

# CTA 자동포용 회전 약실 기구 및 제어기

A Rotating Chamber Mechanism and Its Controller for CTA Guns

**임승철\***      **김기갑\*\***      **심정수\*\*\***      **길성진\*\*\***  
S. Lim      K. K. Kim      J. S. Shim      S. J. Kil

**이건하\*\*\*\***      **차기업\*\*\*\***      **조창기\*\*\*\***      **홍석균\*\*\*\***  
G. H. Lee      G. U. Cha      C. K. Cho      S. K. Hong

## ABSTRACT

Lately, there exist growing demands for the use of CTAs(Cased Telescoped Ammunitions) to increase the firepower of mid-calibre automatic guns despite spatial limitations of armament. In this paper, for automatic CTA guns a rotating chamber mechanism is designed based on parallel index concept. Via dynamic simulations it proves capable of smooth operation even at as high a firing rate as 200spm. Subsequently, motor controllers are synthesized to drive the chamber at any constant speed and also to control positions in the presence of large disturbances caused by the intermittently-rotating load. It is remarkable that we successfully adopted a disturbance observer to treat disturbances only with a moderate bandwidth of the closed-loop system.

주요기술용어(주제어) : CTA(Cased Telescoped Ammunition), Parallel Index(평행 인덱스), DOB(외란 관측기), Motor Control(모터 제어)

## 1. 서론

현재 전투 장갑차의 주무장으로서 25 또는 35mm 구경의 자동포가 주류이나 화력 증대를 위하여 40mm CTA 자동포로의 대체가 계획되고 있다. 최초의 CTA는 25mm 구경으로 1974년 미국에서 연구개발이 완

료되었으나 온도 변화에 따른 강내 탄도 특성 문제가 있었으며, 1991년에 45mm 시험화기인 45M911에 의해 push-through 급탄 방식으로는 최초로 발사 실험되었다. 그 이후 프랑스의 CTA-I사를 중심으로 회전 약실 방식의 40mm CTA 자동포가 개발되고 있다.

CTA는 외관상 원통 형상으로 기존 탄약보다 직경은 크지만 길이가 짧다. 따라서 기존 탄약 대비 30% 정도 체적이 감소되면서도 포구에너지는 약 40% 증가될 수 있다(그림 1 참조)<sup>[1]</sup>.

40mm CTA는 탄두 끝단이 돔 형상으로 압출 복합체인 원통형 탄피 내부에 밀착되어 조립된 플라스틱 몰딩 재에 내장된다. 특히 APFSDS-T 탄종의 경우 관통자는 이탈피와 함께 이동하며, 탄피는 끝단에

† 2005년 10월 26일 접수~2006년 2월 15일 게재승인

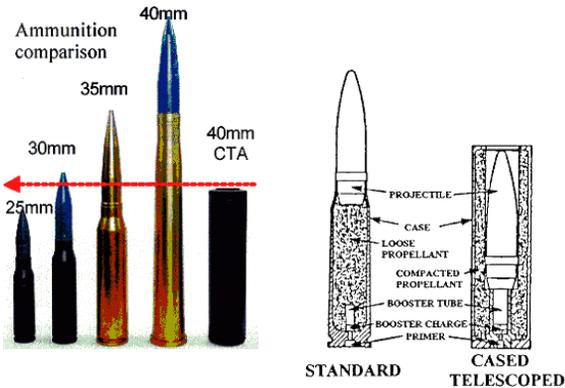
\* 명지대학교 기계공학부(MyongJi Univerity)

\*\* 용인송담대학(Yongin Songdam College)

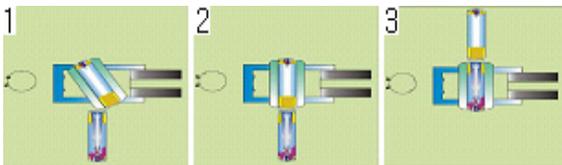
\*\*\* (주)서문기술(SeoMoon Technologies. Inc.)

\*\*\*\* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : slim@mju.ac.kr



[그림 1] 탄약 비교 및 CTA 형상



[그림 2] push-through 및 회전 약실 구동

telescopic insert를 가지고 있어서 탄이 발사됨에 따라 이 insert가 바깥쪽으로 팽창하여 포열을 완전히 밀폐시킨다<sup>[2]</sup>.

CTA 탄약을 사용하는 CTA 자동포는 탄피 방출이 용이하고 장전 및 추출 사이클에서 작동 부품수를 최소화한 회전식 약실을 채용할 수 있다. 이 경우 자동 급탄, 재장전이나 장전 해제 또는 탄종 변경이 용이하고 기존 대비 약 50% 정도 부품을 감소시켜 포의 신뢰도 및 정비 용이성을 대폭 증가시키는 장점이 있다.

그림 2는 회전식 약실기구를 갖는 자동포의 발사 순서를 나타낸다. 탄 발사와 주퇴/복좌 이후 잔존 탄피를 밀어내는 방출과정이 1, 2, 3의 순서로 진행되며 특히 정지 순간 2에 급탄기 반대쪽에서 약실이 개방된다. 3과 같이 새로운 탄 일발이 장전되고 나면 약실이 포장측과 일직선이 되도록 다시 90° 회전한다. 탄이 발사되면 주퇴부 질량은 상자형 몸통 안에서 가이드 레일을 따라 주퇴하며 이때 약실을 본래의 장전 위치로 되돌아가도록 하는데 필요한 복좌 에너지를 저장한다<sup>[3]</sup>.

