

자주포용 변속기 속도기어 흔들림에 따른 주행속도 영향성 분석 및 개선 연구

성수민*, 하정욱*, 우현수**

*국방기술품질원 기동화력센터

**한화에어로스페이스 주식회사

e-mail : angie.soohmin@gmail.com

A Study on Refining Speed Calculation Methods Considering Speed Gear Wobbling in Self-Propelled Howitzer Transmission

SooHmin SEONG*, Junguk Ha*, Hyunsu Woo**

*Defense Agency for Technology and Quality

**Hanwha Aerospace Co. Ltd.

요 약

자주포의 주행속도 계산 과정에서 지속적인 오류가 발생하는 현상을 확인하고, 그 원인을 규명하기 위한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 자주포 변속기 내 속도기어가 주행 중 진동으로 인해 흔들리는(Wobbling) 현상이 발생하며, 이로 인해 센서의 신호가 왜곡되고 계산된 속도 값에 오차가 유입됨을 확인하였다. 실제 장비 데이터를 기반으로 기어의 움직임을 분석하고, 기존 속도 계산 방식과의 비교를 통해 흔들림이 속도 계산 정확도에 미치는 영향을 최소화하는 개선방안을 마련하고자 하였다. 본 연구는 기어 Wobbling을 고려한 속도 계산 방법 개선의 필요성을 제시하며, 향후 정밀한 주행 제어를 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

1. 서론

정확한 주행 속도 계산은 자주포와 같은 군용 차량의 주행제어, 항법시스템, 그리고 무기 운용의 정밀도 확보에 있어 핵심적인 요소이다. 특히, 디지털 제어 시스템이 적용된 최신 자주포에서는 차량의 실시간 주행 정보를 바탕으로 다양한 운용 명령이 수행되며, 속도 정보의 신뢰성은 시스템 전반의 성능에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 최근 장비 운용 간 특정 조건에서, 조종수 계기판의 속도가 '33 → 11 → 34 → 17 → 34' 와 같이 이상전 시하는 현상이 반복적으로 발생하였다. 이러한 문제는 운용 효율성을 저해할 뿐 아니라, 필요시 정밀한 사격지점 계산 및 자동항법 운용에 심각한 영향을 줄 수 있다.

본 연구는 이러한 속도 계산 오차의 원인을 기계적 요인에서 찾고자 하였으며, 특히 자주포 변속기 내에 위치한 속도기어의 미세 진동현상, 즉 'Wobbling(흔들림)'에 주목하였다. 속도기어는 주행 중 노면과 차체사이에서 발생하는 다양한 진동하중에 노출되며, 이로 인해 상하좌우로 미세하게 흔들리는 움직임이 발생할 수 있다. 이러한 현상은 기어와 연동된 속도센서(마그네틱 픽업)의 신호를 왜곡시키고, 결과적으로 속도 계산 값에 오차를 유발할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 주행속도 이상 전시 현상의 발생원인 검토와 이를 해소하기 위한 개선에 관한 연구를 진행하

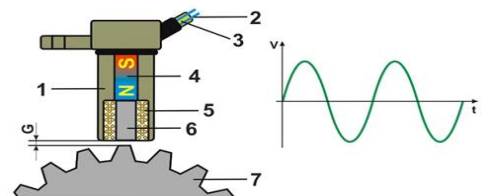
고자 하였다.

2. 현실태 및 문제점

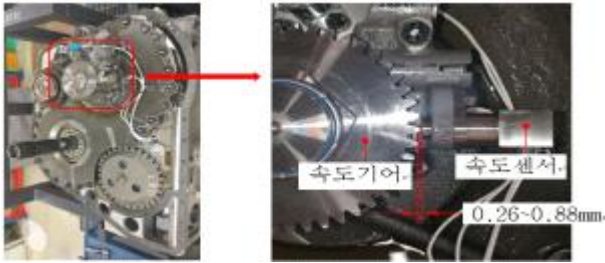
2.1 주행속도 계산 및 전시 프로세스

현재 자주포의 주행속도는 속도 기어와 속도 센서(마그네틱 픽업 센서)로부터 생성된 신호가 신호변환기를 통해 변환되어 조종수계기판에 입력 및 전시된다.

