

지상무기체계에서의 외란측정을 이용한 정밀 지향성 향상 연구

A Study on Improvement of Aiming Ability using Disturbance Measurement
in the Ground Military Vehicle

유진호* 박병훈*
Yoo, Jin-Ho Park, Byung-Hun

ABSTRACT

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

주요기술용어(주제어) : Pointing Mechanism(지향 장치), Hilbert Transform(힐버트 변환), Vibration Reduction(진동 감소), Firing Vehicle(발사차량)

1. 서 론

지상무기체계에서 지향구조물이 탑재된 기동차량 시스템의 성능 향상을 위하여 주행 속도와 지향구조물 길이가 증가됨에 따라 외란 및 주행진동이 증가되며, 지향구조물의 정밀지향이 어려워지고 있다.

지향구조물의 정밀지향을 위한 진동보상 및 회피를 위하여 적극적인 보상을 위한 방안으로 기구적인 보

상방안과 구조물 제어에 의한 연구가 있으며, 진동회피를 위한 방안으로 진동 감소 순간을 결정하기 위한 거동예측 연구와 신호처리 알고리즘에 의한 진동감지 연구 등이 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 조건에 따라 분류하였다^[2]. 대부분의 연구는 모드시험의 진동분석을 통하여 거동특성을 연구하였으며, 정밀 측정 장치를 적용하여 사출 순간을 제어하는데 관점을 두고 연구를 수행하였다. 그러나, 사출순간에 발

* 2007년 3월 28일 접수~2007년 5월 18일 계재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : vineyoo@add.re.kr

생하는 높은 충격량(10,000G) 때문에 정밀 측정장비의 설치가 어렵고, 정밀 측정장치 자체의 질량으로 처짐이 발생하여 정밀도에 영향을 줄 수 있으며, 시간에 따라 사출 분포가 일정치 않기 때문에 구현에 많은 어려움이 있다. 또한 이러한 장치의 영구적인 장착은 현장에서도 지속적인 보정 문제를 야기 시킨다. 이것과는 다른 방안으로 산업분야에서 절삭가공 시 공구의 진동감지 및 제어를 위하여 신호처리 알고리즘을 이용한 연구가 수행되었으며^[3], 이러한 방법은 거동 특성의 경향을 판단하여 적용하는 방법으로 정밀제어가 요구되지 않는다.

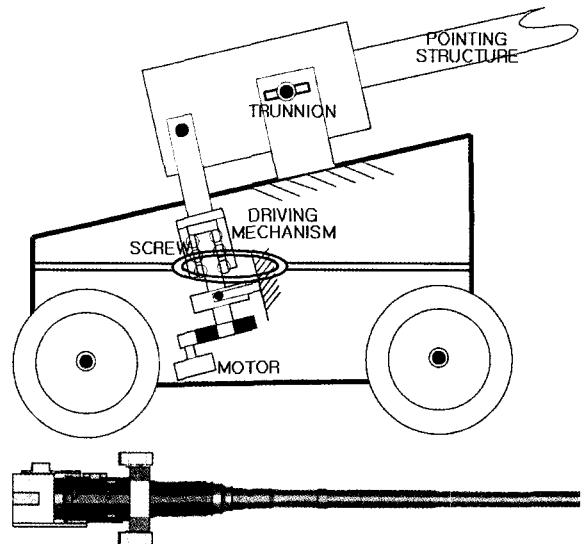
본 연구의 대상인 기동장비용 지향구조물은 안정화 장치가 적용되어 있으나, 주행 중의 지향구조물 자체의 휨량은 보상되지 않는다. 이러한 주행 중 휨량에 의한 오차는 지향구조물의 직경대비 길이(세장비, L/D)가 커질수록 처짐량이 정확도에 미치는 악영향이 증가하게 된다^[4]. 따라서, 주행 중 사출시스템의 휨량을 사출 제어에 적용할 경우 기존의 정확도를 크게 향상시킬 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 다른 물리적 특성을 갖는 여러 기동장비에서 속도 및 노면 외란 등의 운용조건 변화에도 직접적인 휨량의 측정 없이 외란 신호를 처리하여 지향구조물의 진동상태가 감소되는 시점을 결정할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 이를 손쉽게 구현하기 위하여 먼저 외란신호와 구조물 끝단 처짐량과의 관계를 분석하고, 외란 신호의 엔빌롭신호를 이용한 신호처리 알고리즘을 통하여 구조물 끝단의 상태를 판단하도록 하는 지향 상태 선정 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 지향구조물의 진동

