การจำลองการควบคุมระดับน้ำด้วย IMC

นายมนัสพงษ์ ชมอุตม์ *
นายมงคล มงคลวงศ์โรจน์ **

บทคัดย่อ

Internal Model Control (IMC) ได้ถูกนำมาประยุกต์กับการจำลองควบคุมระดับน้ำของระบบถังน้ำสองถังต่ออนุกรมกันแบบ SISO เป็นระบบอันดับที่สองโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ (Apple II compatible) การออกแบบตัวควบคุมอาศัยการทดลองหาหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้อินพุตแบบขั้น และส่วนกลับของหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกใช้เป็นตัวควบคุม การจำลองการควบคุมระดับน้ำของระบบดังกล่าวได้ศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนค่าคงที่ของ filter ค่าของ gain และ การตอบสนองของอินพุทแบบขั้น ใช้เวลาในการเก็บข้อมูล (sampling time) 1 วินาที แล้วนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับระบบดังกล่าวที่ควบคุมแบบ PID

---

* อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจช.
** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.

<u>บทนำ</u>

Internal Model Control (IMC) ได้ถูกพัฒนาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1982 โดย Garcia,C.E. และ Morari, M (1) และ (2) แสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาประยุกต์กับการควบคุมระบบจริงได้เป็นอย่างดี ก่อนที่จะนำมาประยุกต์กับระบบจริงจำเป็นอย่างยิ่งจะต้องจำลองการควบคุมระบบดังกล่าว

ทฤษฎี IMC จากรูปที่ 1 แสดงบลอคไดอะแกรมการควบคุมระบบใด ๆ ด้วย IMC ประกอบด้วยทรานสเฟอร์ฟังชันของระบบที่ถูกควบคุม $G(s)$, หุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ $\tilde{G}(s)$, ตัวควบคุมระบบ $G_c(s)$, ดิจิตอลฟิลเตอร์ K_f และสัญญาณควบคุม $M(s)$ จากทฤษฎี IMC จะได้

$$G_c(s) = \tilde{G}_+^{-1}(s) \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่ $\tilde{G}_+(s)$ = หุ่นจำลองที่สามารถเป็นจริงได้และเสถียร

$\tilde{G}_+^{-1}(s)$ = ส่วนกลับของ $\tilde{G}_+(s)$

ทั่วไปแล้วค่าคงที่ของฟิลเตอร์ใช้เป็นตัวปรับเมื่อหุ่นจำลองกับระบบจริงมีความผิดพลาด ทางปฏิบัติใช้ค่า

$$0<K_f<1 \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ K_f เป็นค่าคงที่ของฟิลเตอร์

ทรานสเฟอร์ฟังชันรวมของระบบ คือ

$$\frac{Y(s)}{Y_d(s)} = G(s)\left(I + G_c(s)\left(G(s) - \tilde{G}(s)\right)\right)^{-1} G_c(s) \quad \text{.....(3)}$$

โดยที่ $Y(s)$ = controlled variable

$Y_d(s)$ = desired variable

I = identity matrix

เนื่องจากการจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้เลียนแบบจากระบบจริงซึ่งเป็นถังน้ำสองถังไม่มีอันตรกิริยา (noninteraction) ในห้องทดลอง process control ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจช. และการควบคุมเป็น direct

digital control แบบ PID เมื่อต้องการนำ IMC มาใช้กับระบบดังกล่าวจึง ต้องหาหุ่นจำลองทางคณิตศาสตร์ของสองถังดังกล่าวซึ่งเป็นระบบอันดับที่สองกล่าวคือ

$$G(s) = \frac{K_2}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)} \quad \ldots\ldots(4)$$

โดยที่ K_2 = ค่าคงที่ของระบบ

T_1 = time constant ของถังน้ำถังที่ 1

T_2 = time constant ของถังน้ำถังที่ 2

ค่า K_2, T_1 และ T_2 หาได้จากการทดลองโดยใส่อินพุทแบบขั้น (step input) จะได้ $K_2 = 1$, $T_1 = 30$ วินาที และ $T_2 = 15$ วินาที

