

사출 차량에서의 외란을 이용한 정밀 지향성 향상 연구

유진호* · 이동주**

A Study on Improvement of Aiming ability using Disturbance Measurement in the Firing Vehicle

Jinho Yoo* · DongJu Lee**

ABSTRACT

The aiming ability is a key to improve accuracy performance of the firing vehicle. This paper describes the detection method of chatter vibration using disturbance acceleration in the pointing structure. In order to analysis vibration trends of the pointing system occurred during vehicle drive, acceleration data was processed by using data processing algorithm with moving average and Hilbert transform. Specific mode constants of acceleration were obtained under various disturbances. Vehicle velocity, road condition, property of pointing structure were considered as factors which make change of vibration trend in vehicle dynamics. Finally, back propagation neural networks have been applied to the pattern recognition for the classification of vibration signal in various driving conditions. Results of signal processing were compared and analysed.

초 록

지향성능은 발사차량의 정확성에 있어서 중요한 요소이다. 본 연구는 외란 가속도를 이용하여 지향구조물의 진동을 감지하는 방안과 실험 결과에 대하여 기술하였다. 주행 중 발생하는 진동 경향을 분석하기 위하여 가속도 자료를 이동평균과 힐버트 변환을 이용하여 신호 처리하였다. 다양한 외란에 대하여 가속도의 모드 계수를 얻었으며, 차량속도, 노면조건, 지향구조물의 특성을 차량 동특성의 진동을 변화시키는 요소로 간주하였다. 마지막으로 다양한 주행 조건의 진동 신호를 분류하기 위한 패턴인식에 역전파 신경망 이론을 이용하였다. 각 조건에 대하여 실험 결과를 비교 분석하였다.

Key Words: Pointing mechanism(지향 장치), Hilbert Transform(힐버트 변환), Vibration reduction(진동 감소), Firing Vehicle(발사체)

1. 서 론

† 2007년 3월 28일 접수 ~ 2007년 4월 20일 심사완료

* 정희원, 국방과학연구소 1체계개발본부

** 정희원, 충남대학교 기계공학과

연락처, E-mail: vineyoo@add.re.kr

차량에 장착된 정밀 표적지향 시스템에 있어서, 시스템 성능 향상의 추세에 따른 기동성 향

상과 지향 구조물 길이의 증가는 외란 및 주행 진동의 증가를 발생시켜 정밀지향을 어렵게 하고 있다. 이에 따라 정밀지향을 위하여 진동을 보상하기 위한 방안을 모색하려는 노력이 최근 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

지향구조물의 정밀지향을 위한 진동보상 및 회피기술 관련 연구동향을 살펴보면 적극적인 보상을 위한 기구적인 보상방안과 구조물 제어에 의한 연구가 있으며, 진동회피를 위한 방안으로 진동 감소시간 선정에 의한 거동예측 연구와 신호처리 알고리즘에 의한 진동감지 연구로 나눌 수 있다.

Eric Kathe는 주행 시의 구조물 진동을 감소시키기 위하여 구조물 끝단에 진동 흡수장치를 적용하여 구조물 휨량과 지향오차를 감소시킬 수 있음을 보였고[1], J.S. Bird는 지향구조물의 진동량을 측정하여 분류하였다[2]. 대부분의 연구는 모드시험의 진동분석을 통하여 거동특성을 연구하였으며, 정밀 측정 장치를 적용하여 순간을 제어하는데 관점을 두고 연구를 수행하였다. 그러나, 사출순간의 높은 충격량(10000G) 때문에 정밀측정장비를 적용하기가 어렵고, 정밀 측정장치 장비자체의 질량으로 처짐이 발생하여 정밀도에 영향을 줄 수 있으며, 시간적 사출 분포가 일정치 않기 때문에 구현에 많은 어려움이 있다. 또한 이러한 장치의 영구적인 장착은 현장에서 지속적인 보정 문제를 야기 시킨다. 이것과는 다른 방안으로 산업분야에서 절삭가공시의 공구 진동 감지 및 제어를 위하여, 신호처리 알고리즘을 이용한 연구가 수행되었으며[3], 이러한 방법은 거동 특성을 경향으로 판단하여 적용하는 방법으로 정밀제어가 요구되지 않는다.