본 논문에서는 위와 같은 간헐 회전식 운동을 위해

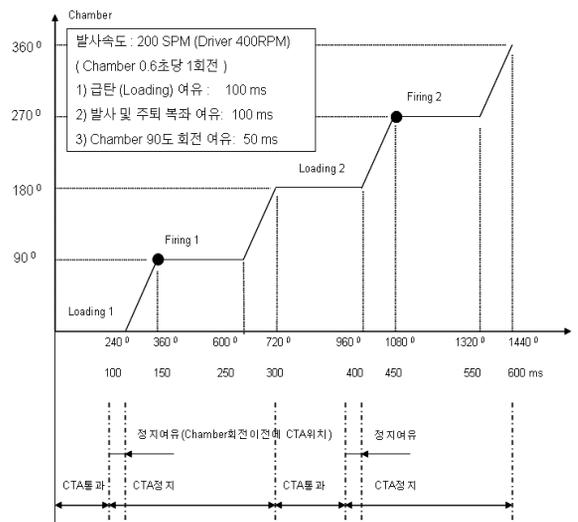
시간에 따른 운동 형태 분석을 통한 약실 기구를 설계하고, 동역학 해석에 근거하여 약실 구동에 필요한 작동기 용량을 파악한 후 이에 적합한 모터 제어 시스템을 설계하고자 한다.

## 2. 약실 기구설계 및 동역학 해석

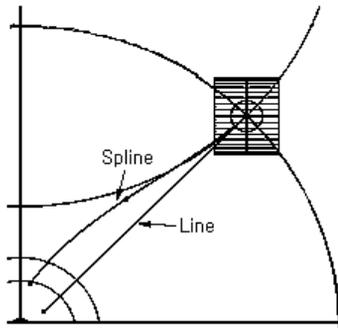
포의 최고 발사속도를 분당 200발, 급탄과 발사 및 주퇴 등 일련의 발사 과정을 고려하여 약실의 정지와 90° 회전 시간을 각각 100ms, 50ms으로 설정하는 경우 그림 3과 같은 타이밍 선도를 얻을 수 있다.

위와 같은 간헐 회전용 기구로는 Geneva 휠이 대표적으로 알려져 있다. 그러나 동 기구는 드라이브 축 핀의 휠 축 슬롯 내부로의 초기 진입과 말기 이탈 시 원형과 직선형 궤적사이의 천이 과정에서 휠의 각가속도가 최대 값의 약 20% 정도 불연속되는 단점이 있다<sup>[4]</sup>. 이러한 단점을 개선하기 위하여 휠의 슬롯 형상을 직선 대신 매끄러운 spline 곡선 형태로 변화시켜 그림 4에서와 같이 초기 진입시의 각가속도를 영으로 개선할 수 있었으나, 이탈 시에는 오히려 2배 증가하는 현상이 발생하였다.

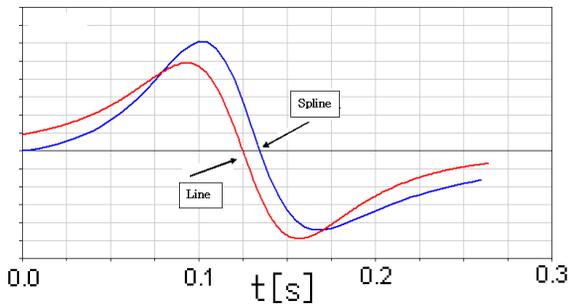
이에 실용적인 간헐 기구로서 개발되어 산업용으로 다용되고 있는 인덱스 류<sup>[5]</sup>를 고려하게 되었다. 그 중



[그림 3] 약실 기구의 타이밍 선도



(a) 슬롯 형상

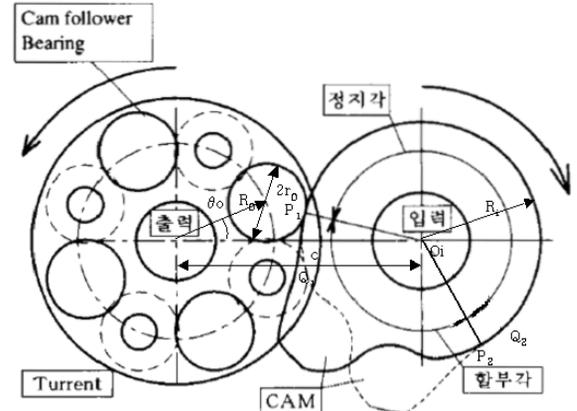


(b) 각가속도 패턴

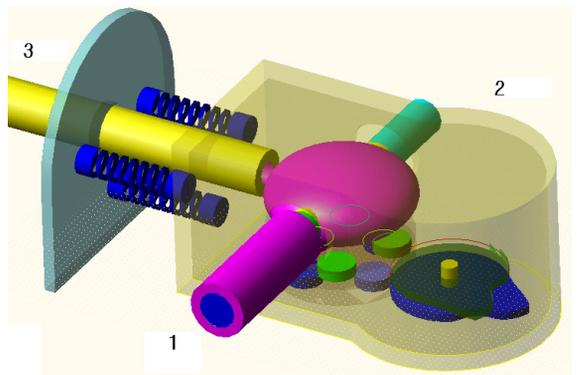
[그림 4] Geneva 휠의 슬롯 형상에 따른 각가속도 변화

본 응용에서는 상기한 바와 같이 정지 대 회전의 시간 비가 2:1로서 소위 할부각이  $120^\circ$ 이며,  $90^\circ$ 씩 네번 간헐 회전함으로서 등분수가 4인 평행 인덱스를 선택한다. 본 인덱스의 구조는 Geneva 휠과 디스크 캠의 중간 형태로서 그림 5에서와 같다. 즉, 상/하판에 존재하는 이중 캠과 터릿상의 캠 follower가 차례로 맞물리며 회전함으로써, 터릿 부분의 간헐운동을 구현하되 상기 각가속도의 불연속성과 백래시를 방지한다.

