

◆특집◆ 응용역학 CAE 엔지니어링

# RecurDyn과 Matlab을 이용한 포탑방위각 구동부의 동특성 해석

김상익\*, 윤찬식\*, 강호균\*, 강신민\*, 이승준\*

## Dynamic Analysis of the Gun Tower Azimuth System using RecurDyn and Matlab

Kim Sang-Ik\*, Yun Chan-Shik\*, Kang Ho-Gyun\*, Kang Shin-Min\* and Lee Seung-Joon\*

**Key Words** : Gun Tower(포탑), Azimuth(방위각), Angular velocity(회전각속도), Co-simulation(연동해석), RecurDyn(리커다인), Matlab(매트랩)

### 1. 서론

포탑은 탄을 발사시키는 총열을 고각 및 방위각으로 구동하기 위한 구동장치와 이를 지지하는 구조물들로 구성되어 있다. 이러한 구조물들은 사수(Gunner)를 보호하기 위한 무거운 보호 장갑과 포탑 내부 구성 품이 회전중심축에 대하여 포탑의 외곽에 위치하게 되므로 포탑은 큰 질량 관성 모멘트(Mass Moment of Inertia)를 가지게 된다. 총열의 신속한 표적 지향과 추적을 위해서는 질량 관성 모멘트가 큰 포탑의 높은 회전각속도가 요구된다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 일반적으로 모터를 사용하는 서보 시스템에서는 높은 토크를 발생시키는 기어 트레인(Gear Train) 방식을 적용하며 모터와 기어트레인의 최적화가 수행되어야 한다.

본 논문에서는 포탑 방위각 구동 부 기어 비(Gear Ratio)와 모터 파라미터(parameter) 변화에 따른 포탑 회전각속도의 변화를 검토하기 위하여 포탑 방위각 구동 시스템을 동역학 해석 프로그램

RecurDyn과 Matlab을 연계하여 모델링하였으며, RecurDyn의 해석모델이 Matlab 모델에서 플랜트(Plant) 역할을 하도록 구성하였다. 포탑 방위각 구동 모델링에 필요한 질량 관성 모멘트, 모터 파라미터 등은 별도의 실험 장치와 시뮬레이션을 이용하여 그 값을 측정한다. 포탑 방위각 구동 시스템의 성능시험을 구성된 해석 모델을 이용하여 시뮬레이션하고, 실제 제작된 시스템의 시험 결과와 비교 분석한다.

### 2. 포탑 방위각 구동 시스템 구성 및 수학적 모델링

#### 2.1 시스템 구성

포탑 방위각 구동 시스템 모델링은 실제 시스템과 시뮬레이션 모델 간의 차이를 최소화하기 위하여 포탑 방위각 구동 시스템을 수학적으로 모델링하였고, 포탑 방위각 구동 부 파라미터는 측정 및 시뮬레이션을 통하여 구하고, 기 설계된 제어기와 시뮬레이션을 통해 실제 시스템의 변화를 예측하기 위하여 구성하였다.

Fig. 1은 포탑 방위각 구동 시스템을 간략하게 표현한 것이다. Fig. 2는 포탑 방위각 구동 시스템의 기어 트레인에 대한 Schematics를 보여준다.

\* LIG넥스원(주) 구미연구소

Tel. 054-469-8568 Fax 054-469-8648

Email sikim@lignex1.com

방위산업 정밀전자분야 제품의 개발 생산 업체임.

