AUTOMATIC CONTROL
SYSTEMS ENGINEERING

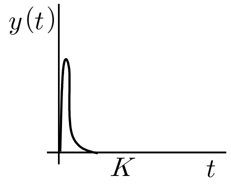
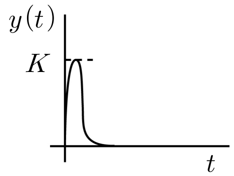
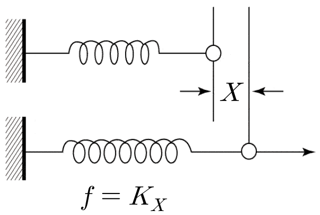
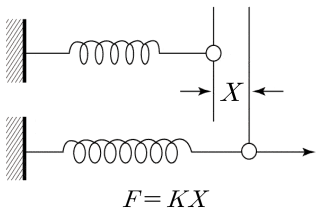
CLASSICAL 자동제어

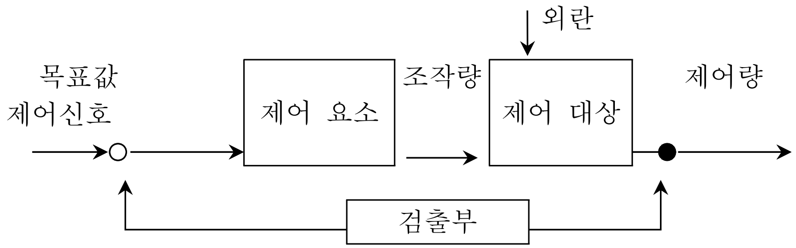
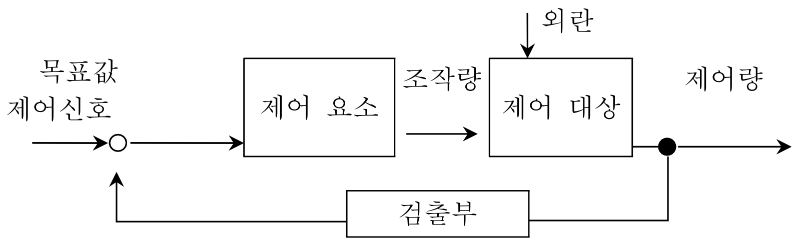
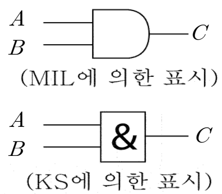
정오표

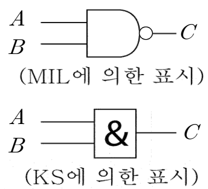
국창호 서문원 한홍걸 공저

에듀피디
EDUPD

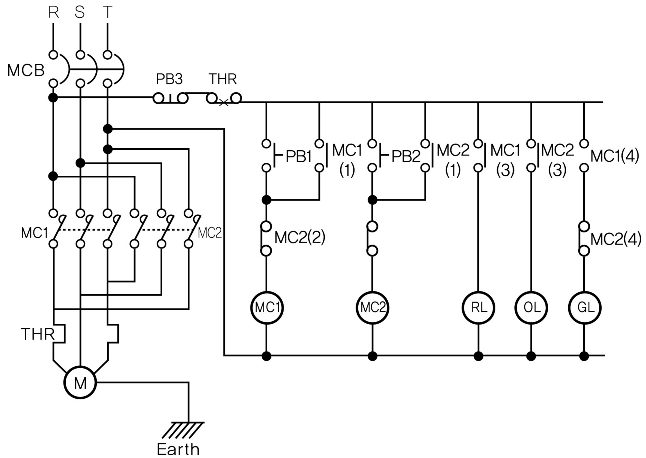
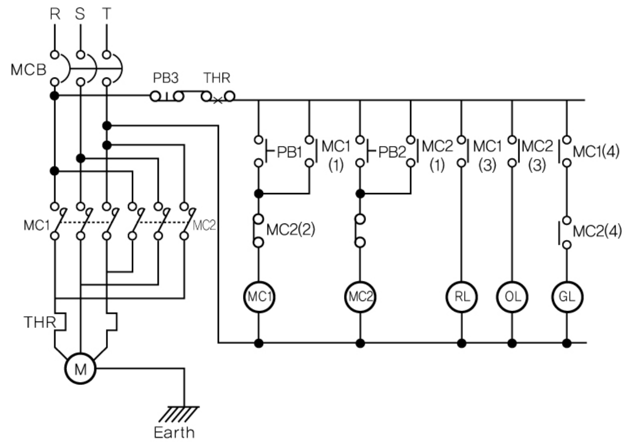
※ 정오 및 오탈자를 수정합니다. 앞으로 더욱더 좋은 양서를 만들 수 있도록 꾸준히 노력할 것을 약속드립니다. 감사합니다.

page	수정사항	수정반영
19P	그림 변경	 실제적 출력 →  실제적 출력
23p	그림 변경	 (a) 스프링 →  (a) 스프링
24p	수식 교체	전달함수는 $G(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}=K(s)$가 된다. → 전달함수는 $G(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}=KS$가 된다.
26p	문제 변경	전달함수 $G(s) = \frac{1}{Ts+1}$(단, $T>0$)로 주어지는 제어대상과 PIL(비례 - 적분 - 미분)제어기로 구성되는 제어시스템에 대하여 각 제어기 요소들의 효과를 설명한 것으로 옳지 않은 것은?(단, 외란과 센서잡음 등의 불확실한 외부입력 요소는 고려하지 않는 것으로 한다.)
	변경 후	전달함수 $G(s) = \frac{1}{Ts+1}$(단, $T>0$)로 주어지는 제어대상과 PID(비례 - 적분 - 미분)제어기로 구성되는 제어시스템에 대하여 각 제어기 요소들의 효과를 설명한 것으로 옳지 않은 것은?(단, 외란과 센서잡음 등의 불확실한 외부입력 요소는 고려하지 않는 것으로 한다.)