본 연구의 목적을 고려할 때, 실제의 지향구조물은 한쪽 끝단은 고정 되어있고 다른 끝단은 자유단으로 고려할 경우 단순한 균일 공축 실린더로 가정할 수 있다^[5]. 이 경우 여러 분석학적 계산식을 이용하여 모드 형상과 진동수를 계산할 수 있다^[6].

그림 1은 본 연구에서 사용한 기동 지향구조물의 간단한 모델이다.



[그림 1] 차량 정밀 지향장치

길이 l , 외경 do , 내경 di , 밀도 ρ , 탄성계수 E 인 균일 공축 실린더에 대한 고유 진동수는

$$\omega_i = \kappa A_i \quad (1)$$

$$\kappa = \sqrt{\frac{EI}{\rho Al^4}}$$

여기서, E (탄성계수), I (관성모멘트), A (단면적 : do, di), ρ (밀도)를 대입하면 각 modal frequency는

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \kappa A_1 = 13.2\text{Hz} \\ \omega_2 &= \kappa A_2 = 43\text{Hz} \\ \omega_3 &= \kappa A_3 = 89.5\text{Hz} \\ \omega_4 &= \kappa A_4 = 153\text{Hz} \end{aligned}$$

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.

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

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

분석적인 방법으로 진동을 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 효용성이 없어진다^[7]. 따라서 차량의 상하 직선가속도를 측정하여 사출시스템 끝단의 힘량에 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 지향 시점에서의 상태를 선정하는 알고리즘을 적용한다.

3. 신호처리

그림 2(a)는 실험 장치로부터 입력되는 가속도신호를 보여준다. 외란신호의 한 예로 평지로부터 장애물 통과까지의 조건을 모두 보여주고 있다.

진동상태의 외란의 형태를 규정하는 대표치로 모드 선도를 적용하며, 이를 위해서는 Hilbert변환을 이용하여 엔빌롭 신호를 구해야 한다.

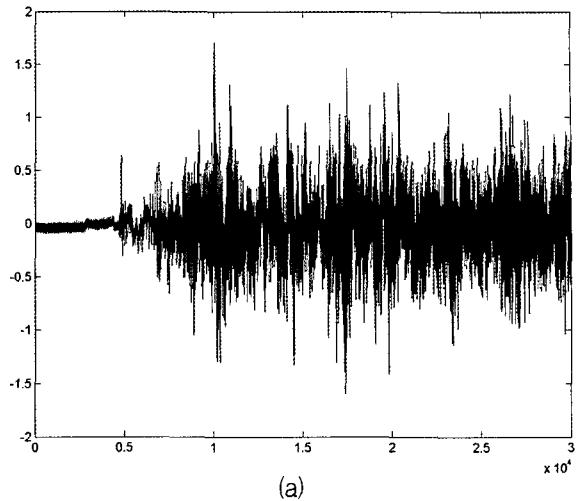
실험 장치로부터 입력되는 신호는 이산신호이므로 식 (3)의 이산신호 Hilbert 변환에 의하여 계산된다^[8]. 이산함수 $\tilde{x}[n]$ 는 다음과 같이 콘볼루션 적분을 통해 구할 수 있다.

