

부하 변화에 견실한 추적 제어기 설계

김광태 정구락 김재환 박원철 박래석  
국방과학연구소

Robust Tracking Controller Design for a Load Variation

Kwang-Tae Kim Koo-Rack Chung Jae-Whan Kim Won-Chul Park Rae-Soek Park  
Agency for Defense Development

ABSTRACT

Load Variation effects on the system driving performance.

Therefore, this paper presents as a application example of Anti-windup method using general incremental form for a gun servo system of load variation involved. Also, this method can be easily implemented compared to gain scheduling technique.

1. 서론

함정에서 운용되는 포서어보 시스템들은 함운동 및 적재탄수에 따라 부하변화가 예상되며 실지 시스템에 미치는 영향중 부하관성력 변화가 가장큰 요소가 된다. 그리고 제어영역 전구간에서 단일 이득만으로 제어 할 경우, 부하 관성이 과도하게 변하면 오버슈트가 발생하거나 속응성 및 시스템 정확도에 문제가 발생할 수 있다.

이러한 문제들을 극복하기 위한 일반적인 해결 방법으로는 Gain Scheduling 기법[1]을 적용하고 있지만 구간 및 이득분포 설정은 많은 실험적인 노력이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 미리 설계된 선형제어기에 Incremental 형태의 Anti-windup Compensation[2],[3]를 적용하여 부하변화에 대한 구동특성 및 적용가능성을 시뮬레이션을 통해 살펴보았다.

2. Incremental 형태의 AWC

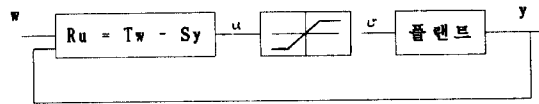


그림 2.1 일반적인 제어루프  
Fig 2.1 General Control Loop

단일입력 단일출력 시스템에 대해 이산시간 제어기는 다음과 같이 상태 공간모델 및 입-출력 관계식으로 나타낸다.

$$\begin{aligned} x(k+1) &= Fx(k) + Gy(k) + Hw(k) \\ u(k) &= Cx(k) + Dy(k) + Ew(k) \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$R(q)u(k) = T(q)w(k) - S(q)y(k)$$

여기서  $u(k)$ 는 플랜트입력,  $y(k)$ 는 플랜트출력  $w(k)$ 는 기준입력,  $x(k)$ 는 제어기의 상태 변수 벡터이며,  $R$ 은 Monic으로 가정한다.

만약 제어기가 적분기를 포함한다면 다항식  $R(q)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R(q) = (q^{-1})^l R_1(q) \quad (2.2)$$

Incremental AWC는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} R_1^*(q^{-1}) \Delta u(k) &= T^*(q^{-1})w(k) - S^*(q^{-1})y(k) \\ u(k) &= v(k-1) + (1-R_1^*) \Delta v(k) + T^*(q^{-1})w(k) \\ &\quad - S^*(q^{-1})y(k) \end{aligned} \quad (2.3)$$

여기서  $\Delta = 1 - q^{-1}$ ,  $T^*(q^{-1}) = q^{-n} T(q)$ ,  $S^*(q^{-1}) = q^{-n} S(q)$ ,  $R_1^*(q^{-1}) = q^{n+1} R_1(q)$ ,

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k),$$

$$v(k) = \text{sat}\{u(k)\} \text{ 이다.}$$

식(2.2)에서  $R1(q)$ 가 불안정 모드를 갖지 않을 경우 AWC는 안정하다.

### 3. 디지털 LQ 조절기의 AWC 적용

다음은 본 논문에서 사용한 디지털 LQ 조절기[4], [5]에 대해 AWC 이론을 적용하였다. 구성된 LQ 조절기는 다음과 같다.

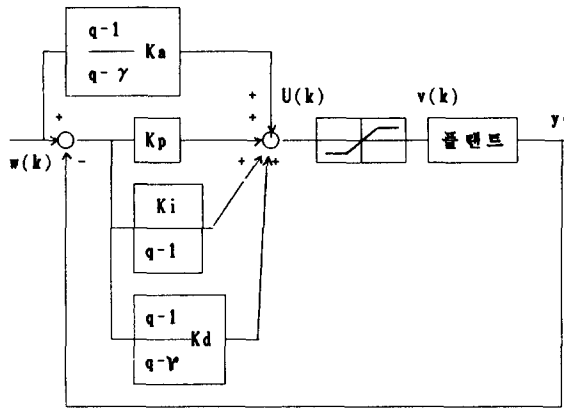


그림 3.1 LQ 조절기  
Fig. 3.1 LQ Regulator

2장에서 언급된 이론을 적용하여 다음과 같은 AWC를 얻었다.