<table>
<tr><td rowspan="2">27p</td><td>그림 변경</td><td>
</td></tr>
<tr><td>변경 후</td><td>
</td></tr>
<tr><td>38p</td><td>그림 변경</td><td>

(b) 소자의 표시기호
→


(b) 소자의 표시기호</td></tr>
</table>

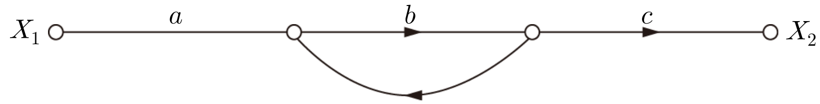
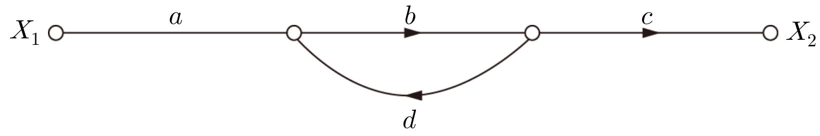
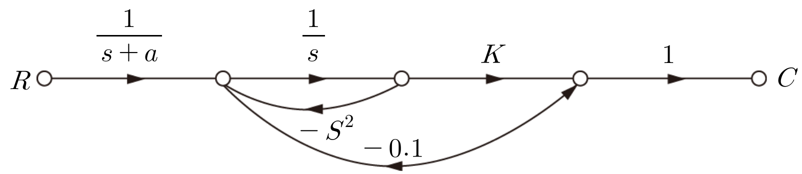
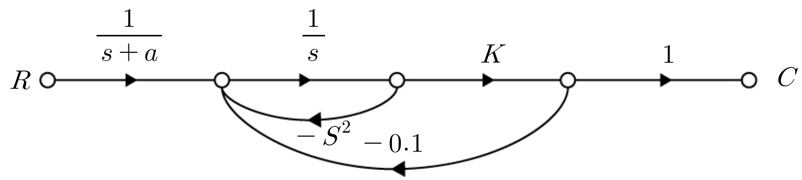
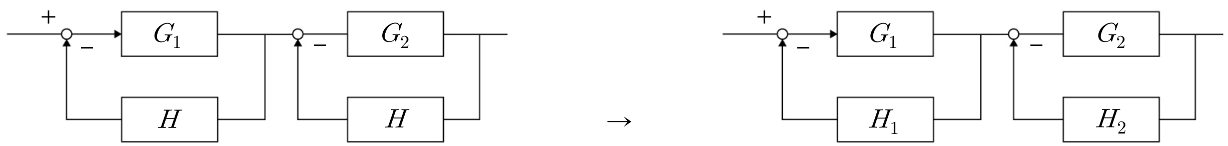
42p	그림 변경	 → 
46p	수식 변경	$\begin{array}{ccccccccccccc} 1 & & 1 & & 0 & & 1 & & 1 & & 1 & & \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\ 1\times2^{3} & & 1\times2^{2} & & 0\times2^{1} & & 1\times2^{0} & & 1\times2^{-1} & & 1\times2^{-2} & & \\ \parallel & & \parallel & & \parallel & & \parallel & & \parallel & & \parallel & & \\ 8 & + & 4 & + & 0 & + & 1 & + & 0.5 & + & 0.25 & = & (3.75)_{10} \end{array}$
	변경 후	$\begin{array}{ccccccccccccc} 1 & & 1 & & 0 & & 1 & & 1 & & 1 & & \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\ 1\times2^{3} & & 1\times2^{2} & & 0\times2^{1} & & 1\times2^{0} & & 1\times2^{-1} & & 1\times2^{-2} & & \\ \parallel & & \parallel & & \parallel & & \parallel & & \parallel & & \parallel & & \\ 8 & + & 4 & + & 0 & + & 1 & + & 0.5 & + & 0.25 & = & (13.75)_{10} \end{array}$

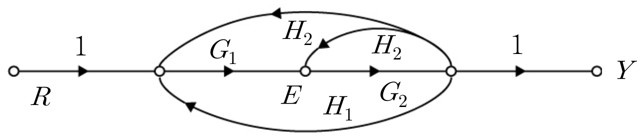
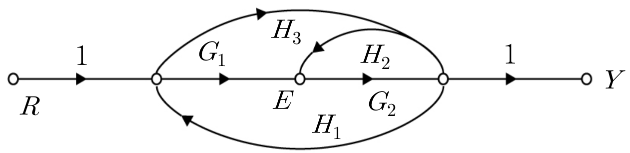
47p	수식 변경	$23.4)_8$ 2 3 . 4 ↓ ↓ ↓ $2\times8^1 + 3\times8^0 + 4\times8^{-1} = 16 + 3 + 0.5 = 19.5)_{10}$
	변경 후	$23.4)_8$ 2 3 . 4 ↓ ↓ ↓ $2\times8^1 + 3\times8^0 + 4\times8^{-1} = 16 + 3 + 0.5 = (19.5)_{10}$
47p	수식 변경	$2\ A\ E\ 5)_{16}$ $2\times16^3 + 10\times16^2 + 14\times16^1 + 5\times10^0$ $= 8192 + 2560 + 224 + 5 = (10981)_{10}$
	변경 후	$2\ A\ E\ 5)_{16}$ $2\times16^3 + 10\times16^2 + 14\times16^1 + 5\times16^0$ $= 8192 + 2560 + 224 + 5 = (10981)_{10}$