속도센서는 자석이 내장되어 있어 철제 기어와 근접시켜 회전할 때 요철의 변화에 따른 센서 내 자기장의 변화가 코일의 전류변화를 유발하여 교류전압을 발생시키는 방식으로 신호를 획득한다.



[그림 1] 마그네틱 픽업 센서 신호 발생



[그림 2] 실제 속도기어와 속도센서 장착 형상



[그림 3] 주행속도 전시 프로세스

이렇게 획득된 센서 신호는 증폭을 거쳐 아날로그 필터를 통해 잡신호를 제거하고, 신호변환기를 통해 구형파의 형태로 변환되어 조종수계기판으로 입력된다. 조종수계기판에서는 구형파의 주파수를 이용하여 펄스파의 간격, 즉 상승엣지 사이의 시간을 산출하여 아래의 산식과 같이 산출하고 전시기를 통해 운전자에게 보여주게 된다.

$$v = k \frac{1}{t}$$

* t = 상승엣지 → 상승엣지 간 시간

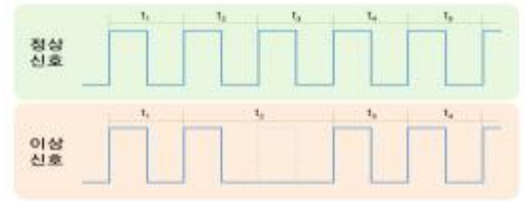
$$* k = \frac{2\pi \times \text{기어}r}{\text{기어잇수}} \times 3.6$$

마그네틱 픽업 센서에서 발생하는 신호는 수십 mV단위의 작은 신호로, 잡음이나 작은 오차에도 큰 값의 차이로 나타날 수 있어 속도센서와 속도기어 사이 간극은 정확한 속도 산출을 위해 최소한의 범위로 관리되어야 한다.

2.2 발생 원인검토

조종수계기판에서 전시되는 차량의 주행속도가 실제 속도와 이상값이 반복전시되는 현상의 원인을 검토하기 위하여 조종수 계기판으로 입력되는 속도 신호를 확인해 본 결과, 속도에 따라 변동되는 주파수에 따라 일정 간격의 펄스가 입력되어야 하나 특정 구간에서 펄스가 누락되는 것을 확인하였다.

조종수계기판은 입력되는 펄스간의 시간을 측정하여 주파수로 역산하고, 이를 이용하여 속도를 산출하는데, 누락되는 펄스로 인해 그림 4에서 보이는 바와 같이 실제 속도의 펄스 간 시간 간격을 초과한 펄스 간 시간이 계산되어 실제 주행속도와 다른 속도가 산출됨을 확인하였다.



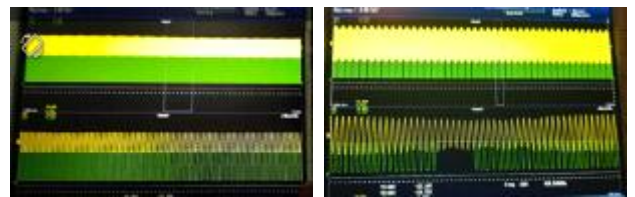
[그림 4] 정상 및 이상(펄스누락)신호시 시간간격

펄스 누락의 원인을 검토하기 위하여 속도센서에서 조종수 계기판으로 입력신호부를 분석한 결과 마그네틱 픽업 센서에서 발생하는 신호를 증폭하고 잡신호를 필터링하는 과정에서, 마그네틱 픽업 센서와 속도기어의 간격이 넓어질수록 신호의 세기가 약해지고 왜곡이 발생하면서 정현파의 신호를 구형파로 변형시키기 위한 비교기의 입력단에서 cut-off 되어 정상적인 구형파가 출력되지 않음을 확인하였다.(그림 5)

