 4 (14-15 題)：選擇適當的控制策略。題組 5 (16-20 題)：配對受控及操作變數。圖 11(b)比較兩班每題答對率的分布圖，整體而言，A 班學生的答對率相對高於 B 班學生，尤其對於題組 2 (5-10 題)的答對率相對高出許多，可能是在實作的過程中，實際設定過每一個控制器的作動模式有關。其次，A 班學生在題組 5 (受控及操作變數配對)有較高的答對率，可能也是跟實作的經驗有關。整體而言，由學生期末的教學評量結果，絕大多數的學生認同實作多於公式推導的教學方式。

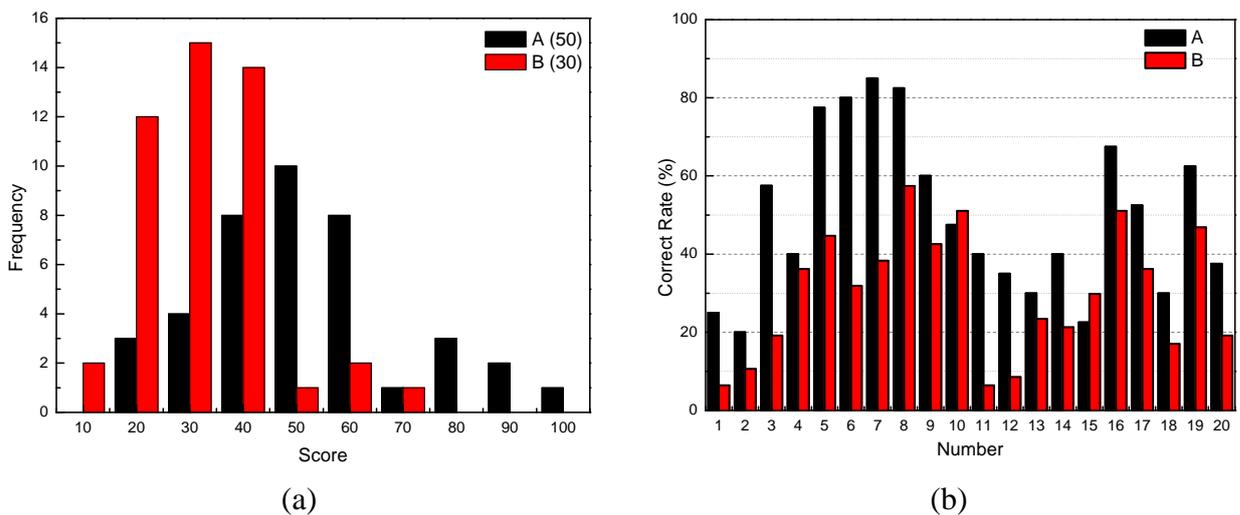


圖 11：學習成效調查，(a)試卷答題得分人數分布，(b)每題答對率的分布

## 參考文獻

1. Smith CA, Corripio A. Principles and practice of automatic process control. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc; 2006.
2. Edgar TF, Ogunnaike AB, Downs JJ, Muske KR, Bequett BW. Renovating the undergraduate process control course. *Comput. Chem. Eng.*, 30, 1749-1762 (2006).
3. Lee JY, Chen CL. A proposal for charting the undergraduate process control course for the 21st century. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, 73, 154-165 (2017).
4. Haugen F, Wolden KE. A revised view on teaching basic process control. *Proceedings of 10th IFAC Symposium Advances in Control Education*, 108-113, (2013).
5. Alnaizy R, Abdel-Jabbar N, Ibrahim TH, Hussein GA. Incorporating computer-aided software in the undergraduate chemical engineering core courses. *Chemical Engineering Education*, 48, 9-16, (2014).

## 附件

1. 學習成效調查題目
2. 2019 教學實踐研究研討會，海報發表競賽優等獎獎狀，國立高雄科技大學

右圖出自教科書<sup>1</sup>Figure 3-1.1a, 製程流體(Process fluid) 經熱交換器, 利用蒸汽(Steam)預熱至設計的進料溫度。

- ( ) 控制變數(Controlled Variable)是指：(a) 製程流體的流量，(b) 蒸汽的流量，(c) 製程流體進入熱交換器的溫度，(d) 製程流體離開熱交換器的溫度，(e) 蒸汽進入熱交換器的溫度，(f) 蒸汽流體離開熱交換器的溫度。
- ( ) 操作變數(Manipulated Variable)是指：(a) 製程流體的流量，(b) 蒸汽的流量，(c) 製程流體進入熱交換器的溫度，(d) 製程流體離開熱交換器的溫度，(e) 蒸汽進入熱交換器的溫度，(f) 蒸汽流體離開熱交換器的溫度。