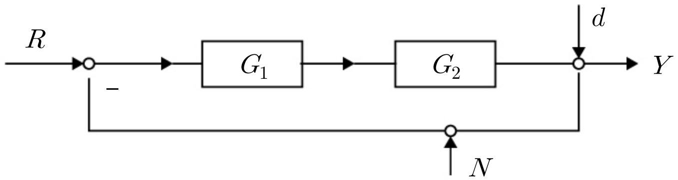
49p	수식 변경	2진수 → 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 16진수 → 6 B C D 6 $6BCD6)_{16}$
	변경 후	2진수 → 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 16진수 → D 7 9 A 6 $D79A6)_{16}$
50p	수식 변경	8진수 → 2 6 7 3 6 4 2진수 → 10 110 111 010 110 1 $10110.1110101101)_2$
	변경 후	8진수 → 2 6 7 3 6 4 2진수 → 10 110 111 011 110 1 $10110.1110111101)_2$

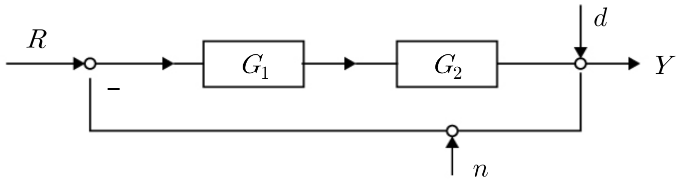
50p	수식 변경	8진수 → 7 4 7 5 → 74.75 2진수 → 111 100 111 101 16진수 → 3 C(12) F(15) 4 → 3C.E4
	변경 후	8진수 → 7 4 7 5 → 74.75 2진수 → 111 100 111 101 16진수 → 3 C(12) F(15) 4 → 3C.F4
60p	오타 수정	그림에서 T가 0에 가까이 가면 $f(t)$의 면적은 <u>진촉</u>이 매우 크고 폭이 매우 좁게 된다.
	변경 후	그림에서 T가 0에 가까이 가면 $f(t)$의 면적은 <u>진폭</u>이 매우 크고 폭이 매우 좁게 된다.
61p	수식 변경	2. 상사 정리 $\mathcal{L}\left[f\left(\frac{t}{a}\right)\right]=af(as)$ → 2. 상사 정리 $\mathcal{L}\left[f\left(\frac{t}{a}\right)\right]=aF(as)$
62p	2번. 풀이 변경	$\mathcal{L}^{-1}[Y(s)]=\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+3}-\frac{1}{s-6}\right]$ $=\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+3}\right]-\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s-6}\right]=e^{-7t}-e^{-6t}$
	변경 후	$\mathcal{L}^{-1}[Y(s)]=\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+3}-\frac{1}{s-6}\right]$ $=\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s+3}\right]-\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s-6}\right]=e^{-3t}-e^{6t}$

62p	4번. 풀이 변경	$Y(s)=\frac{A}{s+2}+\frac{B}{s-3}$ $A=\frac{1}{5} \qquad B=-\frac{1}{5}$ $\mathcal{L}^{-1}[Y(s)]=-\frac{1}{5}\mathcal{L}\left[\frac{1}{s+2}-\frac{1}{s-3}\right]$ $=-\frac{1}{5}(e^{-2t}-e^{-3t})$ → $Y(s)=\frac{A}{s+2}+\frac{B}{s-3}$ $A=-\frac{1}{5} \qquad B=\frac{1}{5}$ $\mathcal{L}^{-1}[Y(s)]=-\frac{1}{5}\mathcal{L}\left[\frac{1}{s+2}-\frac{1}{s-3}\right]$ $=-\frac{1}{5}(e^{-2t}-e^{3t})$
63p	6번. 문제 변경	$Y(s)=\frac{1}{(s+1)(s+2)^2}+\frac{A}{s+1}=\frac{B}{(s+2)^2}+\frac{C}{s+2}$
	변경 후	$Y(s)=\frac{1}{(s+1)(s+2)^2}=\frac{A}{s+1}+\frac{B}{(s+2)^2}+\frac{C}{s+2}$
68p	1. 초기값 수식 변경	$\lim_{t\to 0} f(t) = \lim_{s\to 0} s\ F(s)$ → $\lim_{t\to 0} f(t) = \lim_{s\to \infty} s\ F(s)$
	예제 05. 문제 변경	예제05. $\lim_{s\to 0} 3e^{-2t}$를 초기값 정리를 이용하여 구하시오. → 예제05. $\lim_{t\to 0} 3e^{-2t}$를 초기값 정리를 이용하여 구하시오.
	예제 06. 풀이 변경	$\lim_{s\to 0} s\frac{2s+10}{s^3+3s^2+5s}=\lim_{s\to 0}\frac{2s+1u}{s^2+3s+5}=2$ → $\lim_{s\to 0} s\frac{2s+10}{s^3+3s^2+5s}=\lim_{s\to 0}\frac{2s+10}{s^2+3s+5}=2$

90p	예제 02. 문제 변경	
	변경 후	
92p	예제 02. 문제 변경	
	변경 후	
95p	예제 09. 문제 변경	

96p	예제 10. 풀이 변경	$\frac{E}{R} = \frac{1\times(1-(-H_2G_2G_3+H_1G_3G_4)}{1+G_2G_3H_2-G_3G_4H_2}$
	변경 후	$\frac{E}{R} = \frac{1\times(1-(-H_2G_2G_3+H_1G_3G_4)}{1+G_2G_3H_2-G_3G_4H_1} = \frac{1+G_3G_3H_2-G_3G_4H_1}{1+G_2G_3H_2-G_3G_4H_1} = 1$
96p	예제 11. 그림 변경	 → 
97p	예제 11. 풀이 변경	$\frac{Y}{R} = \frac{G_1G_2(1-0)+H_3(1-0)}{1-(G_1G_2H_1+H_2G_2+H_1H_3)} = \frac{G_1G_2+H_3}{1-G_1G_2H_1-H_2G_3-H_1H_3}$ $\frac{E}{R} = \frac{G_1(1-0)+H_3H_2(1-0)}{1-(G_1G_2H_1+H_2G_2+H_1H_3)}$
	변경 후	$\frac{Y}{R} = \frac{G_1G_2(1-0)+H_3(1-0)}{1-(G_1G_2H_1+H_2G_2+H_1H_3)} = \frac{G_1G_2+H_3}{1-G_1G_2H_1-H_2G_2-H_1H_3}$ $\frac{E}{R} = \frac{G_1(1-0)+H_3H_2(1-0)}{1-(G_1G_2H_1+H_2G_2+H_1H_3)}$

