

전투차량의 사격통제 성능향상을 위한 탄도해 리드 계산 기법

A ballistic lead-computation method
to improve firing accuracy of army combat vehicles

전 영 미*

Jeoun, Young-Mi

ABSTRACT

This paper presents a ballistic lead-computation method which utilizes automatic video tracking, tracking assistance and roll uncoupling. The method is able to improve the firing accuracy of army fighting vehicles such as main battle tanks. In the experiment, the efficiency of the proposed method is evaluated by an error analysis in real operating environment. The proposed method has been applied to the fire control system of a military vehicle and proved through the development test of the vehicle.

주요기술용어(주제어) : Fire Control System(사격통제시스템), Firing Accuracy(사격 정확도), Tracking Assistance (추적 보조), Ballistic Lead Computation(탄도해 리드계산)

1. 서론

최근 급격히 발달한 고도의 정밀과학기술은 그대로 각 국의 군사력 증강에 사용되고 있다. 그 중에서도 사격통제장치의 발전은 운용자의 숙련도나 경험에 의해 좌우되던 많은 것들을 지능화, 자동화 처리하여 운용병의 편리함을 도모하고 있다. 현대에 개발 중인 지상전투차량의 사격통제장치는 원거리 및 회피기동을 하는 표적에 대하여 신속하고 정확한 사격능력이 요구되고 있으며 그에 따라 표적을 추적하는 방식에 있어서도 전통적인 수동추적 방식이 아닌 자동화된 추적 기능에 대한 요구가 증대되고 있다. 기존의 수동추적 방식은 훈련된 운용병이 표적을 조준한 후 핸

들의 구동을 통하여 추적하는 방식이며 고속의 야지 주행에 따른 외란, 지형에 따른 차량의 기울어진 자세 및 혼란한 전장 상황 등에 의해 운용자는 표적을 추적하는 일에 많은 집중력과 훈련을 통한 숙련도를 필요로 한다. 이러한 표적 추적 정확도는 사격 명중률을 좌우하는 핵심사항임에도 불구하고 현재 지상전투차량의 사격통제장치는 전적으로 승무원의 운용능력에 의존하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 이런 핸들 구동을 통한 수동추적의 불편함을 해소하고 비숙련자들도 용이하게 표적을 추적할 수 있도록 다양한 추적 보상 기법들을 소개한다. 또한 이러한 기법들에 의해 발생한 추적 제어 신호들의 사격통제^[1,2] 성능 향상을 위한 효율적인 적용 방안 및 탄도해 리드 계산 방안을 제시한다.

본 논문의 2장에서는 전투차량의 사격통제장치에 기(既) 적용된 추적 보상 기법인 추적보조 및 좌우경사 보정법을 소개하고 현재 개발 중인 전투차량에 적

† 2007년 2월 6일 접수~2007년 5월 18일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : douner7198@add.re.kr

용될 영상추적 기법을 소개한다. 영상추적은 전투차량 조준경의 적외선 센서로부터 입력된 시변 영상에서 표적의 이동 정보를 추정함으로써 표적을 추적하는 방식이며 추적보조는 자차의 기동에 의한 변화량을 보상하는 방법으로 차량 속도와 사거리등을 이용하여 추적 신호를 계산한다. 마지막으로 좌우경사 보정법은 차체가 좌우로 기울어진 상태에서 표적을 추적할 때 운용병의 수동추적을 용이하게 하도록 돕는 방법이다.

이러한 추적 기법들은 궁극적으로는 사격의 명중률을 향상시키고자 하는데 있으며 추적 보상 기법에 의해 생성된 제어신호는 사격통제시스템에 적용하여 조준경 및 포구동장치를 제어하고 표적을 추적하게 된다. 그러나 추적 보상 기법 중 추적 보조에 의한 제어신호의 탄도계산 리드(lead) 적용에 따라 사격 정확도에 오차가 발생하는 문제가 있다. 이런 문제점을 해소하기 위하여 본 논문의 3장에서는 표적 추적의 운용 상태별로 추적 보상 기법에 의해 발생한 신호의 조준경 제어 적용 및 탄도해 리드 계산 방법을 제시한다.