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

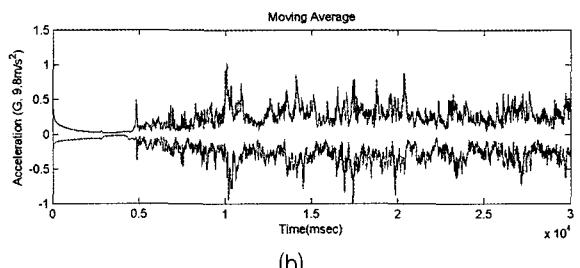
그리고 외부포위(엔빌롭) 신호를 의미하는 $A[n]$ 은

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

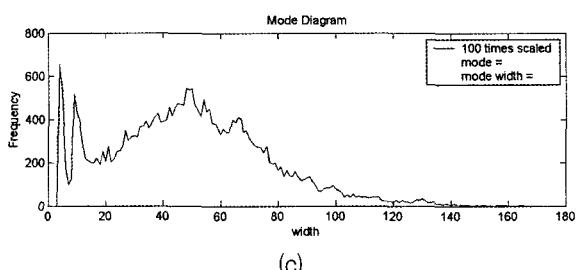
와 같이 출력 복소수의 크기함수로 정의할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

[그림 2] 신호처리 절차

이때 전달함수 $h(n)$ 은 다음과 같다.

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

여기서, I_0 영차 베셀함수, M Hilbert 변환차수, β , n_d 상수

엔비׀롭 신호를 구하기 위해서는 이동평균을 이용해야 하기 때문에, 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 이동평균 값이다. 이동평균을 이용하고 Hilbert 변환을 적용하여 엔비׀롭 신호를 얻을 수 있다. 그러나 고주파 잡음으로 신호의 경향을 분석하기에는 부적합하다. 따라서 이동평균을 한 번 더 구하여 그림 2의 (b)와 같이 필터링을 수행하였다. 이러한 절차는 장치에 적용하여 실시간으로 수행하였다.

진동상태를 판단하기 위해서는 기준 값이 필요하며, 이를 위하여 진폭을 구하고, 진폭의 재현 빈도수를 분포도로 나타내었다. 그림 2(c)의 모드선도에서 가장 빈도수가 많은 진동폭을 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, 외란에 의 진동 폭과 변화폭이 커지므로 두 엔비׀롭 신호의 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 여러 역전파 알고리즘을 이용하여 인공신경망을 구축하였다. 지향구조물이 진동할 때, 인공신경망의 입력을 모드와 모드폭으로 하였으며, 실제 쳐짐량을 측정한 결과의 이산자료의 분포가 0.01V에서 3.2V이므로, 인공

[표 1] 인공신경망 구조

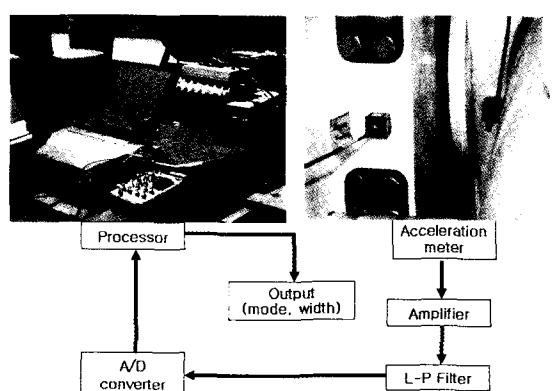
Structure	9-6-5-1 (2 hidden layers)
Learning Rate	0.75
Momentum Rate	0.3
Error Bound	10^{-5}
Number of Sample Patterns	20

신경망의 목표값도 과도한 진동일 경우 3.2 정상적인 진동량의 경우 0.01로 설정하여 학습시켰다. 학습에 사용된 신경망의 구조 및 변수들은 표 1과 같다.