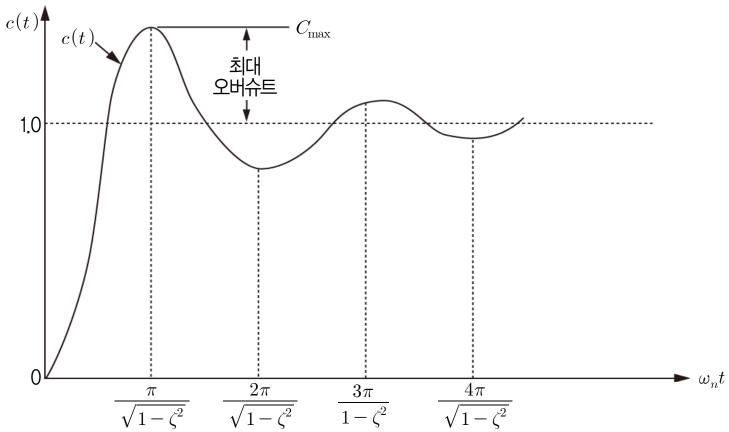
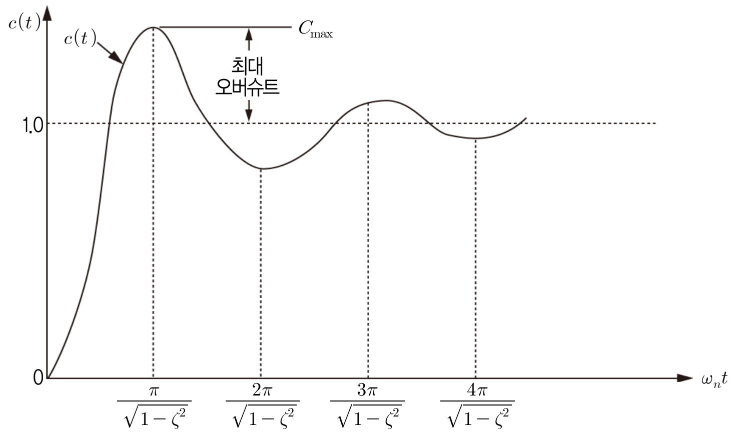
<table>
<tr><td rowspan="2">97p</td><td>예제 12.
풀이 교체</td><td>$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{A\ C}{(1-(-B)) \times (1-D)} = \frac{A\ C}{(1+B)(1-D)}$$</td></tr>
<tr><td>변경 후</td><td>$$\begin{aligned} \triangle &= 1((-B)+D)-BD \\ &= 1+B-D-BD = 1+B-D(1+B) \\ &= (1+B)(1-D) \end{aligned}$$
$$\frac{X_2}{X_1} = \frac{A\ C}{(1-(-B)) \times (1-D)} = \frac{A\ C}{(1+B)(1-D)}$$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">98p</td><td>예제 13.
그림 변경</td><td>

→

</td></tr>
<tr><td>예제 13.
풀이 변경</td><td>시작점 R, n, d
$$Y = \frac{G_1\ G_2}{1-(-G_{1,}\ G_2)}(R-n) + \frac{d}{1-(-G_1\ G_2)}$$
$$= \frac{G_1\ G_2}{1+G_1\ G_2}(R-n) + \frac{d}{1+G_1\ G_2}$$
→
시작점 R, n, d
$$Y = \frac{G_1\ G_2}{1-(-G_{1,}\ G_2)}(R-n) + \frac{d}{1-(-G_1\ G_2)}$$
$$= \frac{G_1\ G_2}{1+G_1\ G_2}(R-n) + \frac{d}{1+G_1\ G_2}$$</td></tr>
</table>

102p	1) 본문 수정	그러므로 원식은 $\dot{x}_2 + 9x_2 = \ 7x_1 \ = \ 3r$ 에서 $\dot{x}_2 + (-7x_1) + 9x_2 + 3r$
	변경 후	그러므로 원식은 $\dot{x}_2 + 9x_2 + 7x_1 = 3r$ 에서 $\dot{x}_2 = -7x_1 - 9x_2 + 3r$
102p	2) 문제 수정	$\ddot{y} = \ 3\dot{y} + \ 2y \ = y \quad \rightarrow \quad \ddot{y} + 3\dot{y} + 2y \ = r$
103p	예제 01. 풀이 변경	$SI - A = \begin{bmatrix} S & 0 \\ 0 & S \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -4 & -1 \\ 3 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S+4 & -1 \\ -3 & s+1 \end{bmatrix} \quad \rightarrow \quad SI - A = \begin{bmatrix} S & 0 \\ 0 & S \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -4 & -1 \\ 3 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S+4 & 1 \\ -3 & s+1 \end{bmatrix}$
104p	예제 02. 문제 수정	예제02. 다음 상태방정식과 출력방정식으로 주어진 시스템의 전달함수를 구하시오.
	변경 후	예제02. 다음 상태방정식과 출력방정식으로 주어진 시스템의 $\underline{(SI-A)^{-1}}$를 구하시오.