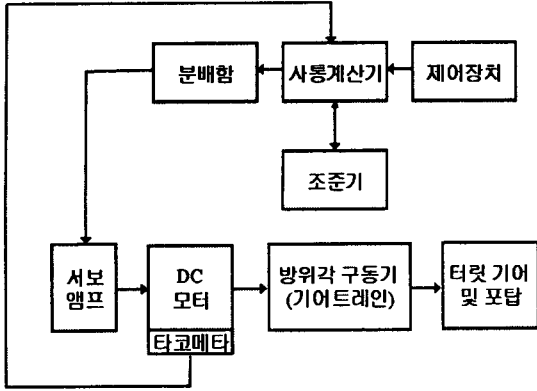


Fig. 1 Block diagram of gun tower azimuth system

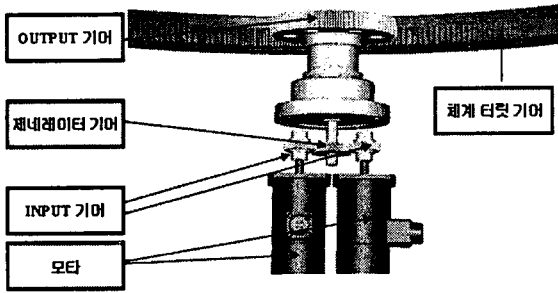


Fig. 2 Gear train Schematics of azimuth system

## 2.2 수학적 모델링

포탑 방위각 구동 시스템은 Fig. 3과 같이 구동 모터와 부하의 관계로 나타낼 수 있다.<sup>1</sup>

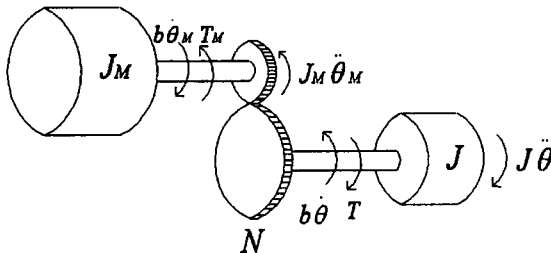


Fig. 3 Model of drive motor and load

포탑 방위각 구동 시스템에 대하여 구동 모터에서의 토크를 나타내면 방정식은 다음과 같은 식이 된다.

$$\sum T = J_M \cdot \ddot{\theta}_M \quad (1)$$

$$\sum T = T_M - b_M \cdot \dot{\theta}_M - \frac{1}{N} \cdot (T - b \cdot \dot{\theta}) \quad (2)$$

위의 식 (1), (2)을 이용하여 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$J_M \cdot \ddot{\theta}_M = T_M - b_M \cdot \dot{\theta}_M - \frac{1}{N} \cdot (T - b \cdot \dot{\theta}) \quad (3)$$

여기서  $J_M$ 는 모터 회전자(Rotor)의 질량 관성 모멘트이고,  $b_M$ 과  $b$ 는 모터 회전자와 포탑의 점성 마찰 계수(Viscous Friction Coefficient)이고,  $N$ 은 포탑 방위각 구동 시스템의 구동 모터부터 터릿기어까지의 기어 비(Gear Ratio)이다.

## 2.3 포탑 방위각 구동 부 파라미터 측정

### 2.3.1 질량 관성 모멘트 측정

포탑의 방위각 구동에 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 질량 관성 모멘트를 구하기 위하여 3D CAD 프로그램인 I-DEAS를 이용하여 포탑을 모델링하여 질량 관성 모멘트를 구해보고 이를 실험치와 비교하여 큰 차이가 없으면 I-DEAS를 이용한 질량 관성 모멘트 값을 사용하기로 하였다. 실험방법은 Fig. 4와 같이 스프링 상수,  $K$ 를 알고 있는 스프링을 포탑의 회전중심에서  $r$ 만큼 떨어진 좌우에 각각 설치하여 요동시킨 후 요동주기를 측정하여 피 측정물의 회전축에 대한 질량 관성 모멘트를 구한다.

실제 측정된 요동 주기( $\tau$ )를 이용한 질량 관성 모멘트 계산은 식 (4)와 같고,  $J$ 는 포탑의 방위각 회전축에 대한 질량 관성 모멘트이다.

$$J = \frac{\tau^2 \cdot (2K \cdot r^2 \cdot \cos \theta)}{4\pi^2} \quad (4)$$

I-DEAS에서 계산된 포탑의 방위각 회전축에 대한 질량 관성 모멘트와 실험에 의한 측정 질량 관성 모멘트는 Table. 1에 나타내었으며 두 값의 차이가 적으므로 I-DEAS를 이용한 질량 관성 모멘트 값을 사용하기로 하였다.

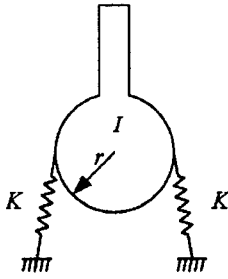


Fig. 4 Mass moment of inertia measuring model

Table 1 Comparison of Mass moment of inertia data

구분	측정 결과 (Kg · m <sup>2</sup> )
I-DEAS 계산값	761.5
측정값	751.3

### 2.3.2 DC 모터 파라미터

포탑 방위각 구동 모터로 사용되는 DC모터의 파라미터 측정을 위한 실험 장치는 Fig. 5와 같이 구성된다. Fig. 5의 실험 장치에서 다이내모미터(Dynamometer)에 구동 모터를 연결하여 성능시험기에서 다이내모미터를 제어하여 토크-전류-회전수에 대한 데이터를 획득한다.

DC모터의 모터의 토크는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.<sup>2</sup>

$$T_M = K_T \cdot i_a \quad (5)$$

식 (5)에서 일정 모터 토크일 때의 소모전류를 구하면 모터의 토크 상수 값을 알 수 있고, 다른 모터 파라미터도 토크-전류-회전수 데이터와 별도 측정으로 구할 수 있다.

