

天字銃筒에서 쏜 大將軍箭의 彈道와 龜船에 있어서의 有效射距離의 推定

朴 惠 一

서울대 原子核工學科

李 裕 燦

오하이오州立大 測地學科

Estimation of Trajectories for the Large General-Arrow Fired from the Early Korean Gun-Barrel "CH'ŎN-JA-CH'ONG-T'ONG" and the Effective Gun Range from the Turtle-Boat

BAK Hae-iLL

Department of Nuclear Engineering

Seoul National University

YI Yu-Chan

Department of Geodetic Science

Ohio State University

ABSTRACT

The gun-barrel CH'ŎN-JA-CH'ONG-T'ONG was the largest cannon in a series of the barrel type fire-arms used from the earliest period of the Chosŏn dynasty era. Specifications, including the ranges of the iron cannon ball and Large General-Arrow fired from the gun-barrel, are found in old documents and the ranges of the Large General-Arrow specified in the weapons manual *Yungwŏn P'ilbi*(1813) correspond to the distances of 1,134 m and 1,512 m after unit conversion. In the present report, the trajectories of the Large General-Arrow fired from CH'ŎN-JA-CH'ONG-T'ONG have been evaluated for each gun elevation by use of the computer code "Projectile Design and Analysis System". The 32-kg Large General-Arrow with the full length of 2.77 m and the diameter of 12 cm was assumed to be fired with 1.16 kg

* 1989년 6월 4일 접수; 1989년 11월 18일 게재 결정.

gunpowder. The calculation for the maximum range yields 786 m at 44° elevation. Calculated trajectories for each elevation are graphically represented and also tabulated to show the flight data. Then, the effective gun range, i.e., the point blank shot, is estimated to be about 70 m which seems quite perceptible in the context of the successful outcomes at sea battles demonstrated by Admiral Yi Sun-Sin's iron-clad turtle-boats in 1592.

I. 序 論

朝鮮 초기 火砲의 구조 및 火藥의 제조기술이 향상되면서 世宗 중기부터는 중국기술의 모방에서 탈피하는 한편, 天字銃筒·地字銃筒·玄字銃筒·黃字銃筒 등의 각종 筒型火器의 실용성이 연구와 사격기술의 숙련을 통하여 크게 개발, 정착되었다. 世宗 27(1445)년에는 射程距離(彈着點까지의 수평 거리)도 크게 개량되어 화살(大箭)의 경우, 天字砲는 1,300餘步(1,638 m), 地字砲는 800~900步(1,008~1,134 m), 黃字砲는 800步(1,008 m)에 각각 미치는 것으로 기록하고 있다. 이와 같은 일련의 銃筒火器는 世宗, 文宗期를 거쳐 朝鮮時代의 전통적인 공격화기로 등장하여, 그 기술이 朝鮮後期에 이르기까지 훌륭히 계승되었다.¹⁾

그러나 위에 인용한 射程距離의 환산 값(팔호 값)은 周尺 1尺≒21cm, 그리고 1步=周尺 6尺≒1.26 m로 환산한 거리인데, 그것이 최대사정거리라 하더라도 매우 큰 값으로 느껴지는 것이 사실이다. 「步」와 「里」에 대한 거리환산에도 의문이 제기되어야 할 것 같다.

이들 朝鮮時代의 전형적인 火砲의 규격과 성능은 純祖 13(1813)년 朴宗慶에 의하여 편집, 간행된 「戎垣必備」에 잘 나타나 있다. 朝鮮 전반기에 제조된 銃筒들도 「戎垣必備」의 규격과 거의 동일한 것으로도 그것을 알 수 있다. 「戎垣必備」의 天字銃筒과 天字銃筒에서 발사되는 大將軍箭에 대한 圖說을 그림 1에 옮겼고, 參考로 各字 銃筒의 규격과 射程距離를 표 1 및 표 2에 요약하였다.

표 2에서 보는 바와 같이 天字銃筒에서 쏜 大將軍箭의 射程距離는 1,200步(1,512 m), 地字銃筒의 將軍箭의 경우는 2,000餘步(2,520 m)로 되어 있다.

Table 1. Specifications of the Korean Gun-Barrels (from *Yungwŏn P'ilbi*).