2. 표적 추적 기법

2장에서는 전투차량의 전통적인 추적 방식인 핸들 구동을 통한 수동추적의 불편함을 해소하고 비 숙련자들의 운용 편의성을 증대하기 위한 추적 보상 기법들을 소개한다.

가. 영상추적^(3,4)

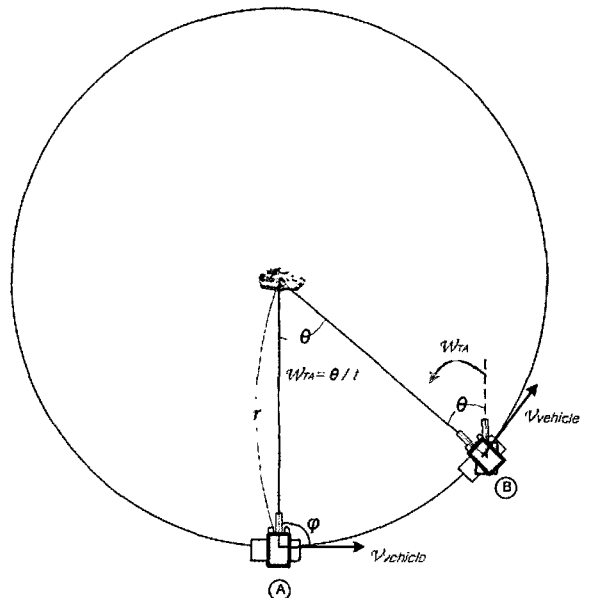
전투차량의 사격통제컴퓨터 내 영상추적 기능을 담당하는 영상추적보드는 조준경의 적외선 센서로부터 영상을 입력받아 영상 해석 및 처리를 통하여 표적의 위치, 속도등의 상태를 추정하고 그 결과를 이용하여 사격통제시스템의 운용모드에 따라 조준경과 포구동장치를 제어하고 표적을 추적한다. 영상 추적에 사용되는 조준경의 적외선 센서는 표적으로부터 발생되는 적외선 파장을 감지하여 영상정보를 제공해주는 부분으로서, 센서를 장착한 차량의 정지 및 기동 중에도 항상 안정된 영상을 제공할 수 있도록 안정화

(stabilization) 되어 있다. 또한 추적에 필요한 초기 표적의 획득은 영상화면을 관측하는 운용자가 핸들의 표적 추적 스위치를 누를 때 선택되도록 하였다.

나. 추적보조

그림 1과 같이 전투차량이 A 지점에서 정지 표적에 대하여 조준한 후 B 지점으로 이동하면 단순한 관성좌표계에 대한 안정화 기능만으로는 포탑과 조준선의 방향은 그림의 점선과 같이 표적을 지향하지 않는다. 이를 운용자가 핸들을 구동하지 않고도 표적을 추적할 수 있도록 조준경 및 포구동장치의 제어 신호를 계산하는 것이 추적보조이다. 그림 1에서 추적 보조에 의한 제어신호는 각속도 ω_{TA} 이다. 여기서 TA는 Tracking Assistance의 약자이다.

추적보조 신호는 표적에 대하여 자차의 상대적 이동량에 따른 각도변화를 보상하는 것으로서, 식 (1)과 같이 차량의 이동속도와 사거리등을 이용하여 계산한다. 일반적인 사격절차에 의하여 사거리 측정 후 사격에 소요되는 시간이 매우 짧고, 이 기간 동안 자차의 이동에 따른 사거리 변화를 측정할 수 없기 때문에 차량의 움직임을 최초 사거리 측정시 획득한 사거리를 반지름으로 하는 등속 원운동으로 가정한다. 차



[그림 1] 추적보조

량이 t 시간 동안 θ 만큼 움직이면 각속도 $\omega_{TA} = \frac{\theta}{t} (rad/sec)$ 가 된다. 여기서 $v_{vehicle} = \frac{s}{t} = \frac{r\theta}{t} (m/s)$ 이므로 운용자가 B지점에서 표적을 조준하기 위해 포탑을 구동해야할 각속도 제어명령 $\omega_{TA} = \frac{v_{vehicle}}{r}$ 이다. 그러나 실제 전투차량은 표적을 중심으로 원운동하지 않으며, 운용자가 차량주행 방향으로 표적을 조준할 때는 추적 보조 기능이 의미가 없다. 즉, 차체와 포탑의 상대각인 φ 가 0° 나 180° 일 때는 식 (1)과 같이 추적보조 성분이 '0'이 되어야 한다. 이렇게 전투차량의 추적보조 기능은 표적을 중심으로 한 차량의 등속 원운동 모델링 식을 그대로 이용할 수 없으며 식 (1)과 같이 차량의 주행방향과 표적의 조준방향을 고려하여 계산한다.