$$R1^* = 1 + q^{-1} \gamma$$

$$T^* = (1 + \gamma q^{-1})(1 - q^{-1})Kp + (1 - q^{-1})^2 Kd + q^{-1}(1 + \gamma q^{-1})Ki + (1 - q^{-1})^2 Ka \quad (3.1)$$

$$S^* = (1 + \gamma q^{-1})(1 - q^{-1})Kp + (1 - q^{-1})^2 Kd + q^{-1}(1 + \gamma q^{-1})Ki$$

$$u(k) = v(k-1) - \gamma v(k-1) + \gamma v(k-2) + T^* w(k) - S^* y(k)$$

식 (3-1)을 도식화하면 그림 3.2와 같다.

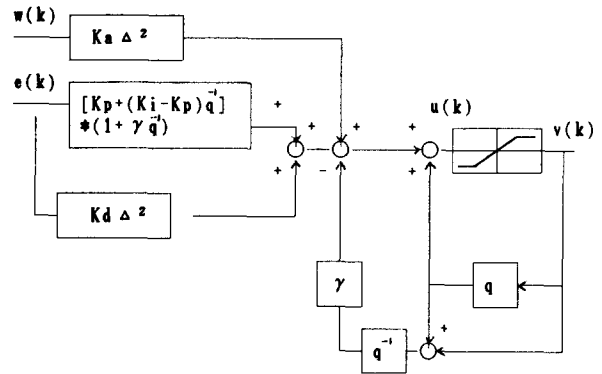


그림 3.2 LQ조절기에 대한 Incremental 제어기 형태  
Fig 3.2 Incremental controller form for LQ Regulator

### 4. 시뮬레이션

본 논문에서 적용한 플랜트는 4.5KW 출력의 DC 서어보 모타로 구성된 플랜트로서 다음과 같은 전달 함수를 갖는다.

$$G(s) = \frac{b}{s(s+a)} \quad (4.1)$$

$$a = 27.0, b = 4.2$$

그리고 적용된 LQ 조절기의 이득은 표 4.1과 같고 샘플링 시간은 10 msec로 시뮬레이션을 수행하였다.

표 4.1

구분	Kp	Ki	Kd	Ka	γ
이득값	34.2	55.5	1.0	6.4	0.1

이상과 같은 조건하에서 구성된 AWC와 Gain Scheduling에 의한 LQ 조절기 및 기존의 LQ 조절기에 대해 구형파 입력에 대한 응답 특성을 시뮬레이션 하였으며, 그 결과는 그림 4.1 ~ 4.2와 같다.

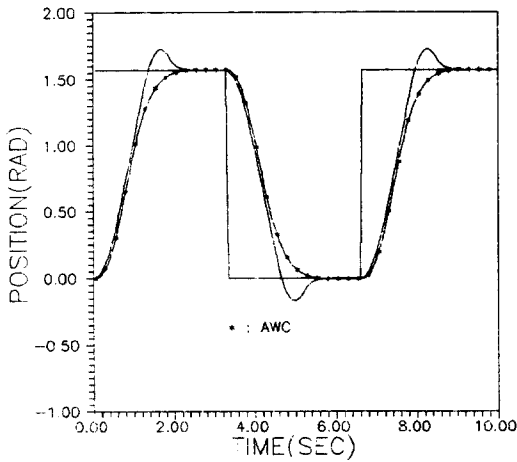


그림 4.1-a) AWC와 기존 LQ 조절기 응답 비교  
( $J = 0.1 \text{ lb-ft-sec}^2$ )  
Fig 4.1-a) Response comparison of AWC and  
unconstraint LQ regulator  
( $J = 0.1 \text{ lb-ft-sec}^2$ )