본 연구의 대상인 기동장비용 지향구조물은 주행 중에도 표적을 지향하기 위하여 안정화 기능이 적용되어 있으며, 이 성능은 시스템의 정확도 성능에 직접적인 영향을 미치므로 매우 중요하다. 그러나 이러한 기능에도 주행 중의 사출시스템 자체의 휨량은 보상되지 않는다. 이러한 오차는 사출시스템의 세장비(L/D)가 커질수록 정확도 성능의 영향이 커지게 된다. 따라서, 주행

중 해당 상태에서의 사출시스템의 휨량을 사출 제어에 적용함으로써 기존의 정확도를 크게 향상시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 다른 물리적 특성을 갖는 여러 기동장비에서 속도 및 노면외란 등의 운용조건 변화에도 직접적인 휨량의 측정 없이 외란 신호를 처리하여 지향구조물의 진동상태가 감소되는 시점을 규정하는 방법을 제안하고자 한다. 이를 위한 방안으로 구조적으로 간단한 적용을 위하여, 외란신호를 이용한 구조물 끝단에서의 처짐량과의 관계를 분석하고, 외란에 대한 포락신호를 이용한 신호처리알고리즘을 적용하여 구조물 끝단에서의 상태를 판단하도록 하는 지향 상태 선정 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 지향구조물의 진동

본 연구의 목적을 고려하여, 실제의 지향구조물을 한쪽 끝단은 고정 되어있고 다른 끝단은 자유단으로 설정되어있는 균일 공축 실린더로 가정하여 분석하는 것으로도 충분하다[4]. 이 경우에는 여러 분석학적 계산식을 이용하여 모드 형상과 진동수를 계산할 수 있다[5]. Fig. 1은 기동 지향구조물의 간단한 모델이다.

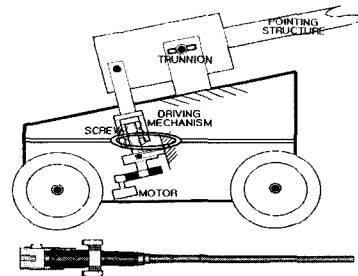


Fig. 1 Pointing Structure on Vehicle

길이 L , 외경 d_o , 내경 d_i , 밀도 ρ , 탄성계수 E 인 균일 공축 실린더에 대한 4개의 모드 진동수는

$$\omega_i = kA_i \quad (1)$$

$$k = \sqrt{\frac{EI}{\rho A l^4}}$$

여기에서 E(탄성계수), I(관성모멘트), A(단면적), ρ (밀도)를 대입하면 각 modal frequency는

$$\omega_1 = kA_1 = 13.2 \text{ Hz}$$

$$\omega_2 = kA_2 = 43 \text{ Hz}$$

$$\omega_3 = kA_3 = 89.5 \text{ Hz}$$

$$\omega_4 = kA_4 = 153 \text{ Hz} \text{ 로서,}$$

단축의 경우($\omega_1=22.8 \text{ Hz}$, $\omega_2=74 \text{ Hz}$, $\omega_3=155 \text{ Hz}$, $\omega_4=263 \text{ Hz}$)와 비교하면 상대적으로 진동의 주된 성분인 첫 번째 모드의 진동수가 지형으로부터 입력되는 외란 진동수에 가까워지는 효과를 나타내므로, 장축의 경우에 공진할 가능성이 커지게 된다.

위의 진동수에 해당되는 모드 형상($V_i(x)$)은 끝단에서의 경계조건에 의하여 결정되는 삼각함수와 하이퍼볼릭 함수의 조합으로 나타내진다.

$$V_i(x) = \sin\left(\frac{B_i x}{l}\right) + r_i \sinh\left(\frac{B_i x}{l}\right) \quad 0 \leq x \leq l \quad (2)$$

$$r_i = \frac{\sin(B_i)}{\sinh(B_i)}$$

모드 형상은 Fig. 2과 같다.

