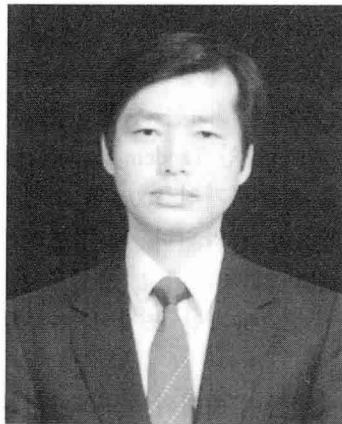


특별기고 · 탄도연구

火炮분야의 彈道연구 현황

● 李元栢 / 국방과학연구소 책임연구원



현대의 화력체계 개발은 포구속도 및 사거리가 더욱 증대된 급속사격이 가능한 새로운 개념의 화포를 필요로 하고 있다. 이러한 화포개발은 독자모델의 설계개발일수 밖에 없으며, 총포설계의 핵심인 강내외 탄도분야 연구가 필수적이 된다. 그동안 국과연에서도 탄도연구를 관심있게 다루어 왔으나 선진국 수준에는 아직 미흡한 실정이며, 아직도 탄도분야가 많은 부분을 실험에 의존해야 하는 까닭에 탄도실험실과 같은 연구시설 구비와 지속적인 연구개발 노력이 절실히 요구되고 있다

총·포/탄 체계(이하 화력체계라 한다) 개발에 있어서 탄도 연구는 기본적으로 필수적이며, 탄도의 독자성은 곧 체계의 독자모델을 의미한다. 왜냐하면 군 요구(ROC) 사항중의 가장 중요한 것은 원하는 사거리에서의 살상/파괴 효과로서, 탄도는 탄이 발사되어 목표점에 도달하여 일으키는 현상까지의 전과정을 연구대상으로 하며, 탄도가 상이한 화력체계는 곧 상이한 화력체계를 의미하기 때문이다.

탄도연구 분야

원하는 사거리에서의 표적파괴(종말탄도효과) 요구조건으로 부터 가장 정확하게 짧은 비과시간동안 안정되게 탄을 비행시킬수 있는 강외탄도설계를 하고, 이에 필요한 출발탄도조건(포구속도등)이 결정되면, 이를 받아 강내탄도분야에서 이를 충족시키는 범위내에서 가능한한 효과적인(약실압력이 낮고 포신은 짧으면서 포구속도가 균일한) 강내탄도를 설계하게 된다.

분 류	연구대상	연구내용
강내 탄도 (Interior Bal.)	탄이 포강내에서 이동하면서 일어나는 현상	<ul style="list-style-type: none"> 장약의 점화, 연소현상 압력 생성, 전파 탄의 운동역학(강내탄도 계산) 탄의 포강과의 상호작용
천이 탄도 (Transient Bal.)	탄이 포구를 떠난 직후 포구주위에서 일어나는 현상	<ul style="list-style-type: none"> 포구(제퇴기) 주위의 개스유동 포구 직전방에서의 탄 안정성 이탈피 분리
강외 탄도 (Exterior Bal.)	천이영역 이후부터 탄착점까지의 비행과정	<ul style="list-style-type: none"> 비행탄 주위 유동/공력해석 비행 안정성 해석 강외탄도 계산
종말 탄도 (Terminal Bal.)	탄이 목표점에 일으키는 살상/파괴 현상	<ul style="list-style-type: none"> 살상/파괴 현상 및 효과분석

이 과정에서 항상 장단점이 존재하게 되며, 체계개발자는 최종목표와 현실여건을 종합적으로 판단하여 선택결정(Trade-Off)을 하게 된다. 강내외 탄도연구는 이러한 선택결정을 효과적으로 할수 있도록 강내외 탄도현상을 연구하며, 탄도계산 모델을 개발하고 실험으로 검증 또는 자료기반을 구축하는 일이라 할수 있다.

미국의 경우 美 육군 탄도연구소(BRL : US Army Ballistic Research Lab.)라는 탄도전문연구소가 있고, 이밖에 또 공군의 AFATL(Air Force Armament Lab.), 해군의 NSWC(Naval Surface Weapons Center)에서도 독자적으로 탄도연구를 하고 있으며, 세계적으로 볼때 화력체계를 개발하는 곳에서는 반드시 탄도연구를 하고 있다.