<u>การควบคุมระบบด้วย IMC</u>

สัญญาณควบคุมที่ส่งจากตัวควบคุมจะเขียนอยู่ในรูปลาปลาซ

$$M(s) = \frac{K_1(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)}{K_2(1 - K_1)} \quad \ldots\ldots(5)$$

เขียนอยู่ในรูป difference ได้

$$M_n = \frac{K_1}{K_2(1-K_1)}\left(e_n + (T_1+T_2)(e_n-e_{n-1})/T + T_1T_2(e_n-2e_{n-1}+e_{n-2})/T^2\right)$$

โดยที่ T = sampling time

e_n = ค่าผิดพลาดเมื่อทดสอบครั้งที่ n ใด ๆ

M_n = สัญญาณควบคุมทดสอบครั้งที่ n ใด ๆ

<u>การควบคุมระบบด้วย PID</u>

จากรูปที่ 2 สัญญาณควบคุมที่ส่งจากตัวควบคุม PID เมื่อเขียนในรูปลาปลาซ

$$M(s) = (K_p + K_i/s + K_d s) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

สามารถเขียนอยู่ในรูป difference ได้

$$M_n = K_p e_n + TK_i \, n \, e_n + K_d(e_n - e_{n-1})/T) \quad \ldots\ldots (8)$$

โดยที่ K_p = proportional gain

K_i = integral time constant

K_d = derivative time constant

e_n = ค่าผิดพลาดเมื่อทดสอบครั้งที่ n ใด ๆ

M_n = สัญญาณควบคุมทดสอบครั้งที่ n ใด ๆ

โปรแกรมการจำลองการควบคุมระดับน้ำของถังสองสามารถอธิบายได้ในรูปที่ 3 แสดง flow chart ของโปรแกรมดังกล่าว

<u>ผลการจำลองการควบคุมระบบควบคุมระดับน้ำของถังสองถังต่ออนุกรม</u>

แสดงในรูปที่ 4, 5 และ 6 ในรูปที่ 4 แสดงการตอบสนองเมื่อเปลี่ยนค่า set point โดยใช้ ค่า K_1 = 0.8, K_2 = 0.9, T_1 = 30 วินาที และ T_2 = 15 วินาที

รูปที่ 5 แสดงการตอบสนองเมื่อเปลี่ยนค่า set point โดยใช้ค่า K_1 = 0.95, K_2 = 0.9, T_1 = 30 วินาที และ T_2 = 15 วินาที

รูปที่ 6 แสดงการตอบสนองเมื่อเปลี่ยนค่า set point โดยใช้ค่า K_1 = 0.95, K_2 = 0.7, T_1 = 30 วินาที T_2 = 15 วินาที, rise time = 60 วินาที และ settling time = 140 วินาที

พบว่าการตอบสนองในรูปที่ 6 เป็น curve การตอบสนองที่ดีที่สุดและเมื่อเปรียบเทียบกับการตอบสนองของระบบที่ควบคุมด้วย PID ที่ปรับค่า PB, T_i และ T_d ที่ดีที่สุดได้การตอบสนองอินพุทแบบขั้นดังในรูปที่ 7 ให้ผลดังนี้ rise time = 90

วินาที และ settling time = 320 วินาที นั่นคือ เมื่อระบบควบคุมด้วย IMC จะให้การตอบสนอง transient ดีกว่า

สรุป

การจำลองการควบคุมระดับน้ำของถังน้ำสองถังต่ออนุกรมกันแสดงให้เห็นว่าการควบคุมระบบดังกล่าวด้วย IMC จะให้ความเร็วการตอบสนองที่ไวกว่า และไม่จำเป็นต้องมีการจูน (tuning) ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมเหมือนกับการควบคุมแบบ PID

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์วุฒิชัย ลิทธิอัฏกร อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้าน process simulator