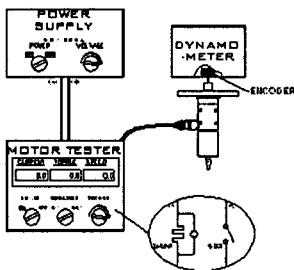


Fig. 5 Measuring system of motor parameter

Fig. 5의 실험 장치에서 구한 모터의 토크-전류-회전수 그래프는 Fig. 6과 같다.

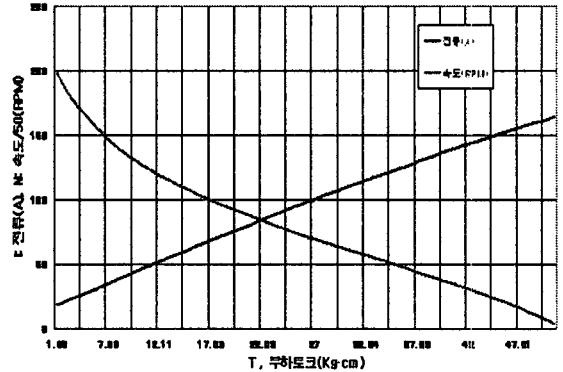


Fig. 6 T-I-N curve of motor

### 3. 포탑 방위각 구동 시스템의 제어기

포탑 방위각 구동 시스템의 제어기는 하나의 P 제어기와 또 다른 하나의 PI제어기로 구성되어 있다. 주 제어기로 동작하는 것은 시스템 안정도를 고려하여 P 제어기만 적용하였고, 정상상태 오차를 제거하기 위해서 제한된 영역에서 PI제어기를 사용하였다. 포탑 방위각 구동 시스템의 제어기는 Fig. 7 과 같은 블록선도로 나타낼 수 있다.

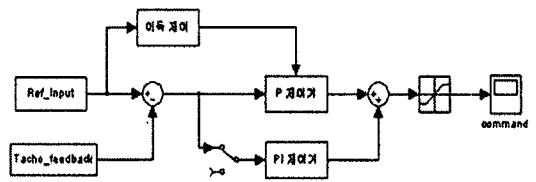


Fig. 7 Block diagram of control system

### 4. 동역학 해석 모델링

RecurDyn을 이용하여 기어 트레인의 각 기어를 모델링하여 Fig. 8와 같은 Multibody 모델을 구성하였다. RecurDyn은 제품 설계 시 운동과 동하중을 계산하는 소프트웨어로, 3차원으로 시각화 할 수 있는 CAD 소프트웨어와 동하중을 계산해주는 해석프로그램이며, 상대좌표계를 사용해 정밀도가 높고 고탄성 기계류의 운동과 동하중 해석 기능을 대

폭 향상한 것이 특징이다.<sup>3</sup>

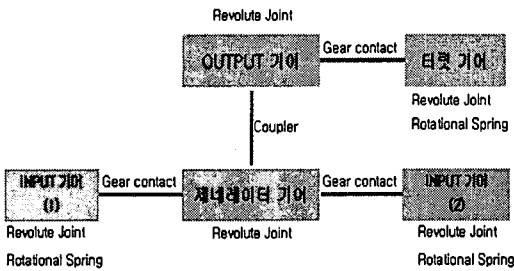


Fig. 8 Multibody System in RecurDyn

Fig. 8에서 보듯 기어트레인의 입력 부는 INPUT 기어(1),(2)이며 DC모터의 동력을 기어트레인으로 전달시킨다. INPUT기어와 체네레이터 기어, OUTPUT기어와 터릿기어는 RecurDyn에서 제공하는 기어 Assemble 및 2D Gear Contact을 적용하여 구성하였고, 체네레이터 기어와 OUTPUT기어 사이에서 커플링 요소를 사용하여 구현하였다. 터릿기어에는 포탑 방위각 구동부의 전체 질량 관성 모멘트를 입력하여 포탑 방위각 구동부의 RecurDyn 모델을 간소화하였다.

포탑 방위각 구동부에 대한 RecurDyn 모델은 Fig. 9와 같다.