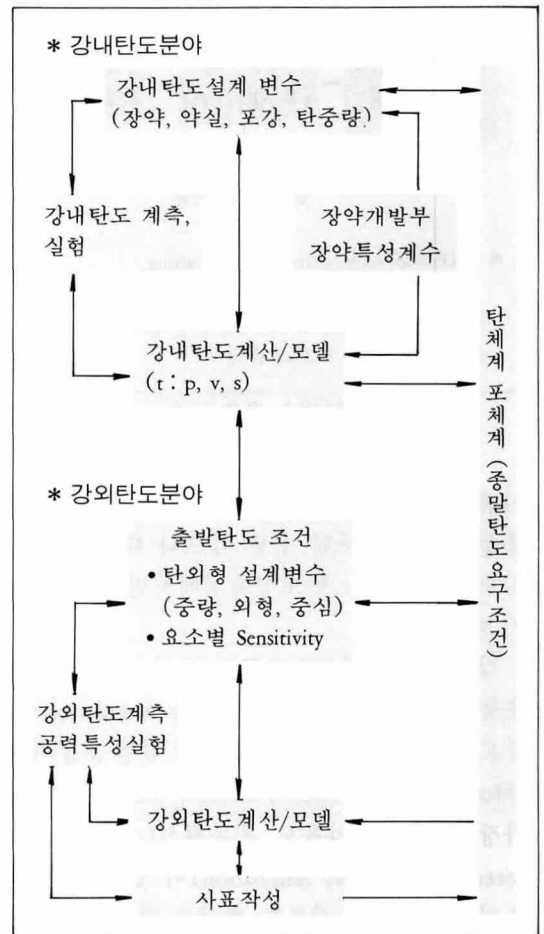
강외탄도 계산

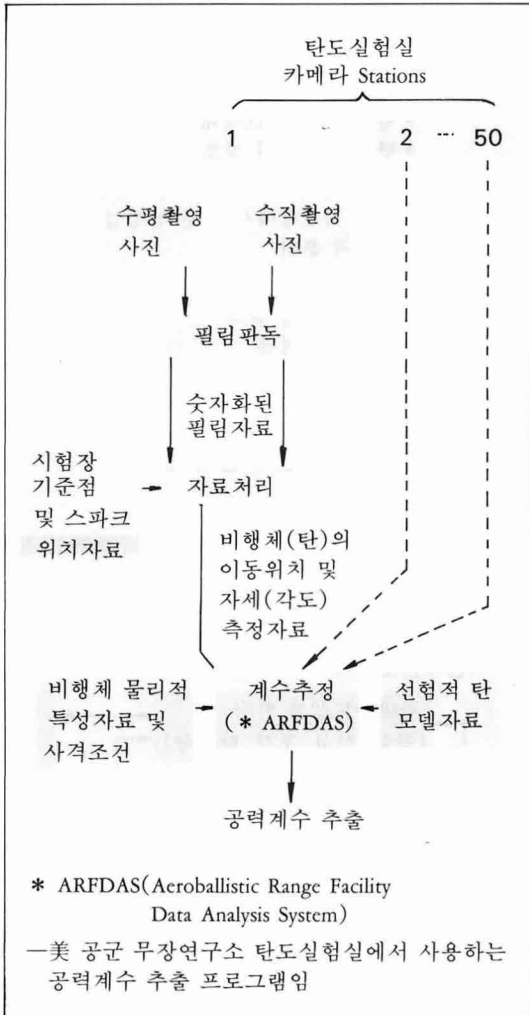
강내·외 종말 탄도 모두 중요한 분야이겠으나 그 가운데서도 강외탄도는 원하는 탄을 목표지점까지 안정되고 정확히 최단시간에 비행시키도록 하는 연구로서, 이론연구뿐만 아니라 (강외)탄도실험실(Aeroballistic Range)을 갖추는 것이 필요하다.