銃筒 Gun-Barrel	口徑 Calibre	全長 Length	重 量 Weight	火藥 Powder	發射物 Projectile
天字銃筒 CH'ŎN-JA Cannon	5寸6分 (11.8 cm)	6尺6寸3分 (139 cm)	1,209斤 (725 kg)	30兩 (1.125 kg)	大將軍箭 Large General-Arrow 水鐵鉛衣丸 Lead-Coated Iron Ball
地字銃筒 JI-JA Cannon	5寸 (10.5cm)	5尺6寸7分 (119 cm)	724斤 (434 kg)	20兩 (0.75 kg)	將軍箭 General-Arrow 水鐵鉛衣丸 Lead-Coated Iron Ball
玄字銃筒 HYŎN-JA Cannon	2寸9分 (6.09 cm)	4尺1分 (84.2 cm)	155斤 (93 kg)	4兩 (0.15 kg)	次大箭丸 (鉛鐵鑄成)
黃字銃筒 HWANG-JA Cannon	2寸2分 (4.6cm)	3尺6寸4分 (76.4 cm)	130斤 (78 kg)	3兩 (0.11 kg)	皮翎箭丸 (鉛鐵鑄成)

※ 周尺 1尺≒21 cm, 1斤=16兩≒600 g.

1) 全相運, 「韓國科學技術史」, 正音社 1984; 李康七, 「韓國의 火砲」, 1977; 蔡連錫, 「韓國初期火器研究」, 一志社, 1981.

Table 2. Specifications of the Projectiles for the Korean Gun-Barrels (from *Yungwŏn P'ilbi*).

銃筒 Gun-Barrel	箭 Arrow			砲丸 Cannon Ball		
	全長 Length	重量 Weight	射程 Range	直徑 Diameter	重量 Weight	射程 Range
天字銃筒 CH-ŌN-JA Cannon	大將軍箭 11尺9寸 (250 cm)	50斤 (30 kg)	1,200步 (1,512 m)	3寸6分 (7.56 cm)	13斤 (7.8 kg)	10餘里 (4 km)
地字銃筒 JI-JA Cannon	將軍箭 9尺2寸3分 (194 cm)	33斤 (19.8 kg)	2,000步 (2,520 m)	2寸9分 (6.09 cm)	8斤 (4.8 kg)	10餘里 (4 km)
玄字銃筒 HYŌN-JA Cannon	次大箭 6尺3寸7分 (134 cm)	7斤 (4.2 kg)	2,000步 (2,520 m)	1寸7分 (3.57 cm)	1斤13兩 (1.09 kg)	10餘里 (4 km)
黃字銃筒 HWANG-JA Cannon	皮翎箭 6尺3寸 (132 cm)	3斤8兩 (2.1 kg)	1,100步 (1,386 m)	1寸3分 (2.73 cm)	13兩 (0.49 kg)	10餘里 (4 km)

※ 箭의 사정거리에 대하여 「天字銃筒」條에는 1,200步, 「大將軍箭」條에는 900步, 「地字銃筒」條에는 800步, 「將軍箭」條에는 2,000餘步로 되어 있다.

壬辰倭亂 당시 朝鮮水軍은, 특히 李舜臣의 거북선은 각종 총통화기를 가장 성공적으로 구사하여 잇따른 海戰에서 큰 전과를 거두었다. 그런데 唐浦海戰에 출전하였을 때의 전과보고에서 李舜臣은 『……泗川 선창을 바라보니 산이 둘러 7,8리나 뻗었는데 형세 험준한 곳에 왜적들 무려 400여명이 뱃꼬리처럼 진을 치고, ……그리고 누각 같이 생긴 倭船 12隻이 언덕 아래 대여 있고……。 우리 배들이 일제히 그 밑으로 진격하여 활을 쏘고 싶었으나 화살의 힘이 미치지 못하겠고(欲爲發射 則矢力未及), 또 적의 배를 불태우고 싶었으나 벌써 셸물이라 板屋船 큰 배가 쉽게 돌진할 수 없을 뿐더러……。』²⁾라고 쓰고 있다. 위의 기록내용으로 보아 조선함대는 泗川 船塢에 1km 이내로 접근해 있었던 상황으로 짐작된다. 그러나 射角이 10° 내외의 準水平射擊으로 敵船들을 위협하기에는 射程距離가 충분하지 않았던 것이 아닐까 한다. 李舜臣은 1리(400 m) 정도 위장 후퇴하였다가 저녁 밀물을 기다려, 먼저 거북선을 돌입시킨 것으로 기록하고 있다.