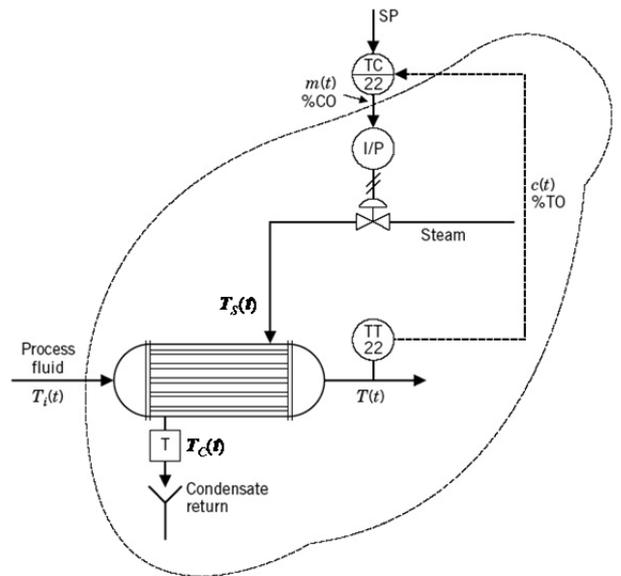


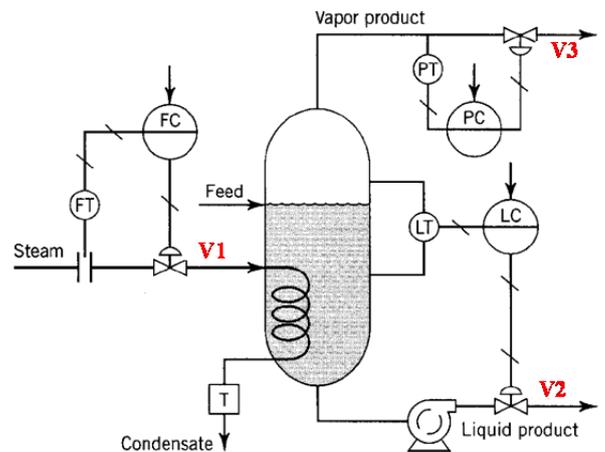
Figure 3-1.1a Heat exchanger control system.

- ( ) Transmitter (TT 22) 以何種形式傳遞訊號  $c(t)$  (%TO): (a) 0-100 % , (b) 4-20 mA , (c) 3-15 psig , (d) 4-20 mV 。
- ( ) Transducer (I/P) 以何種形式傳遞訊號  $m(t)$  (%CO): (a) 0-100 % , (b) 4-20 mA , (c) 3-15 psig , (d) 4-20 mV 。

右圖出自教科書<sup>1</sup>Figure 5-2.2, 基於製程安全考量, 設定下列三個閥件作動器(Actuator)的模式：

- ( ) **V1** : (a) Fail-closed , (b) Fail-open , (c) Air-to-open , (d) Air-to-close 。
- ( ) **V2** : (a) Fail-closed , (b) Fail-open , (c) Air-to-open , (d) Air-to-close 。
- ( ) **V3** : (a) Fail-closed , (b) Fail-open , (c) Air-to-open , (d) Air-to-close 。

考量上述作動器的模式, 設定下列三個控制器的作動模式(Controller Action)：



- ( ) 流量控制器(**FC**) : (a) Reverse , (b) Direct 。
- ( ) 液位控制器(**LC**) : (a) Reverse , (b) Direct 。
- ( ) 壓力控制器(**PC**) : (a) Reverse , (b) Direct 。

若  $c(t)$  和  $m(t)$  分別為標準化成 0-100% 的控制和操縱變數,  $e(t)$  為控制器設定值與控制變數值的誤差, 上述三個變數經 Laplace Transform 之後, 在  $s$ -Domain 分別為  $C(s)$ 、 $M(s)$  和  $E(s)$ 。

- ( ) 下列何者為一階動態模式(First Order Dynamic Model)：

$$(a) \quad m(t) - \bar{m} = K_c \left[ e(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t^*) dt^* + \tau_D \frac{de(t)}{dt} \right] \quad , \quad (b) \quad \tau \frac{dc(t)}{dt} + [c(t) - \bar{y}] = K_p [m(t) - \bar{m}] \quad , \quad (c)$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right) \quad , \quad (d) \quad \frac{C(s)}{M(s)} = \frac{K_p}{\tau s + 1} \quad .$$