$$\omega_{TA} = \frac{v_{vehicle} \times \sin\varphi}{r} \quad (1)$$

계산된 추적 보조 신호는 조준경과 포구동장치를 제어하여 운용자가 핸들을 구동하지 않아도 자동으로 표적을 추적할 수 있도록 한다. 물론 차량의 움직임을 원운동으로 가정하여 그 오차만큼 운용자가 보정을 해주어야 하지만 추적 보조 기능을 사용하지 않을 때 보다 미소량만 보정해주면 되므로 운용자의 불편을 경감할 수 있다.

다. 좌우경사 보정법

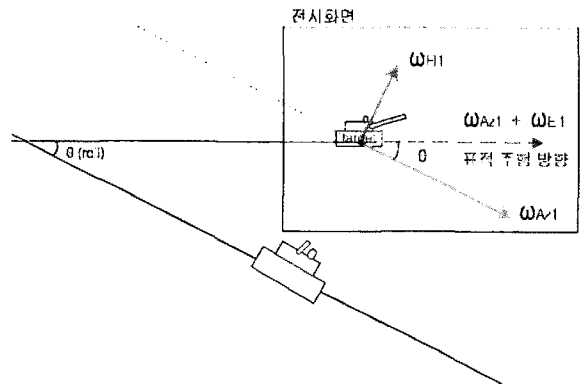
전투차량이 기울어진 상태에서 수평평상을 주행하는 표적을 추적할 때 표적은 선회방향으로만 이동할 지라도 운용자는 핸들을 선회방향 뿐만 아니라 고저방향으로도 구동을 하여야만 하는 불편함이 있다. 이는 조준경의 회전면과 표적의 수평면이 일치하지 않기 때문이며 이런 불편함을 보완하기 위한 방법으로 좌우경사 보정(Roll Uncoupling)이 있다. 그림 2는 차량이 비탈면에 기울어진 채로 표적을 조준 추적하는 모습을 나타낸 것이다. 차량의 기울어진 정도, 즉 좌우경사(roll)각은 포의 하부에 장착된 수직감지기 센서로부터 측정하며 기울어진 상태에서 운용자가 핸들을 선회 혹은 고저 방향으로만 구동하여도 표적의 이동방향(그림 2의 점선방향)으로 추적할 수 있도록 운용자 핸들 신호를 계산한다. 좌우경사 보정법으로

계산된 제어신호를 식으로 나타내기 위해 먼저 핸들 신호를 다음과 같이 표기한다.

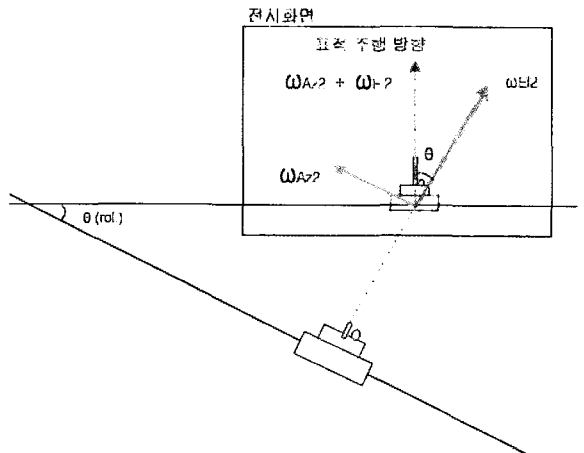
$$Operator\ Handle\ Rate = (\omega_{H\ Az}, \omega_{H\ El})$$

여기서 $\omega_{H\ Az}$ 와 $\omega_{H\ El}$ 은 각각 운용자 핸들의 선회방향 및 고저방향 각속도를 뜻하며 H 는 핸들(Handle), Az 는 선회방향(Azimuth), El 은 고저방향(Elevation)을 약어로 표기한 것이다.