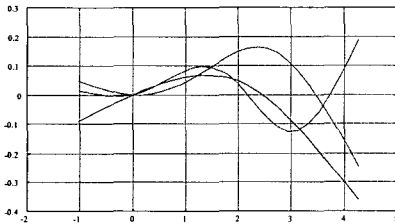


Fig. 2 Result of Modal Analysis

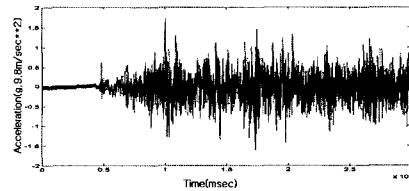
분석적인 방법으로 거동을 예측할 경우, 경계조건이 복잡하여 단순화 할 경우 해가 부정확해질 수 있으며, 정확한 모션 예측이 어렵고, 결정적으로 사출이 발생하는 순간의 변화폭이 크므로 정확한 시점 선정에도 불구하고 시스템의 적용 효율성이 없어진다[6]. 따라서 차량의 상하 직선가속도를 측정하여 사출시스템 끝단의 횡량

에 대한 진동 상태를 일정 정확도 내에서 추정할 수 있다면, 효과적인 대안이 될 수 있다. 본 논문에서는 외란에 의한 진동을 받는 실린더 구조물에서의 정밀지향을 위하여 구조물 끝단에서의 진동량을 측정하고 경향 분석을 통하여 지향시점에서의 상태를 선정하는 알고리즘을 적용한다.

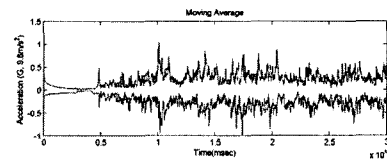
3. 신호처리

Figure 3(a)는 실험 장치로부터 입력되는 가속도 신호를 보여준다. 외란신호의 한 예로 평지로부터 장애물 통과까지의 조건을 모두 보여주고 있다.

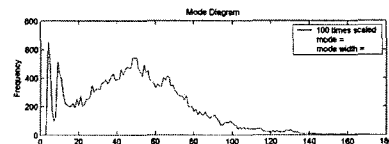
진동상태의 외란의 형태를 규정하는 대표치로 모드선도를 적용하며, 이를 위해서는 Hilbert 변환을 이용하여 포락신호를 구해야 한다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Data Processing Procedure

실험 장치로부터 입력되는 신호는 이산신호이므로 식 (3)의 이산신호 Hilbert 변환에 의하여 계산된다[7].

이산함수 $\tilde{x}[n]$ 는 다음과 같이 콘볼루션 적분을 통해 구할 수 있다.

$$\tilde{x}[n] = \sum_{m=0}^{\infty} h[n-m]x[m] \quad (3)$$

그리고 포락을 의미하는 $A[n]$ 은

$$A[n] = \sqrt{x^2[n] + \tilde{x}^2[n]} \quad (4)$$

와 같이 출력 복소수의 크기함수로 정의할 수 있다. 이때 전달함수 $h(n)$ 은 다음과 같다.

$$h[n] = \begin{cases} \frac{I_0\beta(1-[(n-n_d)/n_d]^2)^{1/2}}{I_0(\beta)} \frac{2}{\pi} \frac{\sin^2[\pi(n-n_d)/2]}{n-n_d} & (0 \leq n \leq M) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (5)$$

여기서 I_0 는 영차베셀함수, M 은 Hilbert 변환차수이며, β , n_d 는 상수이다.

포락신호를 구하기 위하여 이동평균을 이용해야 하며, 적용된 이동평균의 식은 다음과 같다.

$$y[i] = \frac{1}{2M+1} \sum_{k=-M}^M x[i-k]$$

$y[i]$ 는 특정시간의 고각성분 신호 $x[i]$ 의 이동평균값이다. 이동평균을 이용하고 Hilbert 변환을 적용하여 포락신호를 얻을 수 있다. 그러나 고주파 잡음으로 신호의 경향을 분석하기에는 부적합하다. 따라서 이동평균을 한 번 더 구하여 Fig. 3의 (b)와 같이 필터링을 수행하였다. 이러한 절차는 장치에 적용하여 실시간으로 수행하였다.