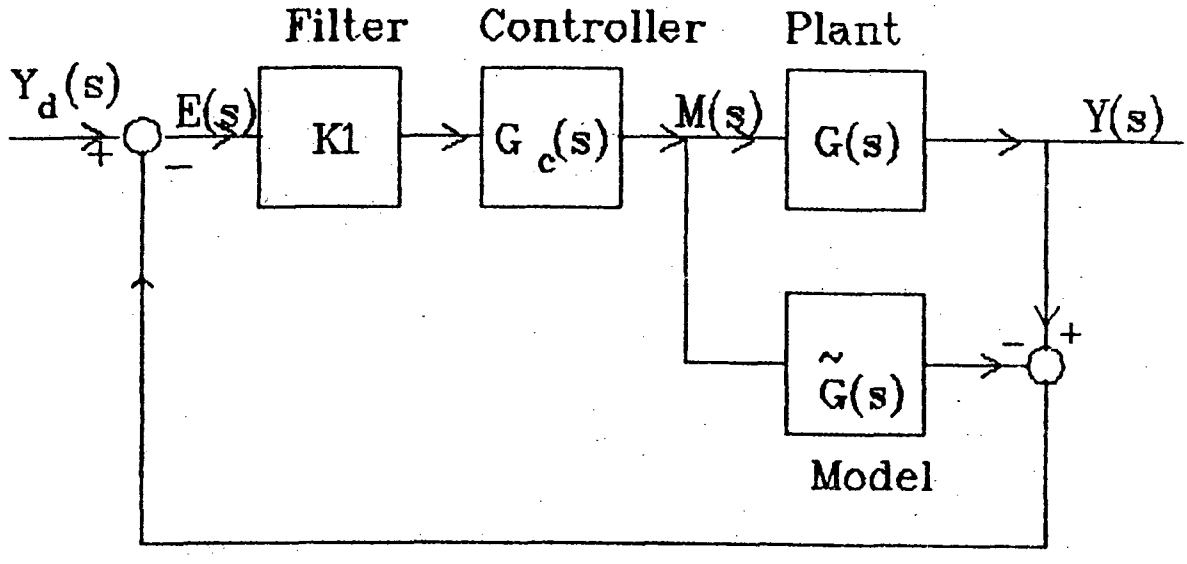
หนังสืออ้างอิง

(1) Garcia, C.E., Morari, M., "Internal Model Control 1, A Unifying Review and Some New Results", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev. PP. 308-323, 1982.

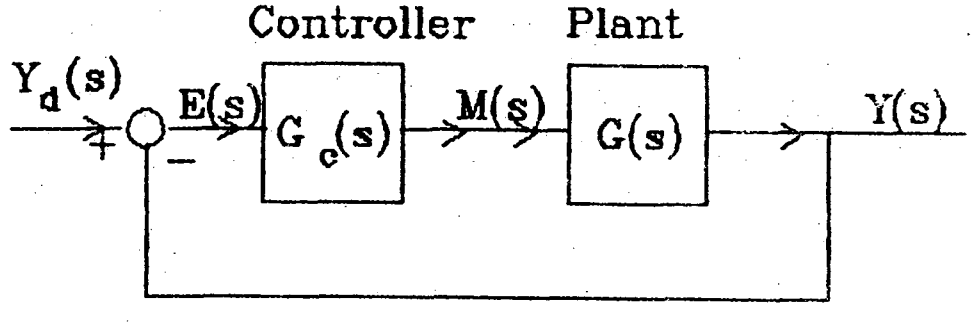
(2) Garcia, C.E., Morari, M., "Internal Model Control 2, Design Procedure for Multivariable Systems", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., 1983.

(3) จำนงค์ จิงธีรพานิช, วินัย โพธิ์ศรีทอง, วุฒิชัย ลิทธิอัฏกร, "Microcomputer Based Programable Controller and Process Simulator Version" ปริญญานิพนธ์ระดับวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี 2529