그림 2의 (가)와 같이 차량이 비탈진 길에서 표적을 선회방향으로 추적할 시에는 운용자 핸들의 선회방향 신호를 선회 및 고저방향 벡터로 분해하여 제어



(가) 표적을 선회방향으로 추적



(나) 표적을 고저방향으로 추적

[그림 2] 좌우경사 보정법을 이용한 핸들 제어 신호

신호를 계산한다. 계산된 선회, 고저방향 제어신호는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} \omega_{Az1} &= \omega_{H.Az} \times \cos\theta \\ \omega_{El1} &= \omega_{H.Az} \times \sin\theta \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 ω_{Az1} 과 ω_{El1} 은 벡터로 분해된 선회, 고저방향 핸들 각속도 성분이고, θ 는 포의 좌우경사(roll)각이다. 표적을 고저방향으로 추적하는 그림 2(나)도 선회방향으로 추적하는 것과 마찬가지로 운용자 핸들의 고저방향 신호를 분해하여 ω_{Az2} 과 ω_{El2} 로 선회, 고저방향 핸들 각속도 성분을 계산하였으며 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \omega_{Az2} &= -\omega_{H.El} \times \sin\theta \\ \omega_{El2} &= \omega_{H.El} \times \cos\theta \end{aligned} \quad (3)$$

운용자 핸들 전체 속도신호에 대한 좌우경사 보정이 포함된 제어신호는 식 (2), (3)을 통합하여 얻을 수 있으며 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \omega_{H.Az.RU} &= \omega_{Az1} + \omega_{Az2} \\ \omega_{H.El.RU} &= \omega_{El1} + \omega_{El2} \\ \omega_{H.Az.RU} &= \omega_{H.Az} \times \cos\theta - \omega_{H.El} \times \sin\theta \\ \omega_{H.El.RU} &= \omega_{H.Az} \times \sin\theta + \omega_{H.El} \times \cos\theta \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)의 $\omega_{H.Az.RU}$ 와 $\omega_{H.El.RU}$ 의 RU 는 Roll Uncoupling(좌우경사 보정)을 의미하고 좌우경사 보정이 처리된 운용자 핸들 각속도 신호를 뜻한다. 이렇게 계산된 핸들 신호를 조준경 각속도 제어신호에 적용하여 표적을 용이하게 추적할 수 있다.

3. 추적 기법에 의한 제어신호의 사격통제시스템 적용

3장에서는 추적 보상 기법에 의해 계산된 제어 신호를 사격제어 시스템에 적용하는 방법에 대해 기술한다. 이런 적용 방법에 대한 연구를 수행하게 된 배경은 추적보조 기능에 의한 제어신호의 탄도계산 리드 적용에 따라 사격정확도에 차이가 발생하기 때문

이다.

가. 탄도해 리드 계산^[5,6]

탄도계산 과정에는 기동중인 표적에 대해 탄의 비과시간 후 위치를 예측하여 선회방향으로 포를 제어하여 주는 리드(lead) 계산이 있다. 이 때 미래 위치에 탄을 도달하도록 보상하여주는 리드 계산은 식 (5)와 같다.

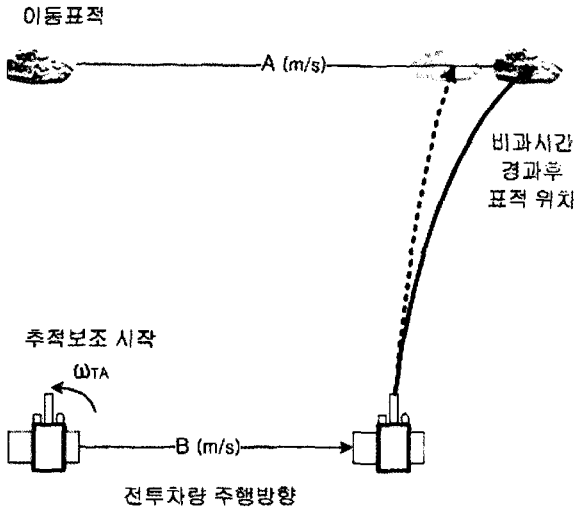
$$lead = \omega_{S.Az} \times t_{TOF} \times \cos(\theta_{roll}) \quad (5)$$