4. 실험

실험 과정에서 규정된 외란을 얻기위하여 지정 노면에서 기동차량을 운행하였다^[9]. 기동장비로는 세장비가 상대적으로 긴(55구경장) 구조물과 짧은(44구경장) 구조물을 이용하였다. 이때 지향구동장치로부터의 진동영향을 포함하기 위하여 가동상태에서 시험하였다. 시험 중 구동장치의 작동범위 외에서 발생하는 진동을 배제하기 위하여 주행조건은 비교적 안정된 실제 운용범위 내로 국한하였다.

고각성분 외란의 측정을 위하여 가속도계를 이용하였으며, 겹증을 위한 진동 쳐짐량 측정을 위하여 별도 제작한 레이저를 이용한 구조물 끝단의 쳐짐각 측



[그림 3] 실험장치와 신호획득절차

정장치(MRS)를 이용하였다. 이 신호는 저주파 통과 필터를 사용하였고, 1kHz로 샘플링 하였다. 일반적인 외란의 입력 진동수와 지향구조물의 고유진동수에 의한 대상영역은 30~100Hz 대역이므로 이정도의 샘플링 주파수는 감지에 충분하다고 판단된다. 그림 3은 장치 설치 결과와 대략적인 신호처리의 순서도이다. 각 시나리오는 10회 반복 수행하였다.

5. 실험결과 및 고찰

가. 지향구조물 진동 측정

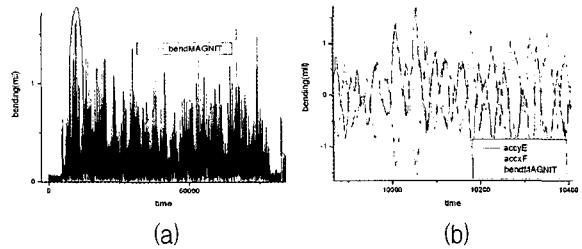
기동장비 지향구조물의 진동량을 실시간 측정하기 위하여 광학적인 기울기 측정방법을 이용하였다. 지향구조물의 기저부에 장착된 레이저 송신장치에서 발사된 레이저가 구조물 끝에 장착되어 있는 거울에 반사되어 되돌아오면 기저부의 수신 장치 내부 광센서에 도달하는 광점의 위치에 따라 전기신호를 출력하는 원리를 이용하는 것이다. 광센서는 수신광학계의 초점면에 평면 형태로 장착되는 PSD(Position Sensitive Detector)를 사용한다. 표 2는 사용된 진동량 측정 장비의 성능 요약표이다.

본 시험에 적용하기 위하여, 지향 조준정밀도(0.15 mil 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 0.05 mil 이하의 정확도와 1kHz 이상의 대역폭을 갖고 상하/좌우 5mil(주행시험결과 기준) 범위까지 측정할 수 있도록 하였다.

[표 2] 쳐짐량 측정장치의 성능

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

*1 [mil] = 360/6400 [°(Degree)]



[그림 4] 쳐짐각 측정결과

그림 4(a)는 측정한 결과이며, (b)는 장애물 통과 순간에 가속도 값과 진동값의 동시성 및 크기를 비교한 결과이다. 약 20msec의 지연효과가 관찰되었으며, 구조물의 세장비에 따라 차이가 발생한다. 또한, 시험 주행노면으로부터 발생하는 지향구조물의 진동량을 측정하여 전체 주행시간에 대하여 과도진동이 발생하는 정도를 측정한 결과, 속도가 증가함에 따라 진동제한폭 이상 발생하는 부분이 총시간의 5.8%까지 점유시간이 증가하였다.