射程距離(range)의 개량과 함께, 소위 有效射距離(effective gun range)를 평가하는 작업은 특히 測距器가 없었던 16~19世紀의 海戰의 경우, 승패를 결정하는 가장 본질적인 과제가 아닐 수 없었다.³⁾ 火砲에 의하여 큰 화살(箭)을 발사하는 한국 특유의 공격형식도 바로 그러한 實戰上的 효과에서 평가되는 것이다. 본 論文에서는 銃筒火器中 그 크기와 火力이 으뜸가는 天字銃筒을 택하여, 그것에서 發射된 大將軍箭의 彈道를 General Electric社에서 개발된 전산 프로그램 PRODAS-81(Projectile Design and Analysis System)을 써서 계산하였다. 그리고 計算된 彈道資料를 가지고 龜船에 있어서의 有效射距離에 관하여 살펴 보았다.

II. 天字銃筒과 大將軍箭에 대한 資料

本稿에서는 단순히 火藥의 使用量에 따르는 發射物의 砲口速度(muzzle velocity)를 推定함으로써 大將軍箭의 彈道를 계산하는 것이 目的이므로 天字砲의 구조만을 간단히 살펴 본다. 근년에 발간된 朝鮮時代 火器의 遺物에 관한 圖鑑과 「戎垣必備」에 따르면, 구조와 규격이 일정하지는 않으나, 天字銃筒의 口徑은 대략 11.5~13 cm, 檣木部位까지의 筒長은 90~100 cm, 全長은 120~140 cm, 그리

2) 李舜臣, 「唐浦破倭兵狀」, 宣祖 25年 壬辰(1592) 6月 14日(狀啓草本).

3) P. Padfield, "Guns at Sea", Hugh Evelyn London, 1973.

고 무게는 300~400 kg(「戎垣必備」에는 725 kg) 정도로 되어 있다. 참고로 우리나라에 현존하는 가장 오래된 「嘉靖乙卯」銘 天字銃筒(1555)과 顯忠祠所藏의 「己酉」銘 天字銃筒(1609?)의 圖說(그림 2)에 전제하였다.⁴⁾

天字砲의 火藥의 사용량은 「戎垣必備」에 30 兩(1.125 kg)으로 되어 있으나, 현충사 소장의 天字銃筒의 銘文에는 31 兩으로 표시되어 있어, 砲口速度의 推定에는 장약량으로 31 兩(1.163 kg)의 값을 사용하였다.

大將軍箭에 관하여는 「戎垣必備」와 1934 년의 J. L. Boots 의 報告內容⁵⁾을 참작하였다. 「戎垣必備」의 圖說(그림 1)에 따르면 箭의 全長이 250 cm, 무게가 30 kg(50 斤)이고, Boots 가 遺物의 사진으로 제시한 箭은 全長이 9 feet 1 inch, 즉 276.9 cm 의 것이다(그림 3 참조). 여기서는 이 遺物의 사진에 근거하여 復元한 大將軍箭의 구조를 彈道計算에 사용하였다. 그림 4 는 그 復元圖이며, 鐵의 비중을 7.86, 나무의 비중을 0.6 으로 하였을 때 箭의 무게는 31.6 kg 으로 추정된다.

Ⅲ. 大將軍箭의 彈道計算

1. 砲口速度의 推定

藥室 內에서 推進劑가 燃燒되어 質量 m 인 發射體가 砲口를 이탈할 때, 그 이탈속도 V 는 에너지 保存則을 적용함으로써 간편하게 推定될 수 있다. 즉 연소기체에서 生成된 熱에너지를 發射體의 運動에너지와 연소기체의 확산에너지, 重力場에서의 位置에너지, 그리고 기타 열손실 및 기체누출을 포함한 消耗에너지 등의 합이라고 보아 이를 단순화하면 다음 式으로 表示할 수 있다.⁶⁾

$$\epsilon \cdot \frac{CF}{\gamma - 1} = \frac{1}{2} m V^2 \quad (1)$$

여기서 ϵ 은 熱力學的 效率係數, $CF/(\gamma - 1)$ 은 推進劑의 에너지를 나타내며, C 는 推進劑의 무게, γ 는 比熱比 C_p/C_v 로서 黑色火藥에 대한 實驗値는 1.25 이다. 熱力學的 效率係數 ϵ 의 값은 航空機의 非常이탈장치 등과 같이 火藥이 사용되는 각종 장치들의 경우, 0.095 정도이다. F 는 推進劑의 推進力(impetus)으로서 黑色火藥의 경우 $286.756 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ 이다. 매우 단순화된 公式이나 (1)式을 이용하여 대략적인 大將軍箭의 砲口速度를 추정하였다. 天字銃筒의 裝藥量을 1.163 kg(31 兩), 大將軍箭의 무게를 31.6 kg 으로 하였을 때의 砲口速度는 89.6 m/s 가 된다. 入力은 90 m/s 로 하였다.