여기서 $\omega_{S.Az}$ 는 조준경(Sight)으로 전송하는 선회 방향 각속도 제어신호이고, TOF (Time Of Flight)는 비과시간으로 표적과의 사거리(R)에 대한 함수 $TOF = f(R)$ 이며 $roll$ 은 수직감지기 센서에서 측정된 좌우경사각을 의미한다. 추적보조 기법에 의한 제어신호는 조준경의 속도명령 신호로 인가되고 식 (5)와 같이 탄도계산의 리드 계산 시에도 포함되게 된다. 이런 경우 사격정확도에 문제가 발생된다. 이유는 리드 계산 시에는 표적의 기동에 따라 야기된 핸들의 선회 각속도 신호가 반영되어야 하는데 추적보조 기능에 의해 생성된 신호는 자차의 주행에 따른 추적 제어신호를 생성하기 때문이다.

나. 추적신호의 조준경제어 및 탄도해 리드 적용

그림 3은 이동하는 표적에 대하여 전투차량이 기동하면서 추적하는 모습을 나타낸다. 여기서 표적과 전투차량은 모두 등속운동을 하고 속도는 각각 A(m/s), B(m/s)로 가정한다. 그림 3에서 기술된 용어인 ω_{TA} 는 2장에서 기술된 것과 같이 추적보조에 의해 계산된 속도명령 제어신호를 의미한다. 표적을 향하는 실선과 점선의 화살표는 조준경 각속도 제어신호($\omega_{S.Az}$)의 탄도계산 리드 적용에 따른 비과시간 후 탄의 이동방향을 나타낸 것이다. 먼저 점선과 같이 표적을 빗맞게 되는 탄도해 리드 적용은 식 (6)과 같으며 리드 계산에 추적보조 신호가 포함된다.

$$\begin{aligned} \omega_{S.Az} &= \omega_{H.Az} + \omega_{TA} \\ lead &= \omega_{S.Az} \times t_{TOF} \times \cos(\theta_{roll}) \\ &= (\omega_{H.Az} + \omega_{TA}) \times t_{TOF} \times \cos(\theta_{roll}) \end{aligned} \quad (6)$$



[그림 3] 사격제어 신호의 탄도해 리드 적용에 따른 탄의 이동방향

실선의 경우는 다음과 같으며 탄도계산 리드 계산에 추적보조 기법에 의한 제어신호를 포함하지 않는다.

$$\begin{aligned} \omega_{S.Az} &= \omega_{H.Az} + \omega_{TA} \\ lead &= (\omega_{S.Az} - \omega_{TA}) \times t_{TOF} \times \cos(\theta_{roll}) \\ &= \omega_{H.Az} \times t_{TOF} \times \cos(\theta_{roll}) \end{aligned} \quad (7)$$

그림 3과 같이 추적보조가 시작되면 그 계산값은 ω_{TA} 로 적용이 된다. 이때 이상적으로 표적을 추적해 준다면 운용자 선회방향 핸들 신호 $\omega_{H.Az}$ 는 $-\omega_{TA} + \omega_{\alpha}$ 가 될 것이다. 여기서 ω_{α} 는 표적과 차량의 속도 차이만큼 운용자가 보상하여 구동하는 핸들 각속도 신호이다. 식 (6)과 (7)에 운용자 핸들신호($-\omega_{TA} + \omega_{\alpha}$)를 적용하여 탄도계산 리드를 계산하면 그림 3에서 나타낸 점선과 실선 같이 각각 탄이 이동하는 것을 예상할 수 있다. 이는 표적의 속도 A(m/s)와 차량의 속도 B(m/s)가 같아서 ω_{α} 값이 '0'이 되어 핸들신호 $\omega_{H.Az}$ 가 $-\omega_{TA}$ 가 된다면 더욱 명확하게 이해할 수 있다. 따라서 식 (7)과 같이 탄도계산 리드 계산 시에는 조준경 구동 각속도 제어신호($\omega_{S.Az}$)에서 ω_{TA} 값을 빼야지만 실선과 같이 탄의 비과 시간 후에

이동 표적을 정확히 맞출 수 있다.