104p	예제 02. 풀이 수정	$x_1(t) = y(t)$ $\ddot{x}_2(t) + 5x_2 + 6x_1 = r(t)$ $\ddot{x}_2(t) = -6x_1 - 5x_2 + r(t)$ $\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -6 & -5 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} r$ $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -6 & -5 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ $(SI - A) = \begin{bmatrix} S & 0 \\ 0 & S \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -6 & -5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S & -1 \\ +6 & S+5 \end{bmatrix}$ $(SI - A)^{+} = \dfrac{1}{\begin{vmatrix} S & -1 \\ 6 & S+5 \end{vmatrix}} = \begin{bmatrix} S+5 & 1 \\ -6 & S \end{bmatrix} = \dfrac{1}{S^2 + 5S + 6} \begin{bmatrix} S+5 & 1 \\ -6 & S \end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix} \dfrac{S+5}{(S+3)(S+2)} & \dfrac{1}{(S+3)(S+2)} \\ \dfrac{-6}{(S+3)(S+2)} & \dfrac{S}{(S+3)(S+2)} \end{bmatrix}$

	변경 후	$x_1(t) = y(t)$ $\dot{x}_2(t) + 5x_2(t) + 6x_1(t) = r(t)$ $\dot{x}_2(t) = -6x_1 - 5x_2 + r(t)$ $\begin{bmatrix}\dot{x}_1\\ \dot{x}_2\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 1\\ -6 & -5\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}x_1\\ x_2\end{Bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix}r$ $A = \begin{bmatrix}0 & 1\\ -6 & -5\end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix}$ $(SI-A) = \begin{bmatrix}S & 0\\ 0 & S\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}0 & 1\\ -6 & -5\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}S & -1\\ +6 & S+5\end{bmatrix}$ $(SI-A)^{-} = \frac{1}{\begin{vmatrix}S & -1\\ 6 & S+5\end{vmatrix}} \times \begin{bmatrix}S+5 & 1\\ -6 & S\end{bmatrix} = \frac{1}{S^2+5S+6}\begin{bmatrix}S+5 & 1\\ -6 & S\end{bmatrix}$ $= \begin{bmatrix}\frac{S+5}{(S+3)(S+2)} & \frac{1}{(S+3)(S+2)}\\ \frac{-6}{(S+3)(S+2)} & \frac{S}{(S+3)(S+2)}\end{bmatrix}$
105p	예제 03. 문제 수정	$\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 1\\ -2 & -3\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}x_1\\ x_2\end{Bmatrix} + \begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix}r(t)$ → $\begin{bmatrix}\dot{x}_1(t)\\ \dot{x}_2(t)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}0 & 1\\ -2 & -3\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}x_1\\ x_2\end{Bmatrix} + r(t)$
111p	본문 수정	·감쇠계수(damping factor) $\zeta = \frac{a_1}{\sqrt[2]{a_0 a_2}}$ → ·감쇠계수(damping factor) $\zeta = 2 \times \frac{a_1}{\sqrt{a_0 a_2}}$

<table>
<tr><td rowspan="2">127p</td><td>수식 수정</td><td>제어 시스템의 단위 계단 응답 $c(t)$는 $C(s)$를 라플라스 역변환함으로써 구해진다.
$$c(t) = \mathcal{L}^{-1}\frac{1}{5}\left[\frac{1}{s} - s\frac{+2}{(s+2)^2+1} - \frac{2}{(s+2)^2+1}\right]$$
$$= \left[\frac{1}{5} - \frac{1}{5}e^{-2t}\cos t - \frac{2}{5}e^{-2t}\sin t\right]u(t)$$</td></tr>
<tr><td>변경 후</td><td>제어 시스템의 단위 계단 응답 $c(t)$는 $C(s)$를 라플라스 역변환함으로써 구해진다.
$$c(t) = \mathcal{L}^{-1}\frac{1}{5}\left[\frac{1}{s} - \frac{S+2}{(s+2)^2+1} - \frac{2}{(s+2)^2+1}\right]$$
$$= \left[\frac{1}{5} - \frac{1}{5}e^{-2t}\cos t - \frac{2}{5}e^{-2t}\sin t\right]u(t)$$</td></tr>
<tr><td>130p</td><td>그림 수정</td><td>
→
</td></tr>
</table>

133p	수식 수정	라플라스 최종치 정리 $\lim_{t\to\infty} f(t) = f(\infty) = \lim_{s\to\infty} SF(s)$ 단, $f(t)$는 수렴해야 한다.	→	라플라스 최종치 정리 $\lim_{t\to\infty} f(t) = f(\infty) = \lim_{s\to 0} SF(s)$ 단, $f(t)$는 수렴해야 한다.
135p	예제 01. 풀이 수정	$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$ $C(s) = G(s)\cdot R(s)\frac{1}{s^2+1}\times 1$ $C(t) = \sin t$	→	$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)}$ $C(s) = G(s)\cdot R(s)\frac{1}{s^2+1}\times 1$ $C(t) = \sin t$
136p	수식 변경	(1) 단위 임펄스 함수 $5(t) = \delta(t) = \frac{du(t)}{dt} \begin{cases} t=0 & 1 \\ t\neq 0 & 0 \end{cases}$ $F(s) = \mathcal{L}\cdot\delta(t)\ e^{-st}\ dt$	→	(1) 단위 임펄스 함수 $r(t) = \delta(t) = \frac{du(t)}{dt} \begin{cases} t=0 & 1 \\ t\neq 0 & 0 \end{cases}$ $F(s) = \mathcal{L}\cdot\delta(t)\ e^{-st}\ dt$
137p	정답 수정	$e_{ss} = \lim_{t-\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} SE(s) = \lim_{s\to 0}\frac{SR(s)}{1+GH}$ $= \lim_{s\to 0}\frac{S}{1+GH}\cdot\frac{1}{S} = \lim_{s\to 0}\frac{1}{1+GH} = \frac{1}{1+\lim_{s\to 0} GH}$ $= \frac{1}{1+KP}$		
	변경 후	$e_{ss} = \lim_{t-\infty} e(t) = \lim_{s\to 0} SE(s) = \lim_{s\to 0}\frac{SR(s)}{1+GH}$ $= \lim_{s\to 0}\frac{S}{1+GH}\cdot\frac{1}{S} = \lim_{s\to 0}\frac{1}{1+GH} = \frac{1}{1+\lim_{s\to 0} GH}$ $= \frac{1}{1+Kp}$		