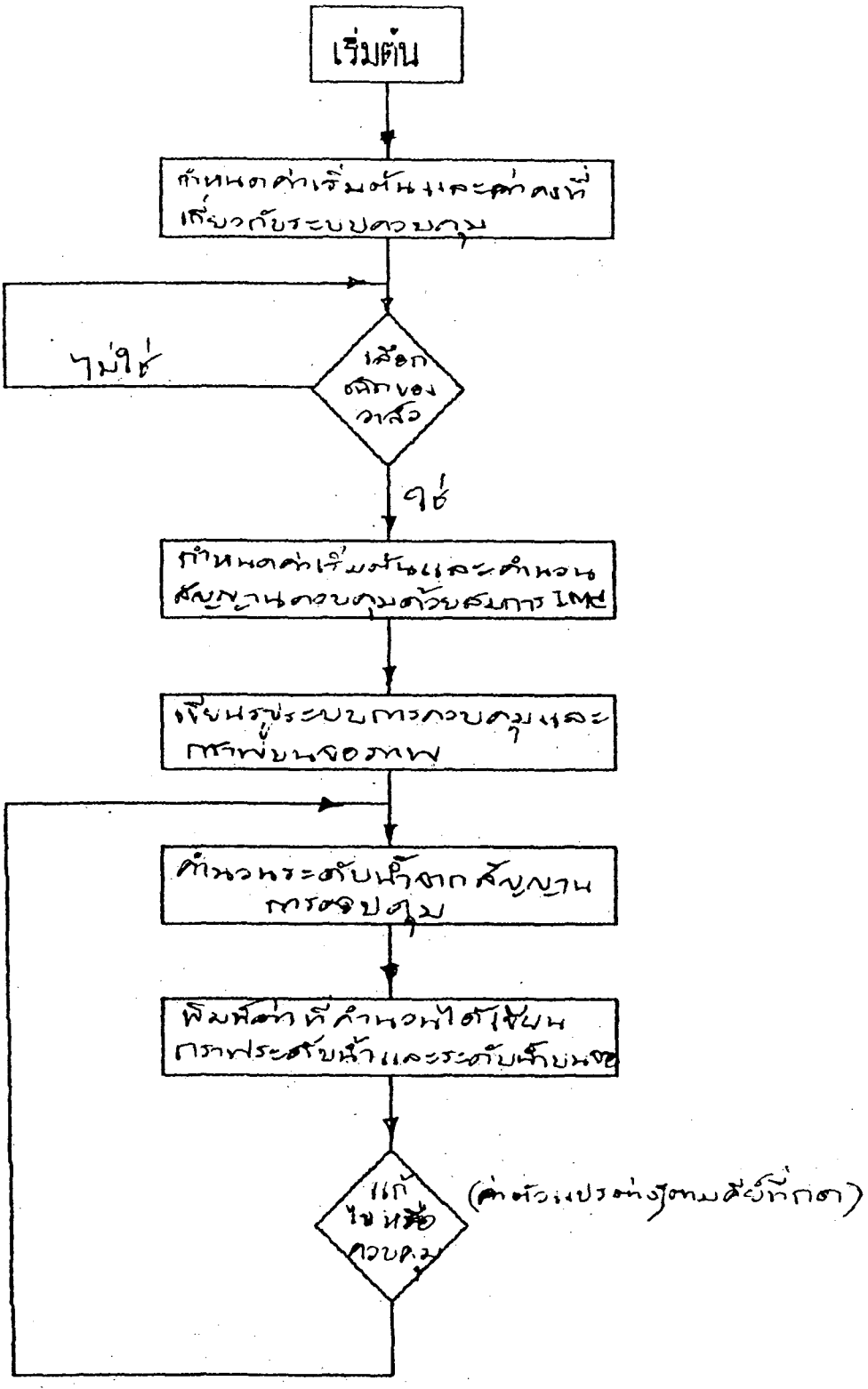
รูปที่ 3



รูปที่ 1 IMC structure with digital filter

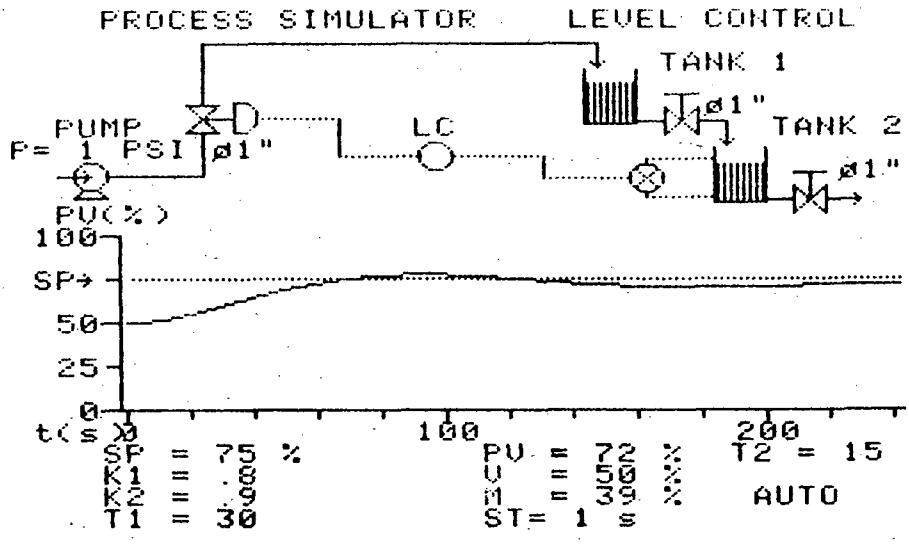


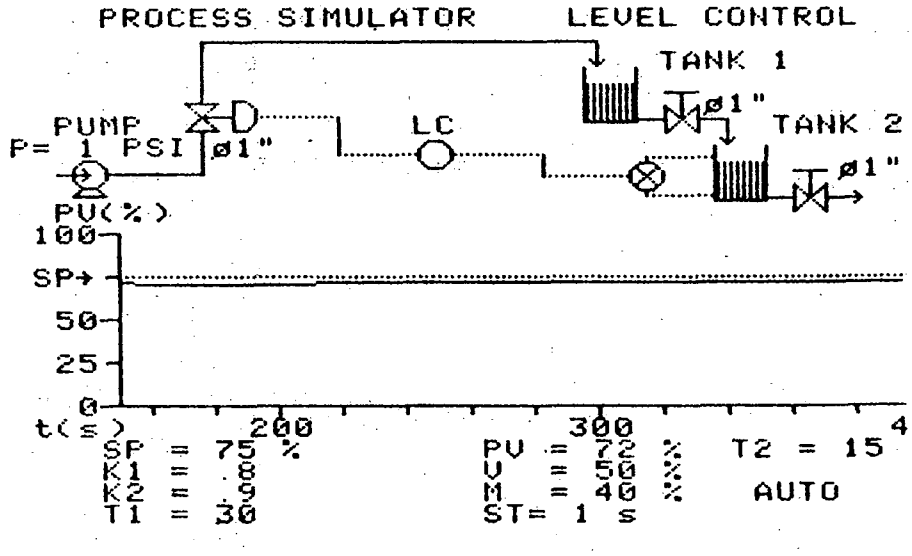