다. 차량속도와 사거리에 따른 탄도해 리드 분석 추적 보조 계산식의 두 가지 요소인 차량의 속도와 사거리를 달리하여 식 (6), (7)과 같이 리드값을 계산하고 그 오차를 분석한다. 탄도계산의 리드값을 정량적으로 나타내기 위하여 다음과 같은 가정을 한다. 또한 표적과 차량의 상대속도만큼 보상하여 구동하는 핸들 각속도 신호(ω_{α})는 다음 식 (8)과 같이 계산한다.

- 표적과 차량은 등속운동을 한다.
- 차량의 좌우경사값은 '0' 이다.
- 추적보조 계산시 차체포탑상대각 φ 는 '-90°' 이다.

$$\omega_{\alpha} = \frac{(B-A) \times \sin\varphi}{r} \quad (8)$$

표 1은 전투차량의 속도 변화에 따른 점선과 실선 방향의 탄도계산 리드값과 그 오차를 나타낸다. 표의 오차값을 보면 차량의 속도가 증가할수록 오차도 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

[표 1] 자차 속도변화에 따른 탄도해 리드값

표적속도: 50km/h, 사거리: 1km, t_{TOF} 1): 1.05sec			
자차속도 (km/h)	점선방향 식 (6) 리드값 (mrad/sec)	실선방향 식 (7) 리드값 (mrad/sec)	오차 식 (7)-식 (6)
10	11.66	14.58	2.92
20	8.75	14.58	5.83
30	5.83	14.58	8.75
40	2.92	14.58	11.66
50	0	14.58	14.58

1) 표 1과 2에서의 t_{TOF} 값은 ISRAEL, 120mm HEAT MP-T CL3105 탄의 사표를 기준으로 함.

[표 2] 사거리 변화에 따른 탄도해 리드값

표적속도: 50km/h					
자차 속도 (km/h)	사거리 (m)	t_{TOF} (sec)	점선방향 식 (6) 리드값 (mrad/sec)	실선방향 식 (7) 리드값 (mrad/sec)	오차 식 (7) -식 (6)
10	1200	1.29	11.94	14.93	2.99
	1400	1.55	12.30	15.38	3.08
	1600	1.83	12.71	15.89	3.18
	1800	2.12	13.09	16.36	3.27
	2000	2.43	13.50	16.88	3.38
40	1200	1.29	2.99	14.93	11.94
	1400	1.55	3.08	15.38	12.30
	1600	1.83	3.18	15.89	12.71
	1800	2.12	3.27	16.36	13.09
	2000	2.43	3.38	16.88	13.50

표 2는 자차속도가 각각 10, 40km/h 일 때 전투사거리별 점선과 실선 방향의 탄도계산 리드값과 그 오차이다. 사거리가 증가할수록 그리고 차량 속도가 증가할수록 식 (6)과 (7)에 따른 탄도해 리드 오차는 커지며 그 영향력은 자차속도 변화에 훨씬 민감함을 알 수 있다. 이 오차요소가 사격의 정확도를 저해하는 것이며 이를 줄이기 위해 식 (7)을 적용하여 사격 통제시스템을 설계한다. 또한 탄도계산의 리드값은 표적의 속도와 사거리가 변하지 않는 조건에서 자차의 속도와 관계없이 일정해야 하는데 표 1과 2를 보면 식 (7)과 같이 계산 했을 때 일정함을 알 수 있다.

라. 추적 조건별 제어신호

다음 표 3은 사격통제시스템이 정상모드일 때 영상추적 및 추적보조 적용에 따른 조준경 선회 속도명령 및 탄도해 리드 계산시 적용되는 신호이다. 표 3의 1에서 기술된 AVT는 Automatic Video Tracking의 약자이며 ω_{AVT_Az} 는 영상추적에 의해 계산된 선회방향 각속도 제어신호를 의미한다. 영상 해석 및 처리