진동상태를 판단하기 위해서는 기준 값이 필요하며, 이를 위하여 진폭을 구하고, 진폭의 재현빈도수를 분포도로 나타내었다. Fig. 3(c)의 모드선도에서 가장 빈도수가 많은 진동 폭을 모드(mode)라 하고, 진폭의 분산도를 나타내기 위하여 모드폭(mode width)를 산출하여, 두개의 특성치로써 진동상태를 판단하였다. 지향구조물이 기동상태에서 불규칙적 장애물에 의한 외란을 받을 경우, 외란의 진동 폭과 변화 폭이 커지므로 두 포락신호의 거리가 커져 모드와 모드 폭이 증가하게 된다. 모드는 단순한 외란의 크기로 나타내며, 모드 폭은 외란 변화의 규칙성을 나타낸다.

따라서 이 두개의 특성 값은 기동 지향구조물의 진동을 잘 묘사한다고 판단되며, 자체 운용에 의한 발생 신호와 차별되어 나타나기 때문에 진동상태 선정 기준 값으로 적용하는 것이 적합하다고 판단된다.

채터의 감지를 인공신경망을 이용하여 자동 감지하기 위하여 모드 및 모드폭에 대한 문턱값을 주행조건에 따라 평균값을 기준으로 설정되도록 하였다. 이 문턱값은 지향구조물의 기구적 특성, 노면조건, 상대적 위치 각도에 의한 자세변화에 따라 민감하게 변한다. 본 연구에서는 다양하게 적용되고 있는 예러 역전과 알고리즘을 이용하여 인공신경망을 구축하였다[8][9]. 지향구조물이 진동할 때, 인공신경망의 입력을 모드와 모드폭으로 하였으며, 실제 측정량을 측정된 결과의 이산자료의 분포가 0.01 V에서 3.2 V이므로, 인공신경망의 목표값도 과도한 진동일 경우 3.2 정상적인 진동량의 경우 0.01로 설정하여 학습시켰다. 학습에 사용된 신경망의 구조 및 변수들은 Table 1과 같다.

Table 1. Structure of Neural Network

Structure	9-6-5-1 (2 hidden layers)
Learning Rate	0.75
Momentum Rate	0.3
Error Bound	10^{-5}
Number of Sample Patterns	20

4. 실 험

기동장비의 주요 진동 원인인 외란을 규정된 대표적인 조건에서 실험하기 위하여, 지향성능 시험을 위한 규정 노면을 이용하였으며[10], 기동장비로는 세장비가 상대적으로 큰(55cal) 구조물과 작은(44cal) 구조물을 이용하였다. 이때 지향구동장치로부터의 진동영향을 포함하기 위하여 기동상태에서 시험하였다. 시험 중 구동장치의 작동범위 외에서 발생하는 진동을 배제하기

위하여 주행조건은 비교적 안정된 실제 운용범위 내로 국한하였다.

고각성분 외란의 측정을 위하여 가속도계를 이용하였으며, 검증을 위한 진동 처짐량 측정을 위하여 별도 제작한 레이저를 이용한 구조물 끝단의 처짐각 측정장치(MRS)를 이용하였다. 이 신호는 저주파 통과필터를 사용하였고, 1 kHz로 샘플링 하였다. 일반적인 외란의 입력 주파수와 지향구조물의 고유진동수에 의한 대상영역은 30~100 Hz 대역이므로 이 정도의 샘플링 주파수는 감지에 충분하다고 판단된다. Fig. 4는 장치 설치 결과와 대략적인 신호처리의 순서도이다. 각 시나리오는 10회 반복 수행하였다.