รูปที่ 2 PID structure



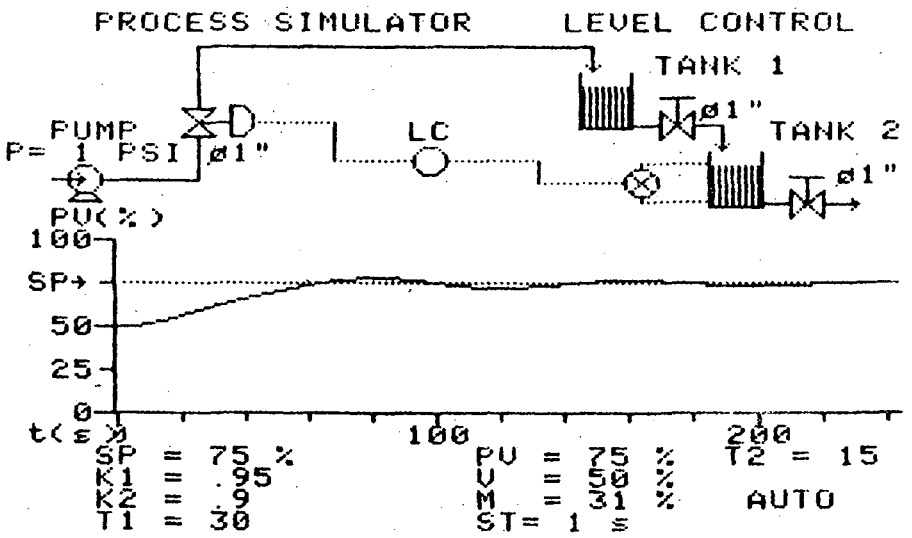
รูปที่ 3 Flowchart ของโปรแกรมการจำลอง

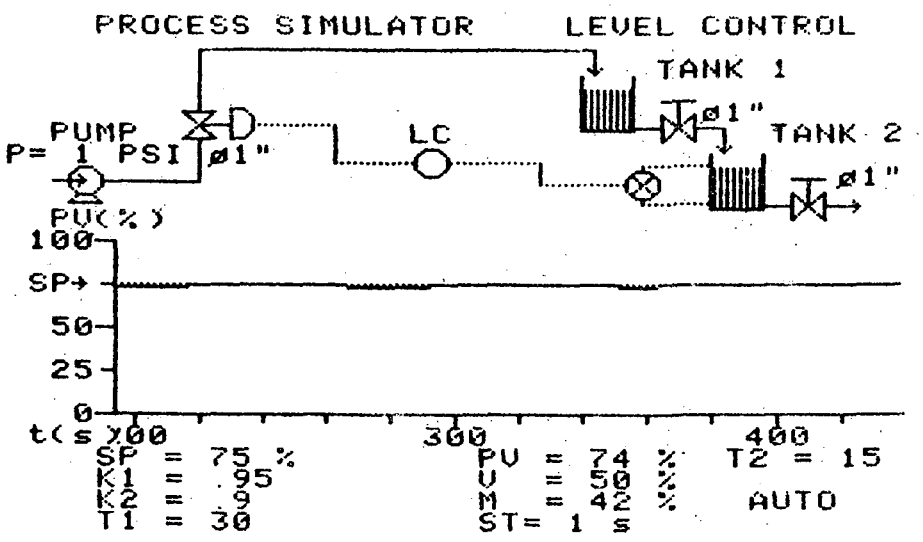
การควบคุมระดับน้ำ ของถังสองถังต่ออนุกรมกัน


PROCESS SIMULATOR
LEVEL CONTROL
TANK 1
TANK 2
PUMP
P= 1 PSI
ø1"
LC
PV(%)
100
SP→
50
25
0
t(s)
0
100
200
SP = 75 %
K1 = .8
K2 = .9
T1 = 30
PV = 72 %
V = 50 %
M = 39 %
ST= 1 s
T2 = 15
AUTO