나. 신호처리 결과 및 고찰

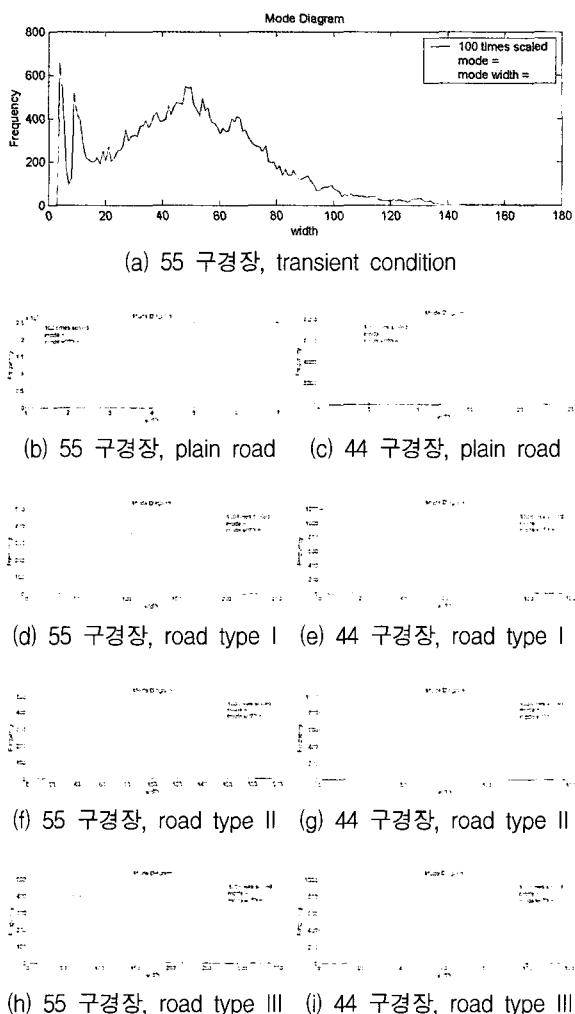
진동감지 데이터의 수는 500개로 한정하였으며, 이는 500msec의 시간이 소요됨을 나타내며, 가속도와 굽힘 사이의 시간지연을 고려하면, 480msec 정도이다. 지향구조물의 운용상 이 정도의 지연은 큰 의미가 없다고 판단되며, 실시간 감지가 가능하다고 할 수 있다.

그림 5는 지향구조물의 길이변화에 대한 여러 가지 노면조건에서의 모드와 모드폭을 일정속도(16km/h)에서 측정한 결과이다.

그림 5(a)로부터 평지주행에서 장애물 통과로 이어지는 부분에서는 서로 다른 진동 패턴이 관찰되며, 낮은 진폭의 높은 빈도수 신호는 시간에 따라 감소한다. 따라서 본 결과로부터 지형의 변화에 따른 감지도 가능하게 한다.

표 3은 위의 결과에서 특성의 대표치인 모드와 모드폭을 표로 나타내었다. 노면은 I형으로 속도를 달리 하였으며, 동일속도에서 다른 노면 형태에 대한 결과를 정리하였다.

같은 구경장에 속도가 빨라지면 모드가 모드폭보다 커지며, 같은 속도에 구경장이 길어지면 모드폭이 모

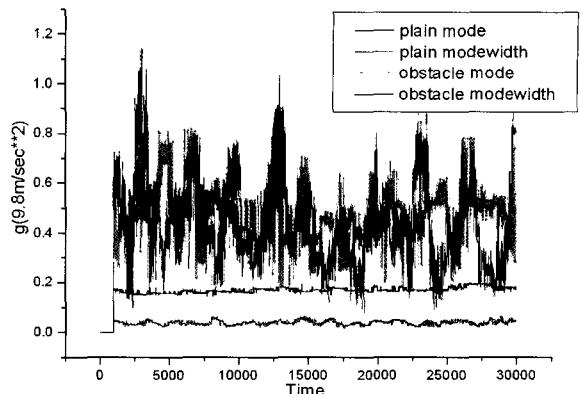


[그림 5] 다양한 조건에서의 모드변화

[표 3] 속도변화에 따른 모드와 모드폭

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

드보다 커진다. 이유는 속도가 빨라지면 변화율을 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.