본 논문에서는 동역학 해석을 위하여 RecurDyn<sup>[6]</sup>을 이용하였다. 그림 6의 모델은 크게 급탄부(1), 포미부(2), 그리고 포신(3)의 3부분으로 이루어져 있으며 포미부내에 약실기구 및 작동기가 존재한다. 또한 스프링이 고정부와 포미부 사이에 위치하여 주퇴/복좌를 가능케 한다. 해석시 인덱스 드라이브와 캠 follower사이에는 무마찰 접촉 조건을 적용하였다.



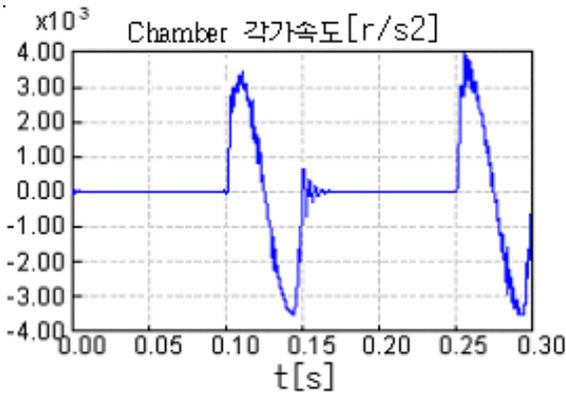
[그림 5] 롤러 기어 인덱스(top-left) 및 평행 인덱스



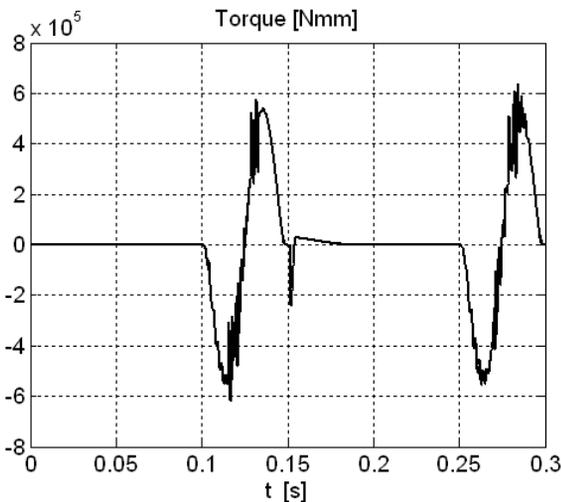
[그림 6] 평행 인덱스를 채용한 CTA gun 모델

인덱스의 축간거리  $c=200\text{mm}$ , 캠 follower 중심까지의 터릿 반경  $R=80\text{mm}$ , 그리고 캠 follower 반경  $r=32\text{mm}$  등 치수와 재료 물성치를 적용하여 동역학 해석을 수행한 결과 약실의 각가속도와 평행 인덱스 드라이브의 소요토크를 각각 그림 7, 8과 같이 구하였다.

그림 7로부터 평행 인덱스 채용의 경우 약실의 각가속도가 그림 4와는 달리 연속적이라는 것을 확인할



[그림 7] 약실의 각가속도 패턴



[그림 8] 평행 인덱스 드라이브의 소요토크

수 있다. 또한 그림 8로부터 구한 RMS 토크와 드라이브의 일정 회전속도(400rpm)를 근거로 계산할 때 최소 약 10kW의 정격 용량을 갖는 작동기가 요구됨을 알 수 있다.

### 3. 모터 제어기의 설계

회전 약실의 구동에는 여러 가지 사항을 검토할 때, 일반 수송기계에서와 같이 전기 모터가 바람직하다. 전기 모터에도 크게 직류기와 교류기가 있으나 자동차에서와 같이 alternator와 배터리를 사용하는

경우 직류모터가 더욱 적합하다고 사료된다. 다만, 일반적으로 직류모터들은 소용량이나 영구자석형 대신 타여자 형<sup>[7]</sup>을 선택한다면, 회전약실 구동에 충분한 용량의 제품을 구할 수 있다. 참고로 타여자 형의 경우는 자기장을 발생시키는 방법만 다를 뿐 영구자석 형과 동일한 방식의 전기자 제어가 가능한 특징이 있다.

본 논문에서는 약실이 부하에 관계없이 일정한 속도로 회전하기 위한 속도제어와 요구된 수의 탄이 발사된 후 원점복귀하기 위한 위치제어를 모두 고려하되, 속도제어 루프는 위치 제어의 내부 루프로 활용하고자 한다.