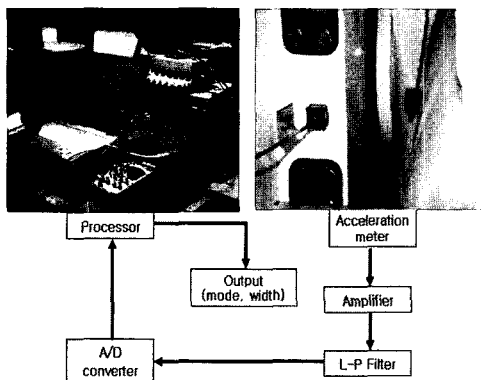


Fig. 4 Experiment Equipment Setting and signal Acquisition Procedure

5. 실험결과 및 고찰

5.1 지향구조물 진동 측정

기동장비 지향구조물의 진동량을 실시간 측정하기 위하여 광학적인 기울기 측정방법을 이용하였다. 지향구조물의 기저부에 장착된 레이저 송신장치에서 발사된 레이저가 구조물 끝에 장착되어 있는 거울에 반사되어 되돌아오면 기저부의 수신 장치 내부 광센서에 도달하는 광점의 위치에 따라 전기신호를 출력하는 원리를 이용하는 것이다. 광센서는 수신광학계의 초점면에 평면 형태로 장착되는 PSD(Position Sensitive Detector)를 사용한다. Table 2는 사용된 진동량

측정 장비의 성능 요약표이다.

Table 2. Performance of Deflection Measurement System

Item	Performance
Resolution	0.01 mil
Accuracy	0.05 mil
Range	±5 mil
Bandwidth	1 kHz over

*1 mil = (360/6400) °(Degree)

본 시험에 적용하기 위하여, 지향 조준정밀도 (0.15mil 이하)보다 정밀하고, 측정범위는 장비의 기동조건에서 최대 진동량 이상이 되어야 하며, 신호의 대역폭은 관심 있는 지향구조물의 대역폭을 고려할 때 100Hz 이상이면 충분하다. 따라서 측정 장치는 0.05mil 이하의 정확도와 1KHz 이상의 대역폭을 갖고 상하/좌우 5mil(주행시험 결과 기준) 범위까지 측정할 수 있도록 하였다.

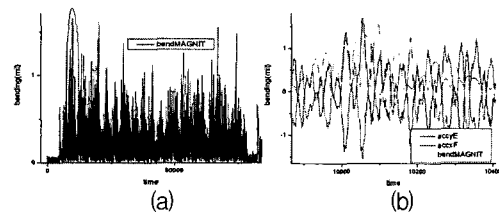


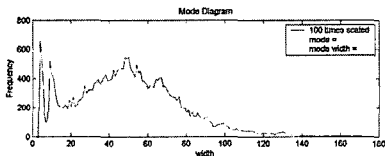
Fig. 5 Deflection Angle Measurement Result

Fig. 5(a)는 측정된 결과이며, (b)는 장애물 통과 순간에 가속도 값과 진동값의 동시성 및 크기를 비교한 결과이다. 약 20 msec의 지연효과가 관찰되었으며, 구조물의 세장비에 따라 차이가 발생한다. 또한, 시험 주행노면으로부터 발생하는 지향구조물의 진동량을 측정하여 전체 주행시간에 대하여 과도진동이 발생하는 정도를 측정할 결과, 속도가 증가함에 따라 진동제한폭 이상 발생하는 부분이 총시간의 5.8%까지 점유시간이 증가하였다.

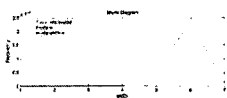
5.2 신호처리 결과 및 고찰

진동감지 데이터의 수는 500개로 한정하였으며, 이는 500 msec의 시간이 소요됨을 나타내며, 가속도와 굽힘 사이의 시간지연을 고려하면, 480 msec 정도이다. 지향구조물의 운용상 이 정도의 지연은 큰 의미가 없다고 판단되며, 실시간 감지가 가능하다고 할 수 있다.

Figure 6는 지향구조물의 길이변화에 대한 여러 가지 노면조건에서의 모드와 모드폭을 일정속도(16 km/h)에서 측정된 결과이다.