왜냐하면 현재 탄도계산에 사용되고 있는 탄도방정식은 일종의 실험식이며, 이 방정식에

탄도연구 분야 ▲

강내외 탄도 연구 흐름도





공력계수 추출 과정

사용되는 각종 탄도계수 및 공력계수는 일부 풍동실험으로 구할 수도 있으나 대부분의 정확한 공력계수는 탄도시험실에서만 구할수 있기 때문이다.

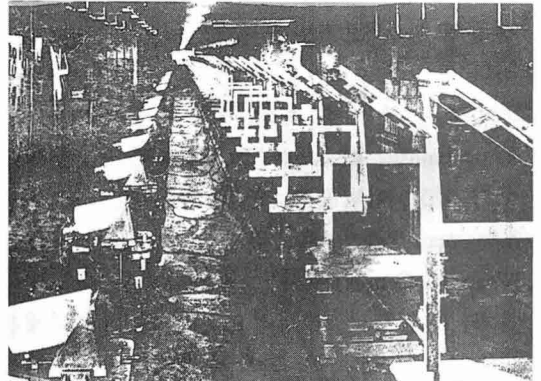
강외탄도 계산방식으로는 가장 간단한 질점 운동해석(Point Mass Trajectory Simulation)과 주로 사표작성에 사용되는 수정 질점 운동해석(Modified Point Mass Trajectory Simulation) 및 가장 완전한 6 자유도 운동해석(6 Degree of Freedom Trajectory Simulation)이 있으며, 개발 초기에는 모두 6 자유도 해석을 하게 된다.

탄도시험실

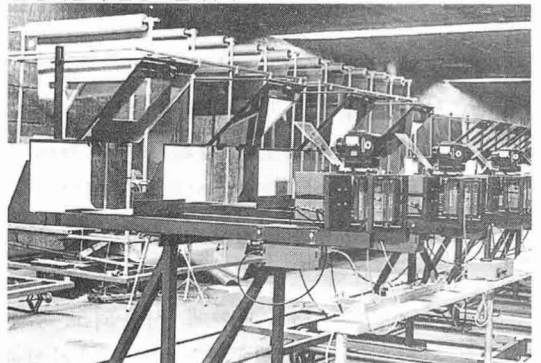
탄도시험실이란 차광 및 공기조화($21 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도 50% 이하)된 약 2백m의 터널에 비행체(탄)를 자유비행시켜, 약 40~50개소에서 직교 방향으로 비행자세를 촬영하고, 비행시간을 측정하여 이를 분석함으로써 비행특성을 해석할 수 있는 연구시설이다. 여기서 말하는 탄도시험실은 단순히 총/탄의 기능시험 또는 수탁시험을 수행하는 실내사격장과는 전혀 다르다.

탄도시험실의 촬영사격장(Spark Shadowgraphic Range)에 차광이 필요한 이유는 고속비행체를 촬영하기 위해 카메라 셔터가 열린 상태

美 육군 탄도연구소의 소구경 탄도 시험실 내부 왼쪽에 IR 스크린 및 스파크가 있고 오른쪽에 반사경이 부착된 프레임이 있어서 여기에 직접 필름을 장착하여 촬영한다. 카메라가 필요없는 Direct Shadowgraph 방식이다 ▼



독일 MEPPEN 시험장의 소구경 탄도 시험실 내부 카메라를 사용하는 Indirect Shadowgraph 방식으로 시험을 능률적으로 할수 있고 필름비용이 절감되지만 촬영사진의 선명도는 낮다 ▼