[표 3] 추적 기법에 따른 제어 신호의 조준경 및 탄도해 리드 적용

추적 조건별 조준경 선회 속도명령 및 탄도 리드계산	
1. 영상추적 중 (추적보조 수행)	
ω_{S_Az}	ω_{AVT_Az}
lead	$(\omega_{AVT_Az} - \omega_{TA}) \times t_{TOF} \times \cos(\theta_{roll})$
2. 수동추적 중 (추적보조 수행)	
ω_{S_Az}	$\omega_{H_Az_RU} + \omega_{TA}$
lead	$\omega_{H_Az_RU} \times t_{TOF} \times \cos(\theta_{roll})$
3. 수동추적 중 (추적보조 미수행)	
ω_{S_Az}	$\omega_{H_Az_RU}$
lead	$\omega_{H_Az_RU} \times t_{TOF} \times \cos(\theta_{roll})$

를 통하여 표적의 위치, 속도등의 상태를 추정하는 영상추적 방법은 추적보조에 의한 제어 신호를 조준경에 적용하지 않아도 자차의 움직임을 보상한다. 따라서 영상추적 중에는 자차가 기동하더라도 표 3의 1과 같이 조준경 각속도 제어신호(ω_{S_Az})에 추적보조 신호를 더하지 않는다. 또한 수동추적시의 운전자 핸들신호는 좌우경사 보정법이 적용된 신호로 기술한다.

3장에서 기술한 내용을 표 3을 참고하여 요약하면 사격통제컴퓨터는 영상추적 및 추적보조 기능을 사용하는 모드에서 전투차량의 속도에 맞는 추적보조 값을 항상 계산하여 조준경 구동시에는 추적보조 값을 적용하고 탄도해 리드 계산에는 비적용 하는 원칙을 지켜야지만 올바른 시스템 제어를 수행할 수 있다.

4. 결론

현대전으로 접어들면서 전장 환경의 다변화, 복잡화로 인해 사격통제장치의 자동화 및 능동화가 요구되고 있으며 그 중에서도 전투차량의 궁극의 목표인

사격 명중률을 향상시키기 위해 자동화된 추적 기능의 요구가 증대되고 있다. 본 논문에서는 원거리 및 회피기동을 하는 표적에 대한 사격 정확도 증대를 위한 새로운 탄도해 리드 계산 기법을 제안하고 추적 요소에 의해 생성된 제어신호의 사격통제시스템 적용법에 대해 기술하였다.

전투차량의 사격통제컴퓨터는 추적 기능을 위해 전용 프로세싱 보드를 가지는 영상추적을 비롯하여 차량의 이동속도를 보상한 추적보조, 그리고 좌우경사 보정법까지 다양한 추적 기법을 적용하고 있으며 이런 추적 보상 기법에 의해 생성된 제어신호를 사격통제시스템에 적용하여 조준경 및 포구동장치를 제어하고 표적을 추적한다. 또한 추적 기법을 사용하는 제어모드에서 탄도해 리드 계산시 추적보조 신호를 적용하지 않음으로써 사격 정확도를 유지할 수 있다. 본 논문에서 소개한 추적 보상 기법들과 제안한 탄도해 리드 계산 기법은 표적 추적을 필요로 하는 기타 무기체계의 사격통제시스템 설계에 도움을 줄 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 박준성, 김도중, “차기전차 사격제어 설계”, GSDC-515-040825, 국방과학연구소, 2004.
- [2] 박준성, 전영미, 김도중, “흑표 사격통제 상세설계 및 구현”, GSDC-519-061139, 국방과학연구소, 2006.
- [3] 김지은, 이부환, 강윤식, “적응적인 기준영상 갱신 기법을 이용한 가변 표적의 실시간 추적”, 지상무기체계발전세미나 제14회, 2006.
- [4] 이부환, 김도중, “자동추적장치의 실시간 구현에 관한 연구”, GSDC-409-010235, 국방과학연구소, 2001.
- [5] 양동원, 박준성, 김도중, “차기전차용 탄도 알고리즘 개발을 위한 K1A1 알고리즘 및 기존질점 해석 알고리즘 비교에 관한 연구”, 지상무기체계발전세미나 제12회, 2004.
- [6] 장신곤, “전투차량 직사화기 탄도계산 기법 연구”, GSDC-514-020692, 국방과학연구소, 2002.