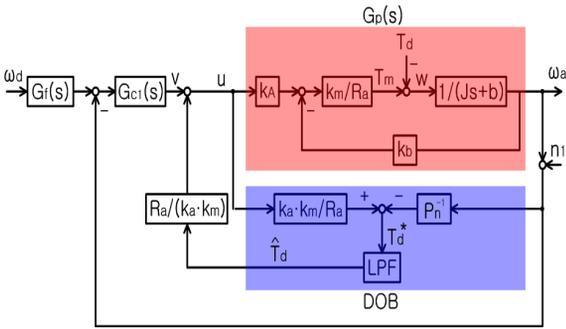
#### 가. 속도제어

부하 변동시 어떤 종류의 모터이든 그 회전속도가 변화하게 된다. 이러한 문제의 해결을 위하여는 실제 속도 신호를 귀환하여 그 크기 오차를 최소화하는 접근 방식이 필수적이다. 본 응용의 핵심 사항은 간헐 동작에 의해 야기되는 외란 토크  $T_d$ 의 영향을 억제하는 방안이며, 부가적으로 플랜트 모델의 섭동에 대비한 강인성 확보이다. 전자의 관점에서 보면 시스템의 대역폭을 최대화 시키는 것이 유리하나, 후자의 관점에서 이는 오히려 치명적 단점이 된다. 이에 본 논문에서는 시스템의 동력 절감 측면을 함께 고려하여 보통 수준의 시스템 대역폭을 갖도록 아래와 같이 설계사양을 설정하였다.

속도 제어 설계 사양 :

- 1) 추종 오차 : 계단 입력에 대한 ITAE<sup>[8]</sup> 최적 응답
- 2) 추종 속도 : 대역폭  $\omega_{BI}=25\text{rad/s}$
- 3) 외란 억제 :  $\left| \frac{\Delta\omega_a(t)}{\omega_d(t)} \right|_{\max} \leq 0.2\%$  for  $T_d(t)$
- 4) 강인성 : 모터 상수의  $\pm 50\%$  이내의 섭동에 대한 상기 성능 보장

위의 사양을 만족시키기 위하여 일반 PID(비례-적분-미분) 제어기와 함께 DOB(외란관측기)를 적용하여 그림 9와 같은 소위 2-자유도 제어계를 설계한다. 즉 외란과는 관계없이, 요구 대역폭을 갖는 주제어기  $G_{cl}(s)$ 를 먼저 독립적으로 설계함으로써 사양 1), 2)



[그림 9] 속도 제어 루프

를 만족시키고, 나머지 두 사양을 위하여 DOB를 추가한다.

잘 알려진 바와 같이 PID 제어기의 경우 전달함수  $G_{c1}(s) = k_p + k_{Ds} + k_I/s$ 이며, 전압 증폭기의 이득을  $k_A$ , 점성마찰 계수를  $b$ , 직류 모터의 전기자 저항, 토크상수, 관성부하, 역기전력상수를 각각  $R_a$ ,  $k_m$ ,  $J$ ,  $k_b$ 라고 할 때  $G_p(s) = k_A k_m / (R_a J s + R_a b + k_m k_b)$ 로 모델링 될 수 있다.

한편 루프 전달함수  $L(s) = G_{c1}(s)G_p(s)$ 를 기준으로 고찰할 때, 제어기내 적분 기능에 의하여 계의 분류상 type I이 되며 이는 속도 기준입력이 계단형인 점을 감안할 때, 정상 상태 오차가 영이 될 것이라는 장점을 제공한다. 반면에 미분 기능은  $L(s)$ 의 분자 차수를 분모와 같이 2차가 되게 함으로써 고주파 영역에서의 시스템 강인성 저하와 측정 잡음효과를 악화시키는 역기능을 하게 된다. 이에 주제어기의 형태는 PI로 결정하는 것이 바람직하다.

다음 단계로서 비례-적분 제어기의 두 가지 이득  $k_{p1}$ 과  $k_I$ 를 구하는 것이 필요하다. 이에 관하여는 주파수 영역에서의 loop-shaping 등 여러 가지 방법이 존재하나 기본적으로 시행착오적 방식이어서 비효율적이며, 설계 결과의 최선성 여부에 대한 논란의 여지를 남기는 등의 단점이 있다. 이에 속응성에 관계없이 과도와 정상 상태 모두에서 오차를 최소화 하는 최적의 응답을 갖도록 ITAE(Integration of Time multiplied by Absolute Error) 기준에 의하여 보다 체계적으로 제어기를 설계하고자 한다.

ITAE 기준 폐루프 전달함수는 다음과 같다<sup>[8]</sup>.

$$T_1(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 1.4\omega_n s + \omega_n^2} \quad (1)$$

여기서  $\omega_n$ 은 고유 주파수로서 응답의 속응성을 좌우한다. 또한 대역폭과는 위와 같이 감쇠율이 0.7인 경우  $\omega_n \cong \omega_{B1}$ 인 관계가 성립한다. 식 (1)과 폐루프 전달함수  $\Omega_a(s)/\Omega_d(s)$  사이의 계수 비교로부터 다음과 같이 제어기 이득과 prefilter  $G_f(s)$ 를 얻을 수 있다.

$$k_{p1} = \frac{(1.4\omega_n R_a J - R_a b - k_m k_b)}{k_A k_m} \quad (2a)$$

$$k_I = \frac{\omega_n^2 R_a J}{k_A k_m} \quad (2b)$$

$$G_f(s) = \frac{k_I}{k_{p1}s + k_I} \quad (2c)$$

상기 prefilter는 출력 응답에 미치는 유한 영점의 영향을 제거하는 역할을 하며 결과적으로 저주파뿐만 아니라 고주파 영역에서도 루프 형상을 향상시키는 효과를 부여한다.