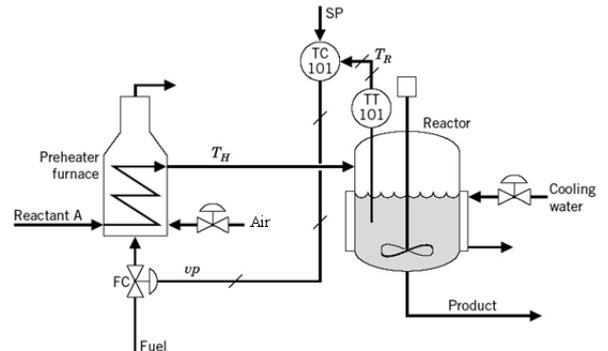
12. ( )下列何者為 PID 控制器的模式：

$$(a) \quad m(t) - \bar{m} = K_c \left[ e(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t^*) dt^* + \tau_D \frac{de(t)}{dt} \right], \quad (b) \quad \tau \frac{dc(t)}{dt} + [c(t) - \bar{y}] = K_P [m(t) - \bar{m}] \quad , \quad (c)$$

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right), \quad (d) \quad \frac{C(s)}{M(s)} = \frac{K_P}{\tau s + 1} .$$

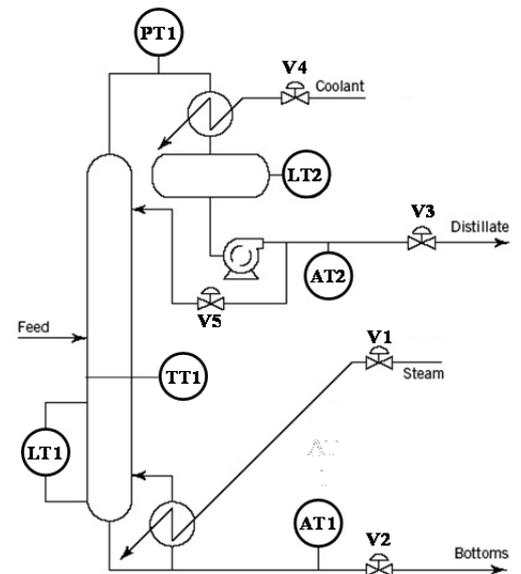
13. ( )程序控制這門課程為何需要 Laplace Transform 這項數學工具：(a)尋找微分方程式的解析解，(b)尋找程序模式與控制器模式之間的關連性，(c)尋找程序模式的發散條件，(d)尋找穩定程序模式的操作條件。

14. ( )右圖出自教科書<sup>1</sup>Figure 9-1.1，藉由調整燃料(Fuel)的流量，維持反應器(Reactor)的溫度( $T_R$ )，然而 Reactant A 的進料量多寡，足以影響進入反應器的溫度( $T_H$ )，進而干擾反應器的溫度，下列哪一種控制策略可以改善這個問題：(a) Cascade Control，(b) Override Control，(c) Ratio Control，(d) Split-range Control。



15. ( )假設上述燃料為丙烷(Propane)，燃料的燃燒反應為： $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ ，為了維持完全燃燒，調整 Air 的閘開度，為了不使用過量空氣導致燃燒效率降低，下列哪一種控制策略可以達到這個目的，暫不考慮升降載的過渡時期：(a) Cascade Control，(b) Override Control，(c) Ratio Control，(d) Split-range Control。

右圖出自教科書<sup>1</sup>Figure 12-1.1，進料(Feed)為苯和甲苯混合物，蒸餾塔塔底出料(Bottoms)的甲苯必須高於 95%，由分析儀 AT1 測量。塔頂出料(Distillate)的苯必須高於 95%，由分析儀 AT2 測量。塔頂壓力由 PT1 測量，塔底液位由 LT1 測量，進料板以下選擇一個塔板測量板溫(TT1)，冷凝器液位由 LT2 測量。分別有 V1-V5 五個閘件維持蒸餾塔的穩定操作及產品品質。



16. ( ) PT1 應該由哪一個閘件控制：(a) V1，(b) V2，(c) V3，(d) V4，(e) V5。

17. ( ) LT1 應該由哪一個閘件控制：(a) V1，(b) V2，(c) V3，(d) V4，(e) V5。

18. ( ) LT2 應該由哪一個閘件控制：(a) V1，(b) V2，(c) V3，(d) V4，(e) V5。

19. ( ) TT1 應該由哪一個閘件控制：(a) V1，(b) V2，(c) V3，(d) V4，(e) V5。

20. ( ) AT2 應該由哪一個閘件控制：(a) V1，(b) V2，(c) V3，(d) V4，(e) V5。

[1] Principles and Practices of Automatic Process Control, 3rd Edition, Carlos A. Smith, Armando B. Corripio, 2006



國立高雄科技大學

National Kaohsiung University of Science and Technology

## 獎狀

高科大教務發證字第 108000240 號

劉佳霖

君

於中華民國 108 年 6 月 21 日參加  
2019 教學實踐研究研討會海報競  
賽，榮獲優等。

特頒此狀 以茲證明

校長 楊慶煜



中華民國 108 年 6 月 21 日