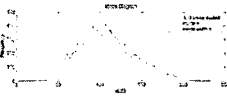
(a) 55 cal, transient condition



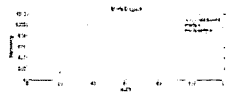
(b) 55 cal, plain road



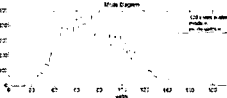
(c) 44 cal, plain road



(d) 55 cal, road type I



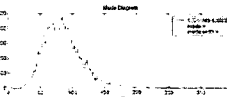
(e) 44 cal, road type I



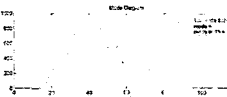
(f) 55 cal, road type II



(g) 44 cal, road type II



(h) 55 cal, road type III



(i) 44 cal, road type III

Fig. 6 Mode Diagram on the Various Driving Condition

Figure 6(a)로부터 평지주행에서 장애물 통과로 이어지는 부분에서는 서로 다른 진동 패턴이 관찰되며, 낮은 진폭의 높은 빈도수 신호는 시간에 따라 감소한다. 따라서 본 결과로부터 지형의 변

화에 따른 감지도 가능하게 한다.

Table 3는 위의 결과에서 특성의 대표치인 모드와 모드폭을 표로 나타내었다. 노면은 I형으로 속도를 달리하였으며, 동일속도에서 다른 노면 형태에 대한 결과를 정리하였다.

Table 3. Mode and Mode Width on Speed Change Condition

	55cal	44cal
16km/h	55/0.77	50/0.36
24km/h	89/ 0.93	74/0.77

같은 구경장에 속도가 빨라지면 모드가 모드폭보다 커지며, 같은 속도에 구경장이 길어지면 모드폭이 모드보다 커진다. 이유는 속도가 빨라지면 변화율 보다 전체적인 진동폭이 커지며, 구경장이 길어지면 진폭의 변화율이 진폭 증가보다 더 빨리 증가하기 때문이다. 따라서 긴 세장비에서는 진동의 맥놀이 현상이 자주 발생한다고 판단할 수 있다.

주행 중 입력되는 외란을 시간에 대하여 실시간 처리한 결과는 다음과 같다. 모드와 모드폭에 대하여 평지의 경우와 장애물 통과 의 경우 변화를 비교한 결과, Fig. 7에서와 같이 장애물 통과 의 경우 모드와 모드폭이 상대적으로 증가하였으며, 변화폭이 크게 나타났다. Table 4는 각 노면에 대한 평균 모드와 모드 폭이다.

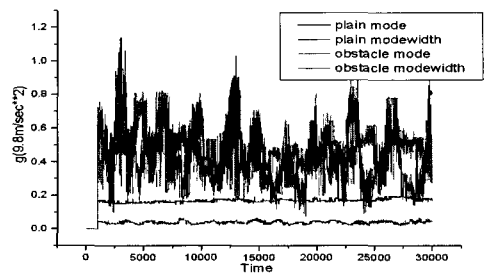


Fig. 7 Comparison of Mode and Modewidth between Plain and Obstacle Road

Table 4. Mode and Mode Width on Speed Change Condition

	55cal	44cal
Road type I	53/0.72	49/0.34
Road type II	107/1.03	86/0.66
Road type III	80/ 0.85	57/0.68

노면에 대한 결과는 조건에 따라 큰 차이를 보였으며, 이는 입력 외란의 충격파형이 상이한 결과로 판단된다.