[그림 6] 평지와 장애물에서의 모드와 모드폭의 비교

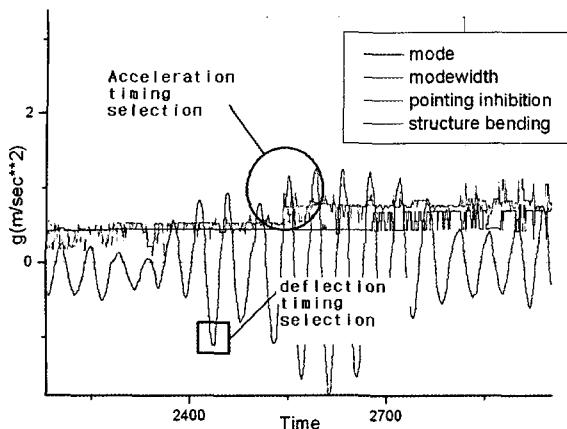
[표 4] 노면변화에 따른 모드와 모드폭

	55구경장	44구경장
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

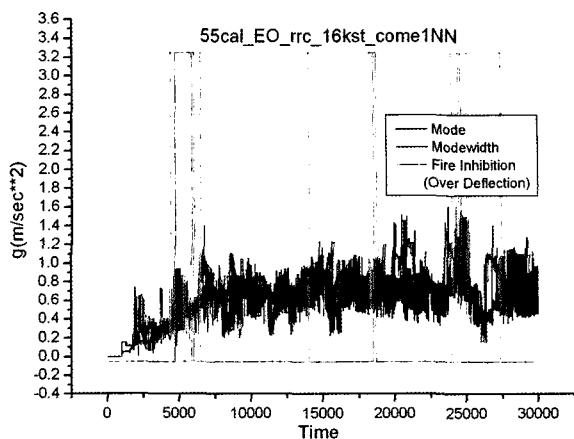
주행 중 입력되는 외란을 시간에 대하여 실시간 처리한 결과는 다음과 같다. 모드와 모드폭을 평지의 경우와 장애물 통과의 경우 변화를 비교한 결과, 그림 6에서와 같이 장애물 통과의 경우 모드와 모드폭이 상대적으로 증가하였으며, 변화폭이 크게 나타났다. 표 4는 각 노면에 대한 평균 모드와 모드 폭이다.

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

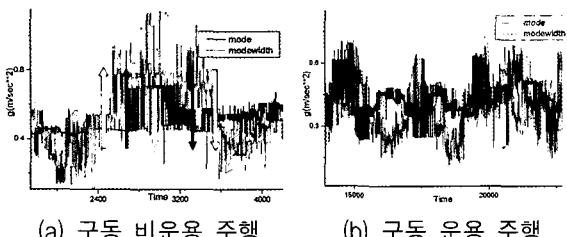
그림 7은 계측된 지향장치의 휨 량으로 지향 금지 순간을 선정한 결과와 본 연구의 결과에 의하여 외란의 모드와 모드폭을 이용하여 지향 금지순간을 선정한 결과의 비교 그림이다. 휨 량 측정 방법의 경우 임계값 이상에서 지향금지를 수행하며, 그림에서는 사각 구간에서 임계값을 초과하였다. 그러나 순간적인 초과이며 다시 감소됨에 불구하고 다음 주요 진동주기 전까지는 과도한 진동에 대한 사출금지를 수행한다. 그러나 본 연구의 결과에 의하여 진동의 변화가 커질 경우 금지순간을 선정하면 원 구간의 경우처럼 좀 더 정확한 지향 순간 선정이 가능하다.