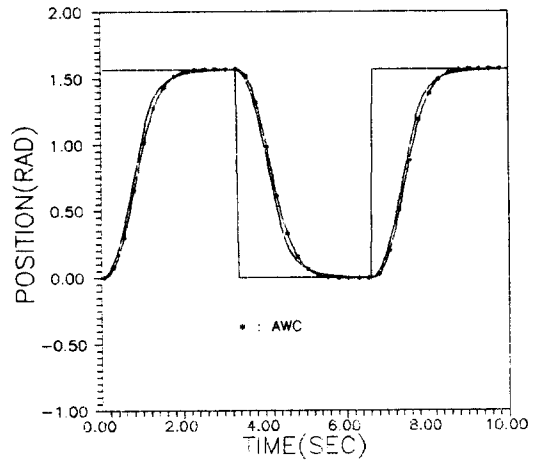


그림 4.2-a) AWC와 Gain Scheduling 기법을 이용한  
LQ 조절기의 응답비교  
( $J = 0.1 \text{ lb-ft-sec}^2$ )  
Fig 4.2-a) Response comparison of AWC and LQ  
Regulator using Gain Scheduling  
Technique ( $J = 0.1 \text{ lb-ft-sec}^2$ )

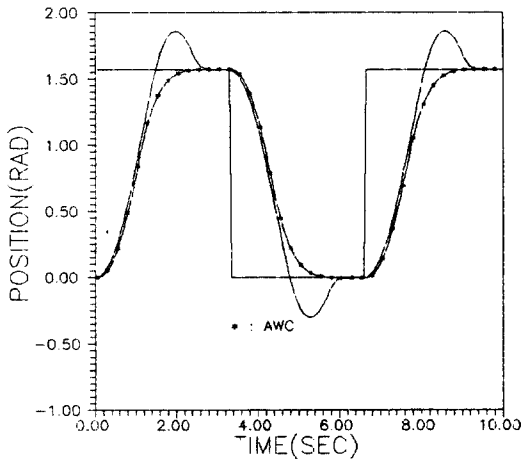


그림 4.1-b) AWC와 기존 LQ 조절기 응답 비교  
( $J = 0.14 \text{ lb-ft-sec}^2$ )  
Fig 4.1-b) Response comparison of AWC and  
unconstraint LQ regulator  
( $J = 0.14 \text{ lb-ft-sec}^2$ )

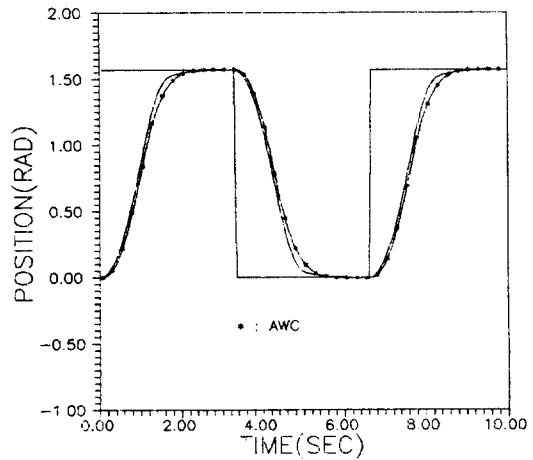


그림 4.2-b) AWC와 Gain Scheduling을 이용한 LQ  
조절기의 응답비교  
( $J = 0.14 \text{ lb-ft-sec}^2$ )  
Fig 4.2-b) Response comparison of AWC and LQ  
Regulator using Gain Scheduling  
Technique ( $J = 0.14 \text{ lb-ft-sec}^2$ )

## 5. 결 론

기존의 선형 제어기에 Anti-windup 기법을 적용한 AWC는 Gain Scheduling을 적용한 제어기와 비교해볼 때 구동특성 및 속응성에 있어서 큰 차이는 없는 것으로 판단되며, Gain Scheduling 기법을 플랜트에 적용시 이득 및 구간설정은 상당한 실험적인 자료를 필요로 한다. 이에반해 AWC는 적용이 용이하며 본 논문에서 살펴본 AWC의 부하변화에 대한 특성도 비교적 양호한 것으로 나타났다.

## 6. 참고 문헌

- [1] D.R. Wilson, "Modern Practice in Servo Design", Pergamon Press, pp. 67-74, 1970
- [2] K.S. Walgama and J. Sternby, "Inherent observer property in a class of anti-windup compensators", INT.J.CONTROL, Vol.52, No.3, pp. 705-724, 1990
- [3] Astrom, K.J. and Wittenmark, B, "Computer Controlled Systems - Theory and Design", Englewood Cliffs, NJ:Prentice Hall, pp. 180-189, 1984
- [4] 김광태, 김재환, 김영수, "추적오차를 최소화하기 위한 최적제어기 설계 및 실현화 연구", '88 한국 자동제어 학술회의 논문집, Vo 1, pp 164-168
- [5] Atans M, "On the PID Controllers using Optimal Linear Regulator Theory," AUTOMATICA Vol.7, pp. 634-647, 1971