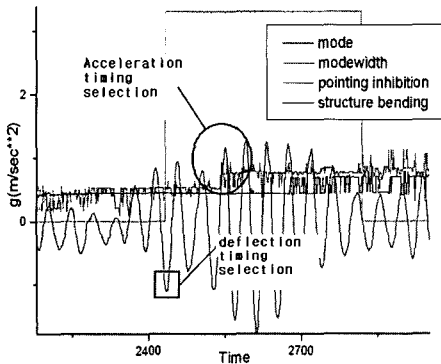


Fig. 8 Comparison of Timing Selection Results

Figure 8은 계측된 지향장치의 휨 량으로 지향 금지순간을 선정한 결과와 본 연구의 결과에 의하여 외란의 모드와 모드폭을 이용하여 지향 금지순간을 선정한 결과의 비교 그림이다. 휨 량 측정 방법의 경우 임계값 이상에서 지향금지를 수행하며, 그림에서는 사각 구간에서 임계값을 초과하였다. 그러나 순간적인 초과이며 다시 감소됨에 불구하고 다음 주요 진동주기 전까지는 과도한 진동에 대한 사출금지를 수행한다. 그러나 본 연구의 결과에 의하여 진동의 변화가 커질 경우 금지순간을 선정하면 원 구간의 경우처럼 좀 더 정확한 지향 순간 선정이 가능하다. 위의 모든 결과자료에서 반복 수행 결과는 모드와 모드폭이 3% 이내로 거의 동일하게 산출되었다.

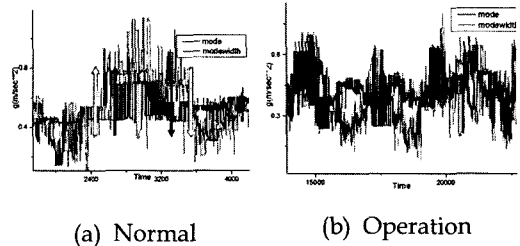


Fig. 9 Change of Mode and Modewidth

Figure 9(a)는 지향 구조물이 안정된 상태에서 충격 외란이 입력되었을 때 나타나는 현상으로 먼저 모드폭이 증가하고 모드가 증가하며 모드가 감소하고 모드폭이 감소하는 순서로 진행된다. 지향구동을 수행하는 경우 자체 구동진동과 동시에 외란이 작용하여 모드폭보다 모드가 먼저 증가하기도 하고 감소하기도 한다. Fig. 9(b)에서와 같이 모드폭만 증가하는 경우 일시적인 외란의 경우가 많았으며, 모드만 증가하는 경우 진동의 지속시간이 상대적으로 긴 결과를 보였다.

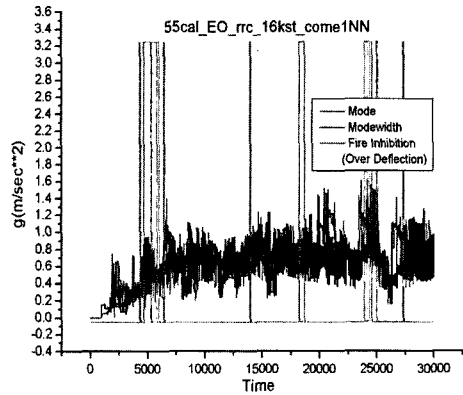


Fig. 10 Mode and Pointing Inhibition Interval during Vehicle Driving

Figure 10는 가속도 자료를 신호 처리한 결과와 지향장치의 진동량을 고려하여 과도한 휨이 발생한 경우의 사출 금지신호를 비교한 그림이다. 가속도 자료를 이용하여 사출 금지신호를 산출한 결과가 실제의 휨을 고려한 금지신호와 같도록 하기 위하여 앞서 언급한 방법을 프로그램

으로 구현하고, 검증을 수행하였다. 연과관계를 구성하는 전달 함수를 에러 역전파 알고리즘을 이용한 인공신경망을 이용하여 구축하였으며, Fig. 11과 같이 인공신경망을 이용한 결과를 실제 적용한 결과와 비교하였다.