[그림 7] 사격금지 결과의 비교



[그림 9] 차량 주행간 모드와 사격금지 신호



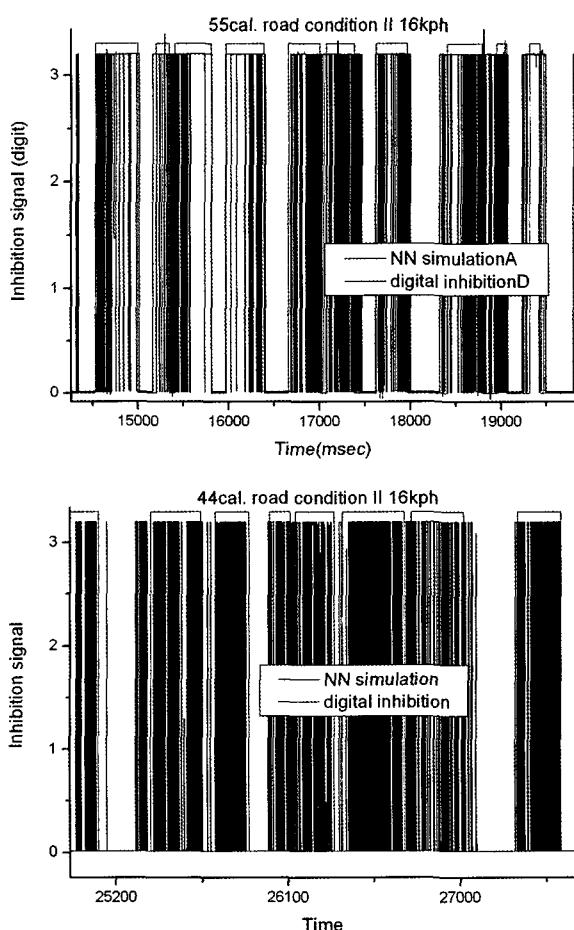
[그림 8] 모드와 모드폭의 변화

위의 모든 결과자료에서 반복 수행 결과는 모드와 모드폭이 3% 이내로 거의 동일하게 산출되었다.

그림 8(a)는 지향 구조물이 안정된 상태에서 충격 외란이 입력되었을 때 나타나는 현상으로 먼저 모드 폭이 증가하고 모드가 증가하며 모드가 감소하고 모드폭이 감소하는 순서로 진행된다. 지향구동을 수행하는 경우 자체 구동진동과 동시에 외란이 작용하여 모드폭 보다 모드가 먼저 증가하기도 하고 감소하기도 한다. 그림 8(b)에서와 같이 모드폭만 증가하는 경우 일시적인 외란의 경우가 많았으며, 모드만 증가하는 경우 진동의 지속시간이 상대적으로 긴 결과를 보였다.

그림 9는 가속도 자료를 신호 처리한 결과와 지향 장치의 진동량을 고려하여 과도한 힘이 발생한 경우의 사출 금지신호를 비교한 그림이다.

가속도 자료를 이용하여 사출 금지신호를 산출한 결과가 실제의 힘을 고려한 금지신호와 같도록 하기 위하여 앞서 언급한 방법을 프로그램으로 구현하고,



[그림 10] 인공신경망을 이용한 사격 금지신호 모사 결과

검증을 수행하였다. 연과관계를 구성하는 전달 함수를 예로 역전파 알고리즘을 이용한 인공신경망을 이용하여 구축하였으며, 그럼 10과 같이 인공신경망을 이용한 결과를 실제 적용한 결과와 비교하였다.

뉴런의 활성화 값과 비교되는 임계값은 초기 이동 평균 값으로 설정하였으며, 그 결과 각각의 시나리오에서 학습한 결과가 각각의 시나리오에서는 참 값과 유사한 결과가 얻어지거나, 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, 쳐짐의 위상과 외란의 위상이다를 경우는 실제보다 더 많은 구간을 잘못 감지하는 경우가 발생하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 여러 기동장비에 적용하기 위하여 기동장비를 임의의 동특성을 갖는 시스템으로 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) 본 연구에서 선정한 특징 값(모드, 모드 폭)의 변화를 이용하여 실제 측정하려는 쳐짐량의 과도변화 시점을 모사할 수 있다는 것을 확인하였다.
- (2) 본 연구에서 제안한 감소시간 선정방안을 적용하면 측정 장치를 부가적으로 장착하고 쳐짐량을 직접적으로 측정하여 사출 순간 선정에 적용하는 방안보다 좀 더 정확한 지향순간 선정이 가능하다.
- (3) 진동경향의 실시간 감지를 위하여 엔빌롭 신호를 계산하여 최종적인 모드선도를 적용하였다.