<table>
<tr><td rowspan="2">139p</td><td>예제 03.
풀이 수정</td><td colspan="3">단위 계단 함수를 입력으로 할 때의 정상 상태 오차는 다음과 같다.
$e_{ss} = 0.1 = \frac{1}{1+K_p}, \quad K_p = \frac{1-e_{ss}}{e_{ss}} = \frac{0.9}{0.11} = 9$</td></tr>
<tr><td>변경 후</td><td colspan="3">단위 계단 함수를 입력으로 할 때의 정상 상태 오차는 다음과 같다.
$e_{ss} = 0.1 = \frac{1}{1+K_p}, \quad K_p = \frac{1-e_{ss}}{e_{ss}} = \frac{0.9}{0.1} = 9$</td></tr>
<tr><td>140p</td><td>3) 풀이 변경</td><td>$e_{ss} = \lim_{s\to 0} SE(s) = \lim_{s\to 0} S\frac{R(s)}{1+G(s)+H(s)}$
$= \lim_{s\to 0} S\frac{\frac{1}{s^2}}{1+G(s)H(s)} \quad \lim_{s\to 0} S\frac{R(s)}{1+G(s)H(s)}$
$= \frac{1}{\lim_{s\to 0} S\ G(s)H(s)} = \frac{1}{K_v}$</td><td>→</td><td>$e_{ss} = \lim_{s\to 0} SE(s) = \lim_{s\to 0} S\frac{R(s)}{1+G(s)+H(s)}$
$= \lim_{s\to 0} S\frac{\frac{1}{s^2}}{1+G(s)H(s)}$
$= \frac{1}{\lim_{s\to 0} S\ G(s)H(s)} = \frac{1}{K_v}$</td></tr>
<tr><td>142p</td><td>문제 01.
풀이 수정</td><td>$e_{ss} = \frac{1}{1+r_p} = 0.5 = \frac{1}{2}, \quad K_p = 1$
$K_p \frac{K}{(s+2)(s+3)} = 1$
$K_p = \lim_{s\to 0}\frac{K}{(s+2)(s+3)} = 1$
$\frac{K}{6} = 1 \qquad K = 6$</td><td>→</td><td>$e_{ss} = \frac{1}{1+K_p} = 0.5 = \frac{1}{2}, \quad K_p = 1$
$K_p = \frac{K}{(s+2)(s+3)} = 1$
$K_p = \lim_{s\to 0}\frac{K}{(s+2)(s+3)} = 1$
$\frac{K}{6} = 1 \qquad K = 6$</td></tr>
</table>

145p	본문 수정	여기서, K_p를 포물선 오차 상수 또는 가속도 오차 상수라 하며 다음과 같이 된다.
	교체 후	여기서, K_a를 포물선 오차 상수 또는 가속도 오차 상수라 하며 다음과 같이 된다.
146p	문제 교체	$G(s)H(s) = \dfrac{50(s+6)}{s^2(s+1)(s+2)}$ → $G(s)H(s) = \dfrac{50(s+8)}{s^2(s+1)(s+2)}$
	풀이 교체	$K_a = \lim_{s\to 0} s^2 G(s)H(s) = \lim_{s\to 0} s^2 \dfrac{50(s+8)}{s^2(s+1)(s+2)} = 400$ $e_{ss} = \dfrac{1}{K_a} = \dfrac{1}{400} = 0.0025$ → $K_a = \lim_{s\to 0} s^2 G(s)H(s) = \lim_{s\to 0} s^2 \dfrac{50(s+8)}{s^2(s+1)(s+2)} = 200$ $e_{ss} = \dfrac{1}{K_a} = \dfrac{1}{200} = 0.005$

147p

표 수정

[표 10–2] 제어계의 정상 상태 편차

형 \ 편차	K_p	K_v	K_a	e_{ssp}	e_{ssv}	e_{ssa}	기준입력
0 (적분기 1개이상)	K_p	0	0	$\frac{1}{1+K_p}$	∞	∞	$r(t) = u(t)$
1 (적분기 2개이상)	∞	K_v	0	0	$\frac{1}{K_v}$	∞	$r(t) = t$
2 (적분기 3개이상)	∞	∞	K_p	0	0	$\frac{1}{K_a}$	$r(t) = \frac{1}{2}t^2$

교체 후

[표 10–2] 제어계의 정상 상태 편차

형 \ 편차	K_p	K_v	K_a	e_{ssp}	e_{ssv}	e_{ssa}	기준입력
0 (적분기 1개이상)	K_p	0	0	$\frac{1}{1+K_p}$	∞	∞	$r(t) = u(t)$
1 (적분기 2개이상)	∞	K_v	0	0	$\frac{1}{K_v}$	∞	$r(t) = t$
2 (적분기 3개이상)	∞	∞	K_a	0	0	$\frac{1}{K_a}$	$r(t) = \frac{1}{2}t^2$

154p

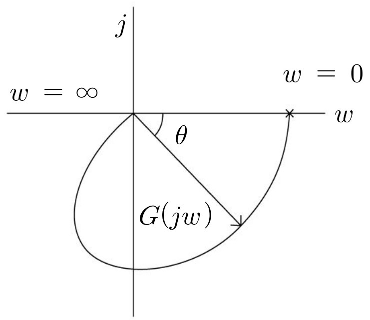
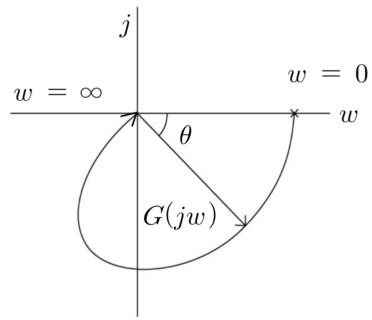
출력 $y(t)$ 풀이 교체