한편, 외란 억제 수단으로 사용될 DOB는 시스템의 강인성에도 기여하는 것으로 알려져 있어 그 적용 가치가 크다. 적용 대상에 있어서도 별다른 제약이 없어서 제어 입력과 플랜트 출력이 가용하다면 사실상 모든 형태의 모터에 적용가능하다<sup>[9-11]</sup>. 그림 9의 경우 DOB는 제어 입력  $U(s)$ , 플랜트 출력  $\Omega_a(s)$ 가 주어지는 상태에서 출력 중 외란만에 의한 성분을 구한 후 외란으로부터 출력까지의 전달함수에 의거하여 다음과 같이 외란을 관측할 수 있다.

$$T_d(s) = -\Omega_a(s)P_n^{-1} + \frac{k_A k_m}{R_a} U(s) \quad (3)$$

여기서  $P_n^{-1} = Js + b + k_m k_b / R_a$ 로서 외란 토크에 대한 각속도 공칭 전달함수의 역수에 해당한다. 한편 DOB내 Q 필터(혹은 LPF)는 충분히 짧은 샘플링 주

기 동안 외란이 일정하다고 가정한 후 외란을 상태 변수의 하나로 취급하여 관측기를 설계할 때, 1차 저주파 통과 필터로 구해진다<sup>[11]</sup>. 그러나 사실상 필터 차수의 제한은 없다.

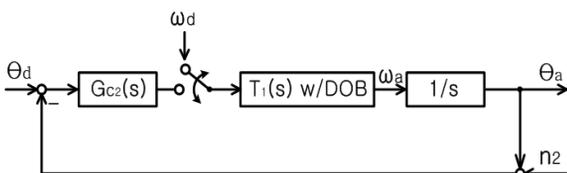
한편, Q 필터의 시상수는 외란 관측 성능 면에서 짧을수록 유리하나, 식 (3)을 구성하는  $P_n^{-1}$  중 미분 성분에 의하여 고 주파수 영역 내 측정 잡음이 증폭 될 것에 대비하려면 일반적으로 어느 정도 제한될 필요가 있다. 그러나 본 논문에서와 같이 시스템의 대역폭이 비교적 작게 설계되는 경우에는 의외로 자유로운 선택이 가능하다. Q 필터의 시상수나 차수에 따른 시스템의 외란 제거 성능이나 강인성에 관한 보다 자세한 사항은 문헌<sup>[9]</sup>을 참고하기 바란다.

DOB에서 관측된 외란 신호를 기준으로 그림 9에서와 같이 조성된 전압 신호를 순먹입하면 완벽한 관측의 경우 신호  $w$ 에 이르러서는 외란 성분이 소멸된다. 이 경우 마치 외란이 없는 것처럼 시스템은 거동할 뿐만 아니라, 섭동에 절대 강인하여져 공칭 플랜트 경우의 응답을 보이게 된다<sup>[11]</sup>.

나. 위치제어

일정수의 탄을 발사한 후 약실은 어떤 초기 위치 즉, 원점에 복귀할 필요가 있다. 이러한 동작을 위하여는 초 저속으로 속도 제어하여 근접 스위치로 감지되는 원점까지 회전시킨 후 정지시키거나, 혹은 각 위치를 절대각 인코더<sup>[12]</sup> 등으로 검출하여 선형 위치 제어를 수행하는 방법 등이 있을 수 있다. 본 논문에서는 후자의 경우를 고려하여, 그림 10과 같이 전술한 속도 제어 루프를 내부에 포함한 위치 제어 시스템을 구성한다.

위치 제어의 설계 사양으로는 외란 억제와 강인성이 내부 루프에 의하여 충분히 이루어진다는 가정 하에 아래와 같은 2가지 내용만을 취급한다.



[그림 10] 위치 제어 루프

위치 제어 설계 사양 :

- 1) 추종오차 : 계단응답에 대한 ITAE 최적 응답
- 2) 추종 속도 : 대역폭  $\omega_{B2}=2\text{rad/s}$

내부 루프의 대역폭은 위치 제어 루프의 대역폭보다 1/10 이하에 불과하므로, 위치 제어기 설계 시 내부 루프의 입출력간 전달함수  $\Omega_a(s)/\Omega_d(s)=1$ , 외란 대 출력 사이의 전달함수  $\Omega_a(s)/T_d(s)=0$ 으로 가정할 수 있다. 따라서 루프 전달함수는 간단히  $L_2(s) = G_{c2}(s)/s$ 이 되며, 외란이 존재하지 않는 type I계가 되어 계단 형태의 기준입력이 주어지는 응용에서는 제어기내의 적분 기능이 필요 없음을 알 수 있다. 또한 내부 속도제어 루프가 이미 어느 정도 미분기능을 담당하므로 제어기 구조를  $G_{c2}(s) = k_{p2}$ 로 설계하면 소위 P-D(미분 선형 비례미분) 제어기<sup>[13]</sup>가 된다.

상기 제어기의 비례 이득을 구하기 위하여 식 (4)의 ITAE 페루프 전달함수와 계수 비교를 하면  $k_{p2} = w_n = \omega_{B2}$ 을 얻을 수 있다.

$$T_2(s) = \frac{\omega_n}{s + \omega_n} \tag{4}$$

이 때 시스템 섭동에 대한 민감도 함수 S는 대역폭 주파수까지는 거의 영이 되며 이는 정상상태를 포함한 저주파 영역에서의 강인성을 예측 가능하게 한다.