세계의 탄도실험실

탄도실험 시설명		규격				비고
		길이 (m)	직경 (m)	Gun (mm)	Station (개)	
미 국	* US Army Ballistic Research Lab.(BRL)					
	• Free Flight Aerodynamics Range	87	—	3.2-37	45	1949년 완공
	• Transonic Free Flight Range	230	3.2	203	25	1954년 완공
	* US Air Force Armament Lab.(AFATL)					
	• Aeroballistic Research Facility	207	2.13	20-355	44	1976년 완공
	* US Naval Ordnance Lab.(NOL)					
	• 1000ft Hydroballistics Range	305	3	50-100	37	
	• Pressurized Range	87	1	13-400	32	
	• Aerophysics Range	100	12	9	가변	
	• Shock Interaction	26	1	40	6	
	* Arnold Engineering Development Center (ARDC)					
	• VKF 1000ft Hydrovelocity Range	305	3	63	43	
	• VKF Counterflow Range	2	0.5	13	3	
	* NASA-Ames					
• Aerodynamic Facility	25	1	7-38	16		
• Radiation Facility	8	1	7-38	4		
* MIT						
• Range A	30	0.3-1.5	20	5		
* General Motors Co.						
• Defense Research Lab.						
• Aerophysics Range B	55	0.6-2.5	20	5		
캐나다	* Canadian Armament Research and Development Establishment					
	• CARDE Range NO. 5	120	3	—	가변	1970년대 후반 230미터 대구경 사거리 건물 건설. 현재는 소구경 계측장비만 가동
북 부	* Royal Armament Research and Development Establishment					
	• RARDE Pressure Range	22	0.6	6	16	현재는 폐쇄하였음
프 랑 스	* Laboratoire de Recherches Ballistiques et Aerodynamiques					
	• LRBA Tunnel Hyperballistique	75	1.2	—	12	
	* Institut Franco-Allemand de Recherches de Saint-Louis					
	• ISL Aeroballistic	8.5	2	20	13	
독 일	* MEPPEN Proving Ground	200	—	20	40	1970년 200m 및 600m 사거리 건물 완공. 200m 사거리에만 소구경 계측장비 설치. 600m 건물에는 현재 장비 설치중
중 화 민 국	* Chung Shan Institute of Science and Technology (CSIST)	176		100	35	1975년 완공
일 본	* Technical Research and Development Institute (TRDI)	300	1.5	155	—	1990년 완공예정

에서 스파크로 촬영하기 때문이며, 실험대기 조건을 표준상태로 하고 기준점 시스템을 정확히 유지시키기 위해 공기조화가 필요하다.

탄도실험실에서 촬영한 사진(실제로는 스크린에 비친 비행탄의 그림자를 촬영함)을 분석하면 비행과정(Flight History) 즉, 비행시간(t), 위치 및 중심축 각도를 알수 있으며, 이를 자료처리 프로그램(ARFDAS)에 입력시켜 공력계수를 구한다.

탄도실험실은 강외탄도연구를 하기 위한 기본적인 시설로서 다음과 같은 기능을 가진다.

□ 비행특성 연구시설로서의 기능

- 기존탄의 공력 해석 : 이미 개발되어 규격화된 탄이라 하더라도 탄도실험을 하여 기존의 자료와 비교검토, 자료축적
- 개발중인 탄의 공력 해석 : 개발사업중인 탄에 대한 탄도실험을 하여 최적탄 설계에 기여함

- 공력계수 추출 : 탄도계산(사표작성)에 필요한 자료 제공

- 비행탄 주위의 유동현상 가시화가 가능하므로 이론연구결과 확인

□ 실내사격장으로서의 기능

- 발사역학연구 : 사격간 화기 각 부분에 작용되는 힘과 운동해석
- 정확도/분산도에 미치는 요소별 영향분석

美 공군 무장연구소의 중구경 탄도실험실 전경
길게 보이는 것의 207m Range이며, 이외 사격장도 보인다



美 육군 탄도연구소의 대구경 탄도실험실 전경
사격은 건물외부에서 실시하고
전차, 8인치 곡사포까지 사격이 가능하다

- Flash X-ray, 고속카메라등을 이용하여 천이탄도(이탈피 분리등) 연구

- 강내탄도계측장치를 보강하여 강내탄도 연구

- 소화기의 기능시험

- 소구경탄의 방탄시험장으로 활용

이러한 탄도실험실은 1949년 미국 BRL에서 처음 소구경 탄도실험실을 건설한 이래 세계적으로 화력체계를 독자적으로 연구하는 나라들은 모두 갖추고 있다.

최근 일본은 방위청(JDA : Japan Defense Agency) 산하 기술연구소(TRDI : Technical Research and Development Institute)에서 막대한 연구시설 투자를 하고 있으며, 155mm 화포까지 사격할수 있는 탄도실험실을 건설중에 있다.

탄도시험장협회

(Aeroballistic Range Association)

이러한 탄도연구를 효과적으로 수행하기 위해서는 세계적으로 같은 분야에 연구하는 사람들끼리 기술정보를 교환할 필요성이 생기게 된다.