- (4) 모드선도를 분석하여 다양한 노면으로부터의 외란과 운용상태 변화에 따른 가속도변화의 모드값을 사용하여 지향성능향상에 적용하였으며, 인공신경망 학습기능을 이용하여 과도진동 감지를 수행한 결과 학습 정도에 따라 89% 까지 감지성능을 도출하였다.
- (5) 검증을 위하여 실시간으로 진동에 의한 쳐짐량을 측정하였으며, 본 제안의 진동상태 선정결과와 사출 금지 선정결과를 비교하여, 기동 시간내의 지향 정밀도가 보장되는 사출 가능구간의 접유시간 비율이 증가될 수 있음을 보였다.
- (6) 진동 경향분석에 따른 상태선정에 소요되는 시간은 자료축적에 0.5초, 신호처리에 약 0.01초 정도였으며, 이는 운용상 충분한 시간이며, 소요시간 중 자료축적 시간은 필요에 따라 분석 정확도와 절충하여 적용할 수 있다.
- (7) 종합적으로 판단하면 본 논문에서 다루어진 사출 순간선정 알고리즘을 적용할 경우, 본 연구의 목적에 부합하며, 시스템 지속적인 보정문제를 야기하지 않는 간단한 방법으로도 주행 간표적 지향성능 향상에 크게 기여할 것으로 예상된다.

본 연구를 통하여 외란에 의하여 구조물 끝단에서의 상태를 판단하도록 하는 지향 상태 선정 방안을 실험에 의하여 입증하였으나, 다음과 같은 사항에 대하여 더 많은 연구가 필요할 것으로 판단되어 이를 향후 과제로 제시하고자 한다.

- (1) 본 연구에서 수행한 실험 외에 다양한 외란특성을 갖는 여러 종류의 지향성 차량에 대해 적용하여, 다양한 기동 조건에서 본 알고리즘의 실험적 입증/적용이 필요하다.
- (2) 외란의 급격한 변화나 짧은 시간의 충격에도 감지 신뢰성을 높이기 위하여 데이터 구간 길이와 감지신뢰성 사이의 절충을 통하여 최적의 조건을 설정하기 위한 연구가 필요하다.
- (3) 지향장치의 길이가 장대화됨에 따라 지향장치의 굽힘 운동과 표적지향 제어특성간의 관계 규명 및 보상을 통하여 근본적인 보상방안에 대한 연구가 필요하다. 구체적으로는 지향구조물 진동의 이동평균값의 변화량에 대해서 지향

구동장치의 응답 주파수(system bandwidth) 이하의 범위에 대해서는 지향 구조물을 구동하여 최소한의 오차가 발생되도록 적극적 보상을 수행하며, 지향 구동장치의 구동 응답특성을 분석하여 구동 가능 진동수 이상의 외란의 진동수 성분에 대해서는 본 연구의 진동감지 방법을 이용하여 사출금지 및 가능 순간을 선정하여 과도 진동구간을 회피함으로써 지향성능 향상을 극대화 할 수 있을 것으로 판단된다.

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, pp.421~426, 2000.
 - [2] J. S. Bird, "Measurement of Tank gun dynamics in support of a dynamic muzzle referencing system", AD Report, Defence Research Establishment Ottawa, pp.634~681,
 - [3] Straightness on Dispersion" ARL Report, June 1995.
 - [4] A. V. Oppenheim and R. W. Schafer, *Discrete-time signal processing*, Prentice Hall inc, 1989.
 - [5] Bornstein, J., I. Celmins, P. Plostins, E. M. Schmidt, "Techniques for the Measurement of Tank Cannon Jump", BRL Report, 1988.