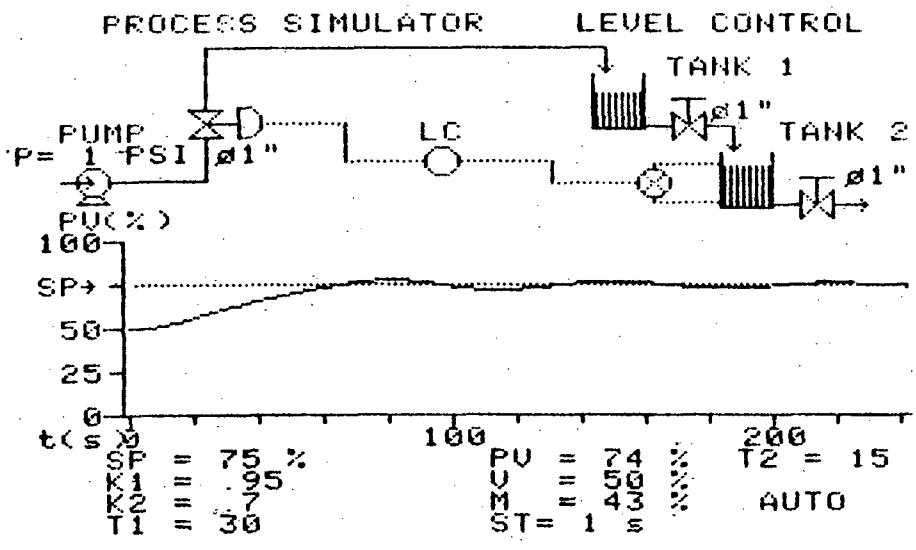

PROCESS SIMULATOR
LEVEL CONTROL
TANK 1
TANK 2
PUMP
P= 1 PSI
ø1"
LC
PV(%)
100
SP→
50
25
0
t(s)
200
300
4
SP = 75 %
K1 = .8
K2 = .9
T1 = 30
PV = 72 %
V = 50 %
M = 40 %
ST= 1 s
T2 = 15
AUTO

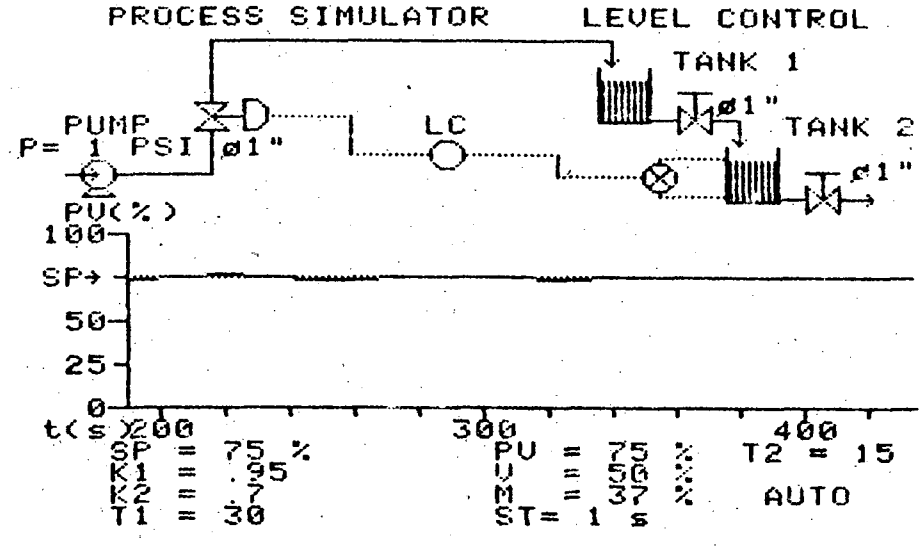
รูปที่ 4


PROCESS SIMULATOR
LEVEL CONTROL
TANK 1
TANK 2
PUMP
P= 1 PSI
ø1"
LC
PV(%)
100
SP→
50
25
0
t(s)
100
200
SP = 75 %
K1 = .95
K2 = .9
T1 = 30
PV = 75 %
V = 50 %
M = 31 %
ST= 1 s
T2 = 15
AUTO