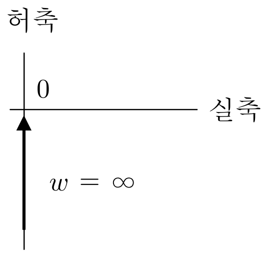
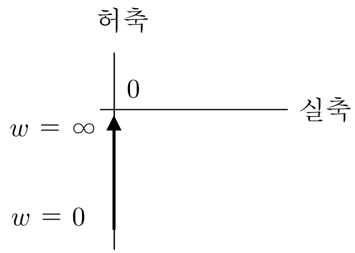
$y(t) = A_0 \sin 2(t-T) = A_0 \sin(2t-2T)$ [지상]
$= A_0 \sin(wt+\phi)$

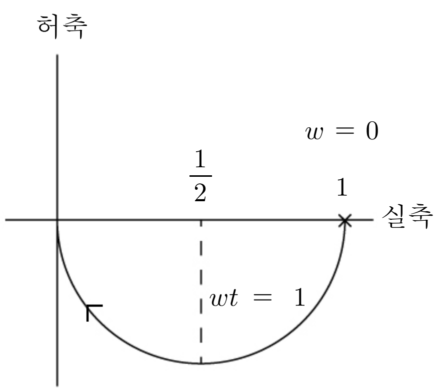
→

$y(t) = A_0 \sin 2(t-\phi) = A_0 \sin(2t-2\phi)$ [지상]
$= A_0 \sin(wt-\phi)$

<table>
<tr><td rowspan="2">154p</td><td>본문 수정</td><td>여기서 전달함수 $G(s)$에서 S를 jw로 치환하여 $G(jw)$를 주파수 전달함수(frequency transfer function)라 하고 이 주파수 전달함수의 절대값 $|G(jw)|$는 주파수 응답의 이득과 편각 $\underline{LG(jw)}$은 다음과 같은 관계가 있다.</td></tr>
<tr><td>교체 후</td><td>여기서 전달함수 $G(s)$에서 S를 jw로 치환하여 $G(jw)$를 주파수 전달함수(frequency transfer function)라 하고 이 주파수 전달함수의 절대값 $|G(jw)|$는 주파수 응답의 이득과 편각 $\underline{\angle G(jw)}$은 다음과 같은 관계가 있다.</td></tr>
<tr><td>155p</td><td>풀이 교체</td><td>$Y(s) = G(s) \cdot R(s) = \frac{2}{s+2} \cdot \frac{2\times 2}{s^{2+4}}$
$= \frac{A}{s+2} + \frac{Bs+C}{s^2+2}$ $A = \frac{8}{8} = 1$
$r(t) = 2\sin 2t$에서 $w = 2$
$G(jw) = G(j2) = \frac{2}{jw+2} = \frac{2}{j2+2}$
$\left|\frac{2}{j2+2}\right| = \frac{2}{\sqrt[2]{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$
$\phi = 0 - \frac{\pi}{4} = -\frac{\pi}{4}$(지상)
$y(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} 2\sin(2t - \frac{\pi}{4})$</td></tr>
</table>

	교체 후	$Y(s) = G(s) \cdot R(s) = \dfrac{2}{s+2} \cdot \dfrac{2\times 2}{s^2+2^2}$ $= \dfrac{A}{s+2} + \dfrac{Bs+C}{s^2+4} \qquad A = \dfrac{8}{8} = 1$ $r(t) = 2\sin 2t$에서 $w = 2$ $G(jw) = G(j2) = \dfrac{2}{jw+2} = \dfrac{2}{j2+2}$ $\left\lvert \dfrac{2}{j2+2} \right\rvert = \dfrac{2}{2\sqrt{2}} = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$ $\phi = 0 - \dfrac{\pi}{4} = -\dfrac{\pi}{4}$(지상) $y(t) = \dfrac{1}{\sqrt{2}} 2\sin(2t - \dfrac{\pi}{4})$
156p	그림 교체	 → 

156p	(2) 미분요소 수정	$G(s) = S$ → $G(s) = S$ $G(jw) = jw \quad 0$ → $G(jw) = jw + 0$
156p	(3) 적분요소 그림 수정	 → 

157p	(5) 1차 지연요소 교체	$G(s) = \frac{1}{1+Ts}\ G(jw) = \frac{1}{1+Ts}$ $G(jw) = \frac{1}{1+jw} = \frac{(1-jwT)}{(1+jwT)(1-jwT)}$ $= \frac{1-jwT}{1^2-(jw^2)T^2} = \frac{1}{1+w^2T^2} - \frac{jwT}{1+w^2T^2}$ 실수부 $= \frac{1}{1+w^2T^2}$ 허수부 $= \frac{wt}{1+w^2T^2}$ $x^2 + y^2 = R^2$ $R^2 + \left(\frac{1}{1+w^2T^2}\right)^2 + \left(\frac{wt}{1+w^2T^2}\right) = \frac{1+w^2T^2}{(1+w^2T^2)^2} = \frac{1}{1+w^2T^2}$ $R = \frac{1}{\sqrt{1+w^2T^2}}$ 

<table>
<tr>
<td></td>
<td>교체 후</td>
<td>

$$G(s) = \frac{1}{1+Ts}$$

$$G(jw) = \frac{1}{1+jwT} = \frac{(1-jwT)}{(1+jwT)(1-jwT)}$$

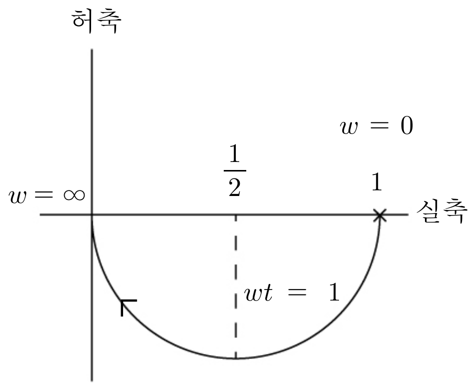
$$= \frac{1-jwT}{1^2-(jw)^2T^2} = \frac{1}{1+w^2T^2} - \frac{jwT}{1+w^2T^2}$$