4. 모터 제어기의 수치 시뮬레이션

앞 절에서 제안된 제어기를 표 1과 같은 제원의 11 kW급 직류 모터에 적용하여 그 성능을 수치 시뮬레이션하여 보았다. 먼저 그림 8내 미세한 고주파수 성분을 제외시킨 경우 외란 신호의 주파수 스펙트럼은 그림 11과 같으며 모든 주요 성분들이 기본 주파수 42rad/s의 정수배 위치 즉, 시스템 대역폭  $\omega_{B1}$  이상에 존재함을 알 수 있다.

참고로 외란 토크의 진폭은 모터 정격 토크의 약 10배에 해당되므로, 향후 감속기 설치 가능성을 배제

할 수 없다. 이러한 맥락에서 표 1의 상수값들중 편이상 관성 부하의 경우만 ±50%의 섭동을 고려하여 성능 강인성을 점검하고자 한다.

한편, 그림 8의 외란은 사실상 모터가 400rpm으로 일정하게 회전하는 이상적 경우의 신호로서 진폭과 주기가 일정하여 단지 시간만의 함수이나, 일반적으로는 모터의 실제 회전각( $\theta_a$ ), 각속도( $\omega_a$ ), 각가속도( $\alpha_a$ ) 등의 함수가 된다. 즉, 한 주기당 인덱스 기구의 변위 선도인 modified sine 곡선<sup>[14]</sup> 식 (5.1)을 기준으로 연산하면 식 (5.2), (5.3)과 같이 외란 신호를 구할 수 있는 바, 이를 시뮬레이션 시에 적용한다.

$$\theta_c(\theta_a) = \theta_0 + \left[ \frac{3}{4}(\theta_a - \frac{4\pi}{3}) - \frac{1}{4}\sin 3(\theta_a - \frac{4\pi}{3}) \right] \mu(\theta_a - \frac{4\pi}{3}) \quad (5.1)$$

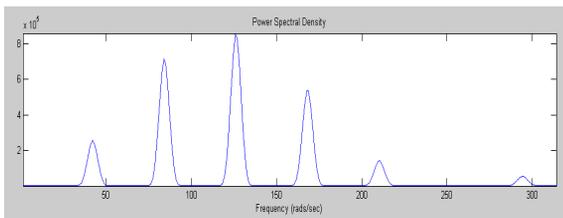
$$\alpha_c(\theta_a, \omega_a, \alpha_a) = \omega_a^2 \frac{\partial^2 \theta_c}{\partial \theta_a^2} + \alpha_a \frac{\partial \theta_c}{\partial \theta_a} \quad (5.2)$$

$$T_d(\theta_a, \omega_a, \alpha_a) = -J_c \alpha_c \quad (5.3)$$

여기서  $\theta_c$ ,  $\alpha_c$ ,  $J_c$ 는 각각 약실의 회전각, 각가속도 및 관성부하를,  $\theta_0$ 와  $\mu(\cdot)$ 는 각각 약실의 초기 각과 단위 계단함수를 나타낸다.

[표 1] 모터 관련 상수

$k_m$ [Nm/A]	1.12	$k_b$ [Vs/rad]	1.12
$R_a$ [ $\Omega$ ]	0.169	$k_A$	10
$J$ [kgm <sup>2</sup> ]	0.85	$b$ [Nms/rad]	5e-5

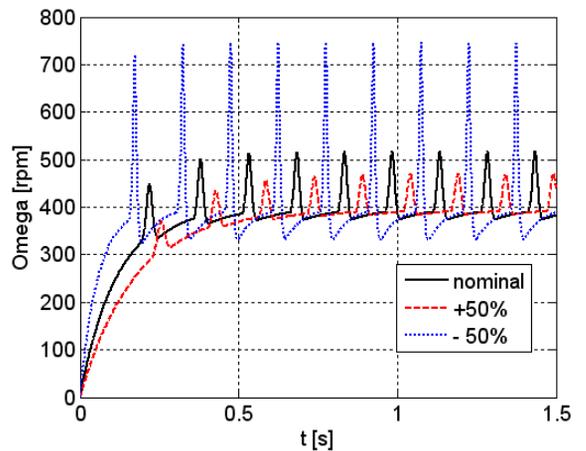


[그림 11] 외란의 주파수 스펙트럼

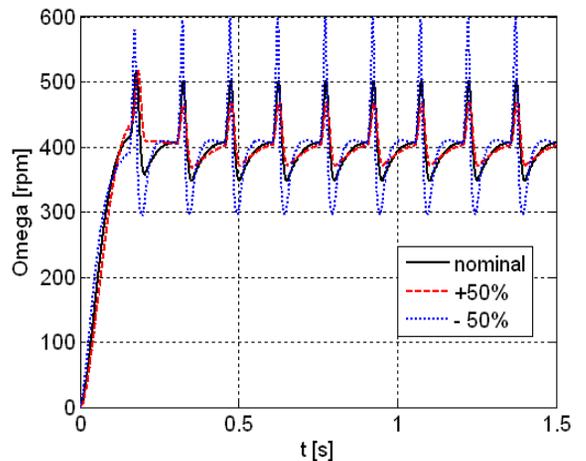
가. 속도제어

본 절 이하 기준 속도  $\Omega_d$ 를 일관되게 400rpm으로 설정하였다.  $\omega_{BI}$ 와 표 1의 상수 값들로부터 식 (2)에 의하여 제어 이득  $k_{PI}$ 과  $k_I$ 를 각각 0.3396, 8.0636로 구할 수 있다. 이러한 ITAE 기준 제어시 정상상태 오차는 영이며, 대역폭이  $k_m k_b / (J R_a) = 8.7$  rad/s인 비제어시 즉 모터 자체 역기전력 만에 의하여 페루프 제어되는 경우보다 3배 가량 빠른 응답을 보인다.