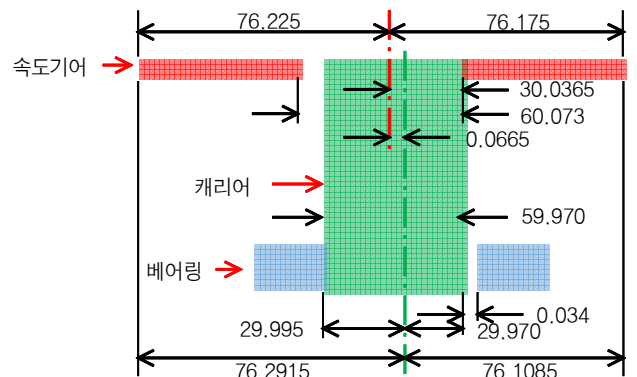
속도기어는 기계적 가공으로 생산되므로, 제작간 공차를 가지며 또한 속도센서와 주변 부품과 조립에 의한 조립 공차도 발생한다. 기계 가공품의 공차는 그 자체뿐 아니라 공차로 인해 자주포 주행 간 진동에 의한 흔들림에도 영향을 준다. 속도기어 1회전 시 속도센서와 속도기어의 간격은 주행 진동 때문에 그림 6에서 보이는 바와 같이 주기적으로 가까워지고 멀어지게 된다.



[그림 5] 센서 - 기어 간극 측정 결과, (K9A1 #18020)



[그림 6] 속도기어 흔들림이 작을 때(좌), 클 때(우)



[그림 7] 공차를 고려한 속도기어 흔들림량 추정

조립체 도면에서 속도기어의 흔들림량은 규제되어 있지 않으나 구성품 각각의 치수 및 형상공차를 조합하여 조립체 상태의 속도기어 흔들림량을 추정해보면 그림 7에서 보이는 바와 같이 축, 기어 조립 시 축의 외경 최대, 기어 내경 최대일 때 조립 시 0.183으로 기어의 흔들림량이 제일 커지며, 베어링 내경과 축의 외경 틈새 고려 한 최악조건 적용시 최대 0.217까지 발생 할 수 있음을 알 수 있다. 실제 자주포 14대를 대상으로 간극을 측정해본 결과 표 1과 같이 최소 0.04mm, 최대 0.15mm 정도 발생함을 확인하였다. (규격요구조건 : 0.26 ~ 0.88mm)

[표 1] 자주포(K9A1) 속도기어 1회전당 속도센서와 간극

#	기어-센서 간극	#	기어-센서 간극
1	0.42~0.46(0.04)	8	0.43~0.48(0.05)
2	0.30~0.43(0.13)	9	0.43~0.55(0.12)
3	0.33~0.42(0.09)	10	0.37~0.50(0.13)
4	0.38~0.43(0.05)	11	0.33~0.48(0.15)
5	0.38~0.48(0.10)	12	0.38~0.52(0.14)
6	0.43~0.50(0.07)	13	0.35~0.45(0.10)
7	0.34~0.48(0.14)	14	0.40~0.50(0.10)

3. 개선방안

3.1 개선방안

현상을 해소하기 위하여 센서의 신호를 증폭 및 필터링하는 아날로그 신호 처리부의 Bandwidth를 조정하여 신호의 왜곡이 발생하지 않도록 하는 방안을 검토하였으나, 방산 무기 체계의 특성상 기존 전력화되어있는 장비에 대한 소급방안을 고려하여야 하므로, 하드웨어 변경을 통한 개선방안은 제한되어, 속도를 계산하여 전시하는 SW 알고리즘을 개선하여 문제 현상을 해소하고자 하였다.