실수부 $= \dfrac{1}{1+w^2T^2}$ 허수부 $= \dfrac{wT}{1+w^2T^2}$

$$x^2 + y^2 = R^2$$

$$R^2 = \left(\frac{1}{1+w^2T^2}\right)^2 + \left(\frac{wt}{1+w^2T^2}\right)^2 = \frac{1+w^2T^2}{(1+w^2T^2)^2} = \frac{1}{1+w^2T^2}$$

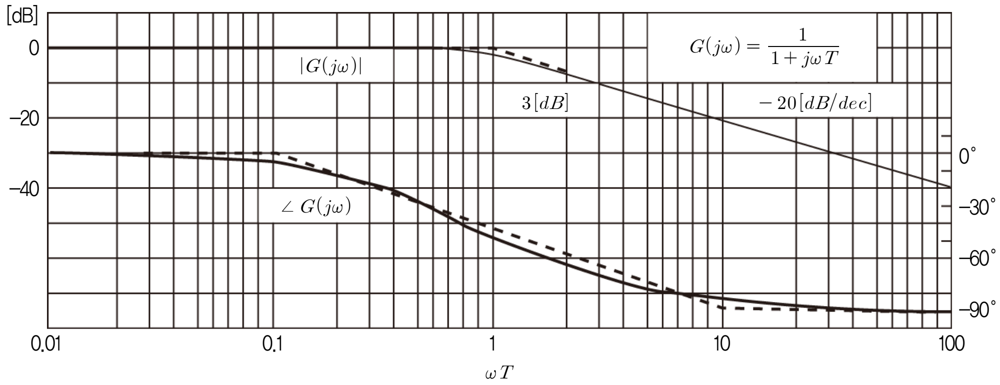
$$R = \frac{1}{\sqrt{1+w^2T^2}}$$

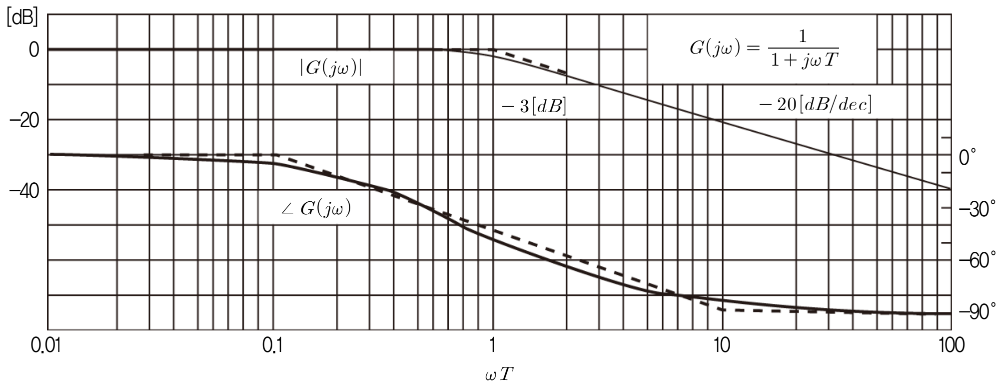


</td>
</tr>
</table>

160p	수식 교체	이득(g) : $\lvert G(jw)\rvert = 20\log\frac{1}{\omega T} = -20\log\omega T[dB]$ 위상 : $\theta = \angle G(j\omega) = \angle L - j\frac{1}{w} = 90^\circ$ → 이득(g) : $\lvert G(jw)\rvert = 20\log\frac{1}{\omega T} = -20\log\omega T[dB]$ 위상 : $\theta = \angle G(j\omega) = \angle -j\frac{1}{w} = -90^\circ$
462p	(4) 1차 지연요소 변경	$G(s) = \frac{1}{1+T}$ $G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T} = \frac{1-jwT}{1+w^2T^2}$ 이득(g): $GM = 20\log\frac{1}{\sqrt{1+\omega^2T^2}}$ $= -20\log(1+w^2T^2)$ $= -20\log\sqrt{1+w^2T^2}$ 위상(θ): $\theta = \angle\left(\frac{1}{1+w^2T^2} - j\frac{wt}{1+w^2T^2}\right) = \tan^{-1}(-wT) = -\tan^{-1}(wT)$ $\lvert G(jw)\rvert = \frac{1}{(1+w^2T^2)^2} + \frac{w^2T^2}{(1+w^2T^2)^2} = \frac{1}{1+w^2T^2}$

	변경 후	$G(s) = \frac{1}{1+TS}$ $G(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega T} = \frac{1-jwT}{1+w^2T^2}$ 이득(g): $GM = 20\log\frac{1}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}}$ $= -20\log\sqrt{1+w^2T^2}$ 위상(θ): $\theta = \angle\left(\frac{1}{1+w^2T^2} - j\frac{wt}{1+w^2T^2}\right) = \tan^{-1}(-wT) = -\tan^{-1}(wT)$ $\lvert G(jw)\rvert = \frac{1}{(1+w^2T^2)^2} + \frac{w^2T^2}{(1+w^2T^2)^2} = \frac{1}{1+w^2T^2}$

<table>
<tr><td rowspan="2">162P</td><td>그림 수정</td><td>

[그림 11-4] $\frac{1}{1+j\omega T}$의 보드 선도</td></tr>
<tr><td>변경 후</td><td>

[그림 11-4] $\frac{1}{1+j\omega T}$의 보드 선도</td></tr>
<tr><td>187p</td><td>본문 수정</td><td>주점 : 전달함수의 분모가 0인 근 (-4, -5) → 극점 : 전달함수의 분모가 0인 근 (-4, -5)</td></tr>
</table>