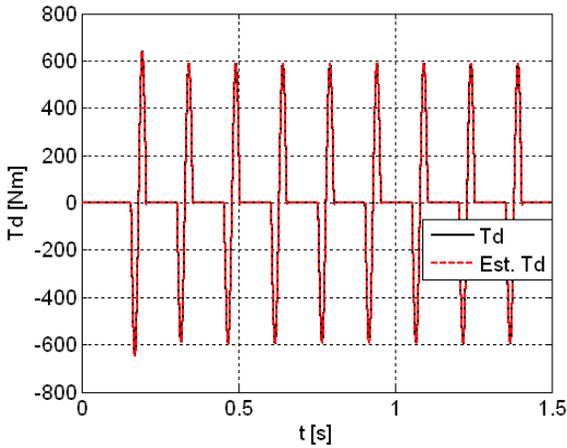
상기 외란 작용시 위 두 경우의 응답은 그림 12, 13에 보인 바와 같다 (초기 1.5초 동안). 이들 결과로부터 공칭 플랜트의 경우 외란에 대한 영향이 크게



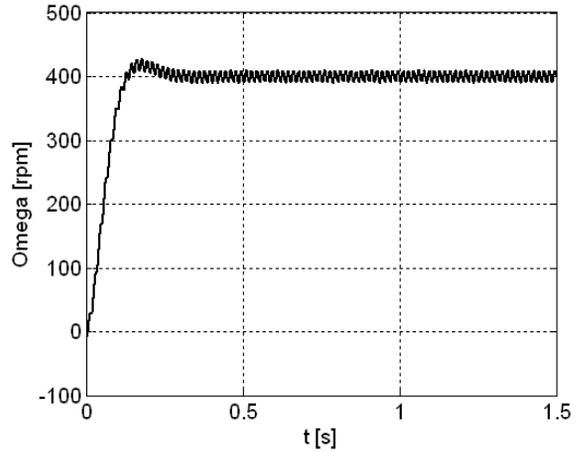
[그림 12] 외란 작용시 비제어 응답



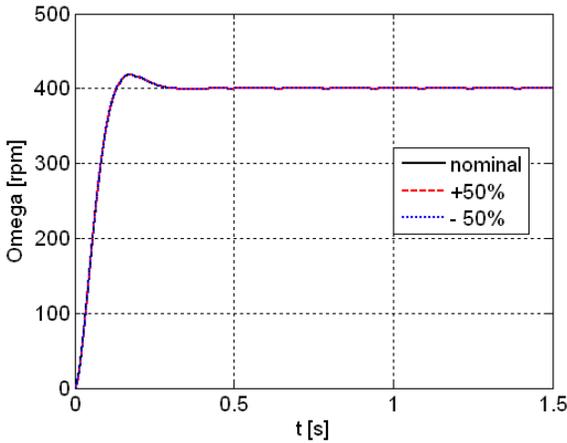
[그림 13] 외란 작용시 ITAE 제어 응답



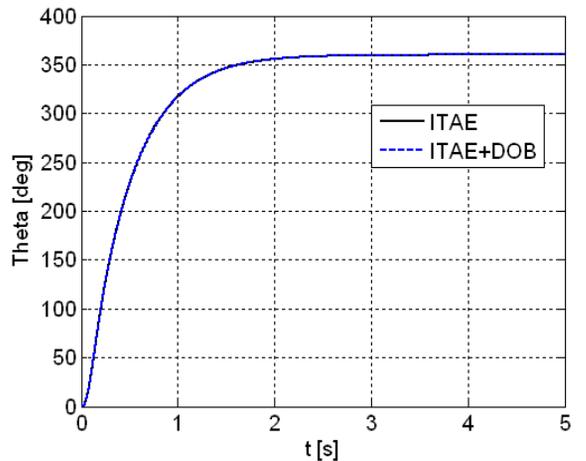
[그림 14] 외란 관측기 성능



[그림 16] 외란과 측정잡음 작용시 ITAE+DOB 제어 응답



[그림 15] 외란 작용시 ITAE+DOB 제어 응답



[그림 17] 외란 작용시 2가지 위치 제어 응답

나타나며, 공히 파라미터  $J$ 의 섭동  $\pm 50\%$ 에 대하여 민감하게 반응하는 것을 관찰할 수 있다.