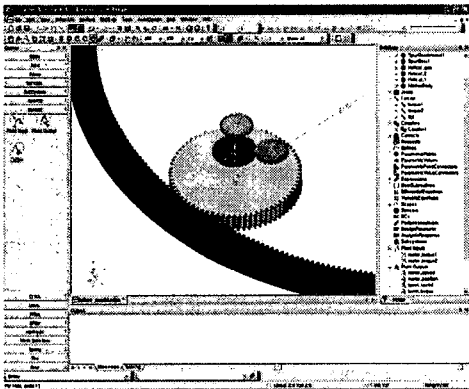


Fig. 9 Similar Model in RecurDyn

## 5. 시뮬레이션 & 시험 결과

### 5.1 RecurDyn 모델과 Matlab 모델의 연동

RecurDyn 모델과 Matlab 모델의 연결은 기본적인

으로 해석프로그램에서 제공되는 기능으로 연결되는 요소의 지정이 중요한 부분을 차지한다. 일반적인 상호 연동 방식은 Fig. 10과 같다.

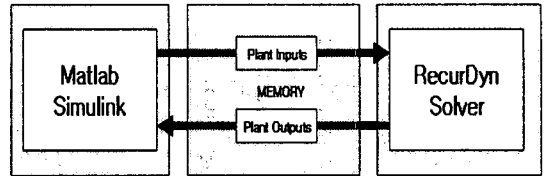


Fig. 10 General Model of Co-simulation

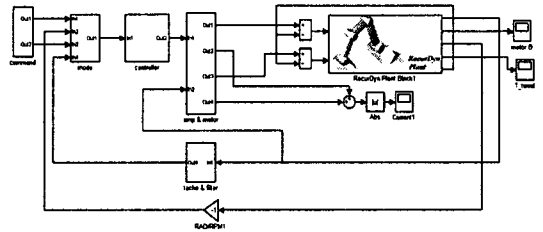


Fig. 11 Co-simulation model using RecurDyn and Matlab

Matlab 모델에서 RecurDyn 모델로 입력되는 Plant Input 값은 모터의 토크이며, 반대로 RecurDyn에서 Matlab으로 입력되는 Plant Output 값은 모터의 회전각속도이다.

제어기가 포함된 Matlab/Simulink 모델링 부분을 세부적으로 살펴보면 Fig. 11과 같으며 기어트레인 부분에 RecurDyn Plant가 입력되어 있음을 보여준다.

### 5.2 RecurDyn과 Matlab의 연동모델 검증

RecurDyn과 Matlab의 연동모델에서 포탑 회전각속도 명령을 1 rad/sec Step Input을 가했을 경우 포탑의 회전각속도를 비교하기로 하였으며 이때 결과는 Fig. 12와 같다.

Fig. 12에서 보듯 RecurDyn과 Matlab 연동모델과 실제 시스템의 포탑 1 rad/sec Step Input 명령 시 포탑의 회전각속도 그래프 유형이 유사함을 알 수 있으며, RecurDyn과 Matlab 연동모델과 실제 시스템의 차이는 고속에서의 모터 특성 및 기어의 Contact 특성 차이로 인한 것으로 판단된다.

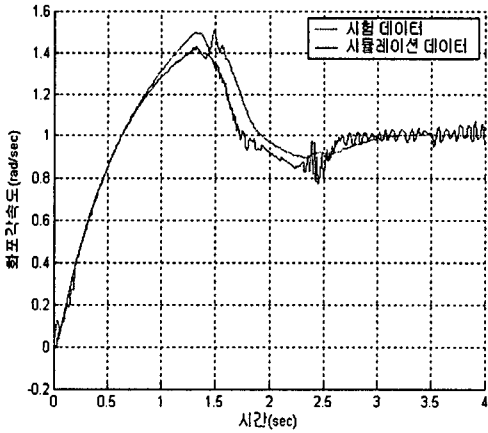


Fig. 12 Comparison of experimental data and simulation data

### 5.3 포탑 방위각 구동부의 기어 비 변경 및 모터 파라미터 변경

포탑 방위각 구동부의 회전각속도의 증가를 위하여 포탑 방위각 구동부의 전체 기어 비와 모터의 파라미터를 변경해 보기로 하였다. 먼저 포탑 방위각 구동부의 기어 비 변경내용은 Table. 2와 같이 변경하였다.

포탑 방위각 구동 시스템의 기어 비를 증가하는 것은 모터가 구동시키는 포탑의 부하를 줄여주는 효과가 예상된다. 하지만 기어 비를 증가함으로써 포탑의 일정 회전속도까지 이르기 위해 증가된 기어비 만큼의 모터의 회전각속도 증가가 요구된다. 기어비 증가에 따라 회전각속도의 감소가 예상되어 이를 보완해 주기 위해 모터의 토크 상수,  $K_T$  를 약 12% 증가시켰으며, 모터의 토크상수를 증가시킬 경우 회전각속도 증가가 예상된다.