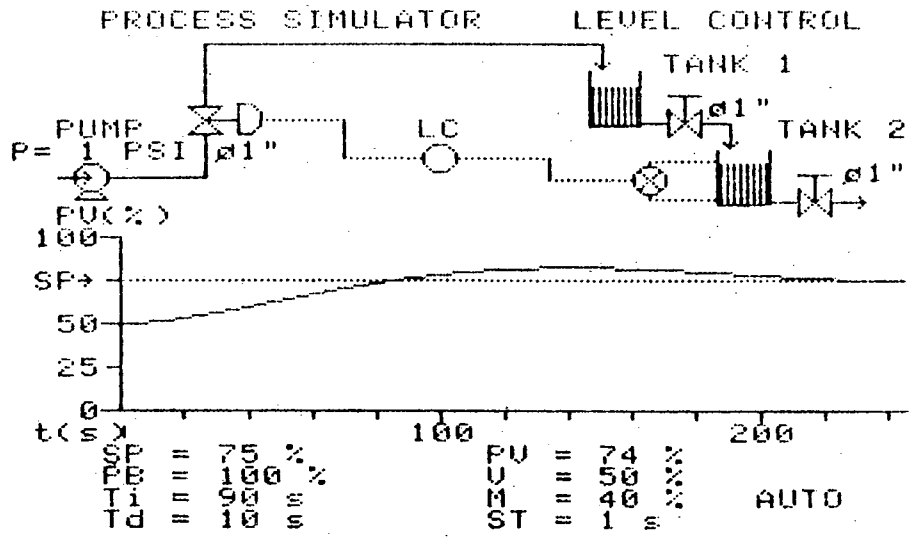

PROCESS SIMULATOR
LEVEL CONTROL
TANK 1
TANK 2
PUMP
P= 1 PSI
ø1"
LC
PV(%)
100
SP→
50
25
0
t(s)
300
400
SP = 75 %
K1 = .95
K2 = .9
T1 = 30
PV = 74 %
V = 50 %
M = 42 %
ST= 1 s
T2 = 15
AUTO

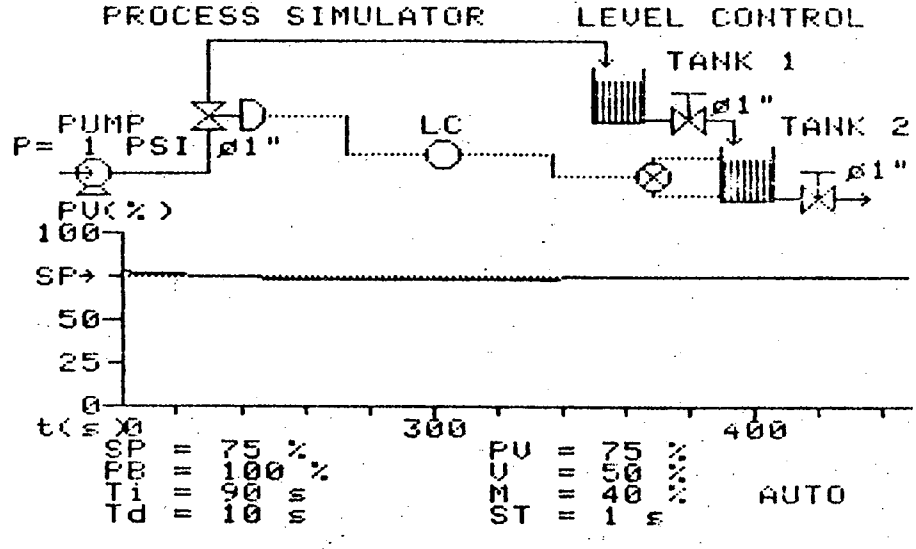
รูปที่ 5


PROCESS SIMULATOR
LEVEL CONTROL
TANK 1
PUMP
P= 1 PSI
ø1"
LC
ø1"
TANK 2
ø1"
PV(%)
100
SP→
50
25
0
t(s)
0
100
200
SP = 75 %
K1 = .95
K2 = .7
T1 = 30
PV = 74 %
U = 50 %
M = 43 %
ST= 1 s
T2 = 15
AUTO


PROCESS SIMULATOR
LEVEL CONTROL
TANK 1
PUMP
P= 1 PSI
ø1"
LC
ø1"
TANK 2
ø1"
PV(%)
100
SP→
50
25
0
t(s)
200
300
400
SP = 75 %
K1 = .95
K2 = .7
T1 = 30
PV = 75 %
U = 50 %
M = 37 %
ST= 1 s
T2 = 15
AUTO

รูปที่ 6


PROCESS SIMULATOR
LEVEL CONTROL
TANK 1
PUMP
P= 1 PSI
ø1"
LC
TANK 2
ø1"
ø1"
PV(%)
100
SP→
50
25
0
t(s)
100
200
SP = 75 %
PB = 100 %
Ti = 90 s
Td = 10 s
PV = 74 %
V = 50 %
M = 40 %
ST = 1 s
AUTO


PROCESS SIMULATOR
LEVEL CONTROL
TANK 1
PUMP
P= 1 PSI
ø1"
LC
TANK 2
ø1"
ø1"
PV(%)
100
SP→
50
25
0
t(s)
0
300
400
SP = 75 %
PB = 100 %
Ti = 90 s
Td = 10 s
PV = 75 %
V = 50 %
M = 40 %
ST = 1 s
AUTO

รูปที่ 7