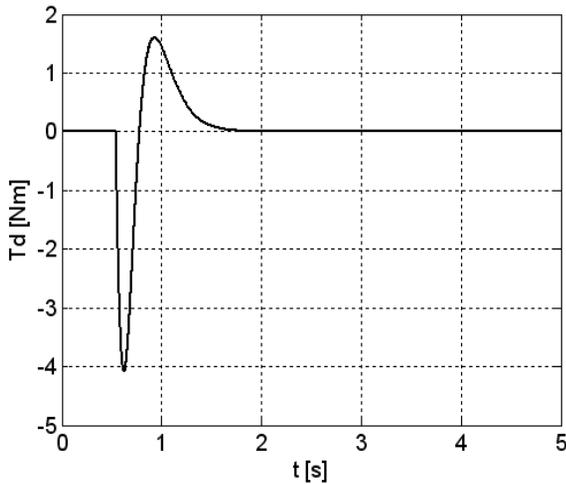
Q 필터의 시상수를 0.1ms로 설정한 경우 DOB의 외란 관측 성능은 그림 14와 같이 거의 완벽하며, 동 DOB를 포함한 ITAE 제어의 경우 외란 작용시 그림 15와 같은 거동을 보인다. 이 때 순먹임 제어에 의하여 외란의 효과가 거의 억제된 결과  $\pm 0.48\text{rpm}$  즉 0.12% 정상상태 오차 범위 내에서 속도가 제어되고 있을 뿐만 아니라 섭동에도 매우 강인함을 알 수 있다. 이는 앞에서 언급된 속도 제어 설계 사양이 모두 만족됨을 의미한다.

또한 측정 잡음의 영향을 파악하기 위하여 주파수

$f=60\text{Hz}$ 인 잡음 즉,  $n_1 = \sin(2\pi ft)$ 를 가정할 때 시뮬레이션 결과 그림 16에서와 같이 그 효과가 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 이는 비교적 작은 필터 시상수에도 불구하고, 시스템 대역폭이 약 4Hz로서 측정 잡음의 주파수에 비하여 충분히 작게 설계되었기 때문이다.

#### 나. 위치제어

본 절 이하 기준 위치를 공히  $\theta_d=360^\circ$ 로 설정하였다. 대역폭  $\omega_{B2}=2\text{rad/s}$ 이며 ITAE 응답 기준으로 설



[그림 18] 위치 제어시 작용 외란

계된 위치 제어기는 DOB 유무에 따라 그림 17에서와 같이 계산되었다. 두 신호 간에는 팔목할 만한 차이가 없으며, 이는 비교적 느린 계의 거동으로 인하여 그 때 작용한 외란의 크기가 그림 18과 같이 미미하기 때문이다.

또한 섭동에 있어서도 DOB가 있는 경우는 물론 없는 경우에도, 공칭 플랜트의 경우와 응답상의 차이가 크지 않았다. 이것 역시 위치 서보계의 거동이 느려, ITAE 페루프 제어 시스템만으로도 충분한 강인성이 확보되는 저주파수 영역에 속하기 때문이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 장갑차의 중구경 화기로서 자동포에 대한 화력 증강과 무장의 크기 제한을 동시에 만족시키는 CTA탄을 소개하였으며, 분당 200발의 고속에서도 안정적인 발사가 가능한 CTA 자동포 용 회전 약실기구 설계 및 동력학 해석을 수행하였다.

이에 근거하여 약실 구동에 필요한 작동기의 용량이 약 10KW임을 파악하였고 정속도 구동에 적합한 모터의 속도 제어 및 원점 복귀를 위한 위치 제어를 제안하였다. 이를 위하여 ITAE 기준 최적 주제어기 설계와 함께 외란 관측기를 도입함으로써, 보통

수준의 동력을 필요로 하는 제어 시스템으로도 매우 우수한 성능을 확보할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 2005년도 국방과학연구소의 기초연구비 지원과 한국과학재단의 목적기초연구(R-01-2003-000-10014-0) 지원사업(3차년도)으로 수행되었으며 이에 관계자들에게 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- [1] Michael Duckworth, "40mm CTWS Supporting UK and France", 40th Annual Gun & Ammunition Missiles & Rockets Conference & Exhibition, 2005.
- [2] Don E. Dillard, "S40mm APFSDS-T & HEAB-T Development", 39th Annual Gun & Ammunition Missiles & Rockets Conference & Exhibition, 2004.
- [3] David Leslie, "40mm Cased Telescoped Weapon System-A Weapon System to Match Army Transformation", 36th Annual Gun & Ammunition Symposium & Exhibition, 9-12 April, 2001.
- [4] 권성규외 5인, 기구학, 피어슨 에듀케이션 코리아, 2000, pp.377~382.
- [5] 양현기공, Handex, 2005.
- [6] RecurDyn Basic Training Guide, FunctionBay, Inc., 2004.
- [7] 김홍철, 이공희, 전기기계, 연학사, 1988.
- [8] Dorf, R. C. and Bishop, R. H, Modern Control Systems, 9th Ed., Prentice Hall, 2001.
- [9] 최영진, 양광진, 정완균, 김홍록, 서일홍, "강인성과 제어 성능을 고려한 외란 관측기의 설계 (I): 2차 시스템에 대한 이론적 해석", 제어·자동화·시스템공학 논문지, 8권, 8호, 2002, pp.655

- ~663.
- [10] Hong, K. and Nam, K., "A Load Torque Compensation Scheme Under the Speed Measurement Delay", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 45, No. 2, 1998, pp.283~290.
- [11] Iwasaki, M. and Matsui, N., "Robust Speed Control of IM with Torque Feedforward Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 40, No. 6, 1993, pp.553~560.
- [12] Auslander, D. M. and Kempf, C. J., Mechatronics -Mechanical System Interfacing-, Prentice Hall, 1996.
- [13] Franklin, G. F. and Powell, J. D, Abbas, E., Feedback Control of Dynamic Systems, 3rd Ed., Addison Wesley, 1994.
- [14] Harold A. Rothbart, Cam Design Handbook, McGraw-Hill, 2004.