이러한 목적의 모임으로서는 미국방위준비협회(ADPA : American Defense Preparedness

Association)에서 격년으로 주최하는 국제 탄도 심포지움(International Symposium on Ballistics)이 있으며, 이외에도 수시로 열리는 각종 단기 교육 강좌가 있다. 제11회 국제탄도 심포지움은 '89년 5월 벨기에 브뤼셀에서 열린바 있다.

또 다른 모임으로는 탄도 시험장 협회(ARA : Aeroballistic Range Association)로서 회원만 총회에 참석할수 있으며, 매년 1편 이상의 연구발표를 회원의 의무사항으로 하고 있다. 국방과학연구소에서는 제38차 총회때 가입하였으며, 현재 12개국 56개 연구기관이 가입되어 있는 국제적인 기구이다.

제39차 ARA 총회는 Sandia National Lab.과 Los Alamos National Lab. 공동 주최로 미국 뉴멕시코주의 Albuquerque에서 개최되었으며, 국과연에서는 「국과연의 탄도시험장과 검사조정방법(The Proposed ADD Free-Flight Ballistic Range and Calibration Procedure)」를 발표하였다.

제40차 ARA 총회는 '89년 9월 프랑스 파리에서 프랑스 원자력연구소(CEA : Commissariat a L'Energie Atomique) 주최로 개최되었으며,

탄도시험장 협회(ARA) 회원기관

국가명	연구 기관
미 국	AEDC, AFATL, ALCOA, ASTRON, ATI, ATS, BMA, BRL, DI, GE, GRC, GTD, HDL, HOPG, JSC, KTECH, LANL, LLNL, LSU, LTV, MAXWELL, NASA, NRL, NSWC, OTI, PAI, SNLA, SRI, SWRI, TERA, UDRI, USAML, UT, UW, WEST
프 랑 스	CEA, CEG, ISL
대 만	CSIST
캐 나 다	DREV
독 일	EMI, MEPPEN, TUM
일 본	IHHI, JSW, OU, SMW, TIT, JDA
이스라엘	RAFAEL
네덜란드	PML
영 국	RARDE
덴 마 크	TERMA
호 주	WSRL
한 국	ADD

국과연에서는 필자가 참석하여 「50mm 고체 추진장약 시험장비(50mm Solid Propellant Launcher System)」에 대하여 발표하였다.

맺는말

이제까지 탄도연구의 분야와 탄도연구가 어떻게 무기체계 요구조건을 만족시키기 위해 기여하게 되는가를 설명하였으며, 그중에서도 중요한 강외탄도분야의 외국시설현황을 소개하였다.

돌이켜보면 2차 대전후 한때나마 앞으로의 전쟁은 유도탄이나 핵폭탄에 의해 좌우될 것으로 판단되어 총포개발의 일시적인 정체현상이 있었으나, 그후 계속되는 국지전쟁을 거치면서 재래식 화기에 대한 인식을 새로이 하게 되어 새로운 과학기술이 응용된 화력체계개발이 꾸준히 이어져 내려오고 있으며, 이는 앞으로 계속될 전망이다.

특히 현대의 화력체계 개발은 포구속도 및 사거리가 더욱 증대된 급속사격이 가능한 새로운 개념의 화포를 필요로 하고 있다. 이러한 화포개발은 독자모델의 설계개발일수 밖에 없으며 총포설계의 핵심인 강내외탄도분야 연구가 필수적이 된다.

그동안 국과연에서도 탄도연구를 관심있게 다루어 왔으나 선진국 수준에는 아직 미흡한 실정이며, 아직도 탄도분야가 많은 부분을 실험에 의존해야 하는 까닭에 특히 탄도실험실과 같은 연구시설을 갖추고 지속적인 연구개발 노력이 필요함을 절실히 느낀다. *

참 고 자 료

- ▲ 「강내외 탄도연구 (1)」, 국과연 기술보고서, AMSD-219-88101(C)
- ▲ ARA Proceedings, 38, 39, 40th meeting
- ▲ ADPA 주최 국제탄도 심포지움 Proceedings, 10, 11차 심포지움