Table 2 Changing of gear ratio

구분	총 기어 비
변경 전 포탑 방위각 구동부	370.370
변경 후 포탑 방위각 구동부	470.085

### 5.4 기어비 및 모터 파라미터 변경에 대한 RecurDyn과 Matlab의 연동 모델과 실제 시스템 비교

기어비 및 모터 파라미터 변경에 대한 RecurDyn과 Matlab의 연동모델과 실제 시스템에서 포탑 회전각속도 명령을 1 rad/sec Step Input을 가했을 경우 포탑이 최초 1 rad/sec에 도달할 때까지의 시간을 구하여 이때까지의 평균 회전각속도를 비교해 보기로 하였다. 포탑 회전각속도 명령을 1 rad/sec Step Input을 가할 경우 포탑 회전각속도의 시뮬레이션 결과는 Fig. 13과 같으며 실제 시험 데이터는 Fig. 14와 같다. Fig. 13과 Fig. 14에서 보듯 RecurDyn과 Matlab 시뮬레이션과 실제 시험에서 포탑 1 rad/sec Step Input 명령 시 포탑의 회전각속도 변화가 서로 유사함을 알 수 있다. 포탑이 1 rad/sec에 도달할 때까지의 평균 회전각속도는 Table.3과 같고 RecurDyn과 Matlab 연동모델의 시뮬레이션과 실제 시험 데이터 결과에서 제안된 포탑 기어비 및 모터 파라미터 변경이 회전각속도 증가에 유효하다는 것을 알 수 있다.

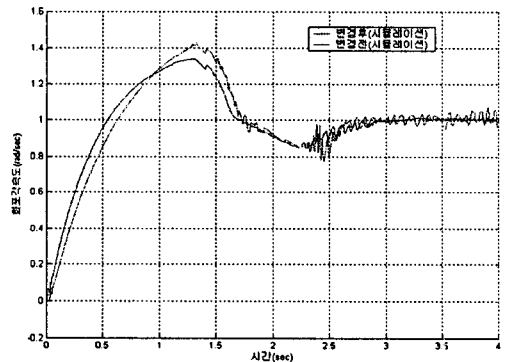


Fig. 13 Simulation data of angular velocity at 1rad/sec Step Input

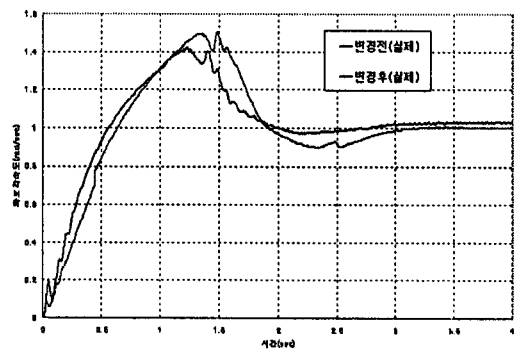


Fig. 14 Experimental data of angular velocity at 1rad/sec Step Input

Table 3 Comparison of mean reaching time and angular acceleration

2005.

구 분	1 rad/sec 도달시간 (sec)		평균 회전각가속도 (rad/sec <sup>2</sup> )	
	변경전	변경후	변경전	변경후
시뮬레이션	0.6313	0.5435	1.5840	1.8399
실제 시험값	0.6328	0.5625	1.5802	1.7777

## 6. 결 론

본 논문에서는 포탑 방위각 구동부를 동역학 해석 프로그램인 RecurDyn과 Matlab을 연동하여 모델링하였으며, Matlab/Simulink 모델에서 포탑 방위각 구동부 RecurDyn 해석모델이 플랜트(Plant) 역할을 하도록 구성하였다. RecurDyn과 Matlab 연동모델을 이용한 시뮬레이션 결과를 실제 시스템과 비교하여 포탑 방위각 구동을 위한 RecurDyn과 Matlab 연동모델의 유사함을 확인하였으며, 기어비와 모터 파라미터 변화에 따른 포탑 방위각 구동부 회전 각속도의 변화에 대하여 제안된 개선 내용이 유효함을 시뮬레이션 결과와 실제 결과를 통하여 확인하였다.

## 후기

본 연구는 "발칸 성능 개량 사업" 과제에 의거 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Bruce A. Chubb, "Modern Analytical Design of Instrument Servomechanisms," Addison Wesley, p.35, 1967.
2. Franklin, G. F., Powell, J. D. and Abbas, E. N., "Feedback Control of Dynamic Systems," Third edition, Addison Wesley Publishing Company, p.167, 1994.
3. Shin, Y. J., Seong, K. J., Kang, H. G. and Yeou, B. Y., "Dynamic Analysis of the Two Axis Gimbal System using RecurDyn and Matlab," The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, p.2,