기존 속도 산출식은 펄스파의 간격, 즉 상승엿지 사이의 시간을 산출하였으나, 펄스가 누락되면 다음 펄스 발생 시까지 시간(t)이 2배(또는 그 이상)가 되어 정상 주행속도 기준 1/2 값이 산출되어 이상값이 전시 될 수 있다.

$$v = k \frac{\text{펄스입력수}}{0.39\text{초}}$$

$$*k = \frac{2\pi \times \text{기어}r}{\text{기어잇수}} \times 3.6$$

이를 해소하기 위하여 특정 시간 동안 입력되는 펄스의 개수를 카운트하여, 측정간 펄스의 누락이 발생하더라도 오차 발생을 줄일 수 있도록 SW를 개선하고자 하였다. 조종수계기판에 주행속도는 0.5초를 주기로 업데이트되어 전시되는데, 이 주기를 기초로 액정에 속도 값 전시 및 기타 프로세스 수행을 위한 0.11초를 제외한 0.39초 동안 속도센서에서 발생하는

펄스파를 카운트하여 정해진 시간당 입력되는 펄스파의 수를 이용하여 아래와 같은 수식을 이용하여 속도를 산출하였다.

3.2 유효성 확인

기존방식에서는 펄스가 누락될 때마다 속도가 1/2, 1/3로 감소되어 전시되었던 반면, 개선된 속도 산출방법을 사용하면 전체 입력 펄스 수에서 -1 이 되므로, 600Hz 기준(약 24.8km/h)으로 그 영향성이 1/234로 줄어들게 되며, 속도로 환산 시 0.1km/h 정도이다. 표 2에서 보이는 바와 같이 조종수계기판의 기존방식의 속도산출의 경우 펄스 1개 누락 시 속도가 1/2로 감소하나, 개선방식 적용 후에는 속도별 최대 오차가 0.12km/h 정도 발생할 수 있으나 정수단위로 표시되어 실제 속도와 전시값이 동일함을 확인하였고, 누적을 통한 속도산출이 아닌 단위시간당 신호의 수를 이용하여 산출하므로 누적오차도 발생하지 않았다.

개선된 계산식을 적용한 SW를 조종수계기판에 적용하여 국방규격에 따라 10km/h 단위로 10~60km/h 구간에 대하여 확인해 본 결과, 주행하고 있는 자주포의 속도신호를 정상적으로 전시함을 확인하였으며, 특정 구간에서 이상 속도 값이 전시되는 현상이 해소되어 운용상에 문제가 없음을 확인하였다.

[표 2] 개선 전/후 속도값 비교

속도(km/h) /주파수(Hz)	개선전(km/h)		개선후(km/h)	
	누락 0	누락 1	계산값(오차)	전시값
1 / 24	1	0	1(0.120)	1
9 / 224	9	5	9(0.104)	9
18 / 446	18	9	18(0.103)	18
30 / 750	30	15	30(0.103)	30
40 / 1000	40	20	40(0.103)	40
50 / 1250	50	25	50(0.103)	50
60 / 1500	60	30	60(0.103)	60

4. 결론

본 연구에서는 자주포 변속기 내 속도기어와 속도센서 간의 간극이 일정하지 않다는 점에 착안하여, 이로 인해 주행 중 발생하는 진동과 wobbling 현상이 센서 신호에 왜곡을 초래한다는 사실을 실험적으로 규명하였다. 특히, 간극의 편차가 클수록 센서 출력의 신뢰도가 낮아지고 결과적으로 주행속도 계산에 지속적인 오차가 발생하는 것으로 나타났다. 이를 해결하기 위해 센서 신호의 왜곡을 보정하고 일정 수준의 잡음이나 흔들림이 존재하더라도 안정적으로 속도를 산출할 수 있도록 알고리즘을 개선하였다. 개선된 알고리즘은 실제 데이터를 바탕으로 한 시뮬레이션 및 실차 시험을 통해 검증되었으며, 기존방식 대비 우수한 정확

도와 재현성을 확보하였다. 본 연구 결과는 자주포를 포함한 다양한 궤도형 군용 차량의 속도 측정 및 제어시스템의 신뢰성을 높이는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김성우 외, “수동형 차륜 속도센서 제작 및 특성”, 한국정보기술학회논문지, 제 11권 4호, 4월, 2013년.
- [2] 채장범, “기어의 움직임 검출을 위한 주파수 분석법”, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, pp.259-263, 6월, 1996년