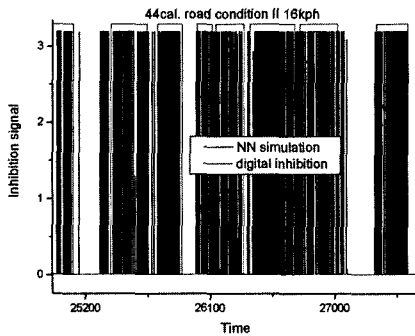


Fig. 11 Result of Inhibition Simulation using Neural Network

뉴런의 활성화 값과 비교되는 임계값은 초기 이동평균 값으로 설정하였으며, 그 결과 각각의 시나리오에서 학습한 결과가 각각의 시나리오에서는 참 값과 유사한 결과가 얻어지나, 다른 조건의 노면시험에서는 다소 유사성이 저하되었다. 이는 임계값의 수준이 매우 다르고 급격히 변하기 때문이라 판단된다. 다양한 노면조건 및 속도, 지향장치의 자세 등 환경의 변화에 대하여 본 방법의 신뢰성을 점검한 결과 약 92%의 감지 신뢰성을 얻을 수 있었으며, 시험조건의 변화에 따라 편차의 증감이 발생하였다. 감지에 실패한 경우는 급격한 변화나 미세한 짧은 시간의 충격의 경우 등이었으며, 처짐의 위상과 외란의 위상이 다를 경우는 실제보다 더 많은 구간을 잘못 감지하는 경우가 발생하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 여러 기동장비에 적용하기 위하여 기동장비를 임의의 동특성을 갖는 시스템

으로 가정하고, 지향성능에 영향을 주는 진동성분의 경향을 감지하는 방법에 대하여 제안하였다. 본 방법은 운용조건의 변화 및 장비 특성에 대해서도 진동경향을 감지하여 감소상태 선정에 이용할 수 있는 방법으로서 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 지향구조물의 진동신호를 감지하기 위하여 고각 성분을 상대적으로 신뢰성 있는 신호로 사용하였으며, 이 신호는 주요 외란으로 지향구조물의 진동을 야기하는 주된 성분이다.

(2) 진동경향의 실시간 감지를 위하여 포락신호를 계산하여 최종적인 모드선도를 적용하였다.

(3) 모드선도로부터 다양한 노면으로부터의 외란, 운용상태 변화에 따른 가속도변화의 모드값을 사용하여 지향성능향상에 적용하였으며, 인공신경망 학습기능을 이용하여 과도진동의 감지를 수행한 결과 좋은 감지성능을 얻었다.

(4) 검증을 위하여 실시간 진동량을 측정하였으며, 본 제안의 진동상태 선정결과와 비교하여, 기동시간내의 지향 정밀도가 보장되는 구간내의 점유시간 비율은 그대로 유지하였다.

(5) 진동 경향분석에 따른 상태선정에 소요되는 시간은 약 480 msec 정도였으며, 이는 운용상 충분한 시간이며, 필요에 따라 분석 정확도와 절충하여 적용할 수 있다.

참 고 문 헌

1. Bundy M., J. Newill, V. Marcopoli, Michael Ng, C. Wells, "A methodology for characterizing barrel flexure due to Tank Motion", ARL Report, 2000, pp.421-426
2. Bird, J. S. "Measurement of Tank gun dynamics in support of a dynamic muzzle referencing system", AD Report, Defence Research Establishment Ottawa, 1990, pp. 634-681
3. 윤재웅, "절삭력을 이용한 채터의 감지에 관한 연구", 한국 공작기계학회지, 제9권, 제3호, 2000, pp.150-159

4. Schulz, H. and Hock, S., "Gun Dynamics", Simatics, 1995, pp.35-338
5. Harris, C.M., and C.E. Crede, shock and vibration Handbook, McGraw-Hill, New York, 1961
6. Wilkerson, S. "Possible Effects of Gun Tube Straightness on Dispersion." ARL Report, June 1995
7. Oppenheim A.V. and R.W.Schafer, Discrete-time signal processing, Prentice Hall inc, 1989
8. 공창덕, "신경회로망을 이용한 스마트 무인 기용 가스터빈 엔진의 성능진단에 관한 연구", 한국추진공학회지, 제10권, 제2호, 2006, pp.15-21
9. 박준철, "SVM 과 인공지능망을 이용한 가스터빈 엔진의 결함진단에 관한 연구", 한국추진공학회지, 제10권, 제2호, 2006, pp. 102-109
10. Bornstein, J., I. Celmins, P. Plostins, E. M. Schmidt, "Techniques for the Measurement of Tank Cannon Jump." BRL Report, 1988