2. 運動方程式에 대한 概要

箭은 剛體로 보아야 하므로 그 並進運動과 回轉運動을 自由度가 6 인 運動方程式으로 記述하게 된다. 空氣力學的 現象은 發射體(彈子)의 空氣에 대한 相對運動에서 발생하므로 慣性座標系보다도 彈子에 固定된 運動座標系로 回轉 變換된 運動方程式을 사용한다. 그리고 彈子の 靜力學的 安定度を 분석함으로써 彈子の 飛行姿勢(箭軸의 反음角)를 고찰할 수 있다. 壓力 및 剪切(shear) 등으로 發射體表面에 作用하는 힘은 積分되어 壓力中心에 作用하는 「空氣力學的 等價力」으로 대치된다. 또한

4) 趙仁福, 「韓國古火器圖鑑」, 文化財管理局 編, 大韓公論社, 1975; 李康七, 같은 책.

5) John L. Boots, "Korean Weapons and Armor," *Transactions of the Korea Branch of the Royal Asiatic Society*, Vol. XXIII. Part II., 1934.

6) "Propellant Actuated Devices" in *Engineering Design Handbook*, AMC Pamphlet 706-270, 1963.

이 空氣力學的 힘은 抗力(drag force) 및 揚力(lift force) 등으로 분해되는 힘으로서, 무게중심에 대한 回轉力으로 作用하게 된다. 이 回轉力도 받음角, 速度, 스핀率 등의 函數이다. 그림 5는 安定板(fin)이 달린 箭의 偏向運動(yawing motion)을 $X-Z$ 平面에 한정된 현상으로 단순화하여 그린 것이다. 따라서 俯仰운동(pitching motion)만을 고찰한다. 抗力, 揚力 및 回轉力の 크기를 각각 D , L 및 M , 그리고 箭軸이 速度벡터와 이루는 角度를 θ_m , $X-Z$ 平面에서의 무게중심에 대한 慣性能率(transverse moment of inertia)을 I_t , 速度벡터와 X -軸이 이루는 角度를 θ 라고 하면 運動方程式은 다음과 같이 된다.

$$m\ddot{X} = -L \sin \theta - D \cos \theta \quad (2)$$

$$m\ddot{Z} = L \cos \theta - D \sin \theta - mg \quad (3)$$

$$I_t \ddot{\theta}_m = M \quad (4)$$

여기서 揚力, 抗力 및 回轉力은 空氣力學係數 C_L , C_D 및 C_M 을 쓰면 다음의 관계식으로 표현된다.

$$L = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (5)$$

$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 A \quad (6)$$

$$M = C_M \cdot \frac{1}{2} \rho V^2 A d \quad (7)$$

단, ρ 는 空氣密度, A 는 發射體의 斷面積, 그리고 d 는 發射體의 直徑이다. 그러나 이들 係數는 發射體의 기하학적 구조와 局部的 流動條件에 종속될 뿐만 아니라 받음角의 函數가 되므로 프로그램에서는 받음角의 작은 범위에서 경험적으로 얻은 근사공식이 사용되고 있다.

大將軍箭의 彈道計算에 사용한 電算 프로그램 PRODAS-81 은 彈子의 形狀을 토대로 空氣力學的 힘과 回轉力을 구성하는 각종 매개변수들을 예측하는 기능과 自由度 6의 운동방정식을 積分하여 彈道を 계산하는 기능을 가지고 있다.⁷⁾

3. 計算結果

箭身の 全長이 277 cm, 直徑이 12 cm, 무게가 31.6 kg 의 大將軍箭이 砲口速度 90 m/sec 로 發射되었을 때의 彈道와 箭의 받음角의 變化를 計算하였다. 箭의 받음角, 즉 箭의 軸이 彈道の 接線과 이루는 角 θ_m (THETA MISS)은 箭의 光端이 彈道 外쪽에 있을 경우를 (-)로 정의하였다. 射角이 5°, 10°, 20° 및 44°일 때의 計算結果를 그림 6-1~그림 6-4에 각각 도시하였고, 射角 5°, 10°, 20°, 30° 및 44°에 대한 彈道曲線과 射程距離를 그림 6-5에 같은 척도로 표시하였다.

IV. 結果 및 有效射距離의 推定

大將軍箭의 彈道計算에서 얻은 飛行資料를 표 3 및 표 4에 총괄하였다. 표에서 落角(fall angle)은 落下地點에서의 彈道の 接線이 水平面과 이루는 角度를 뜻한다. 計算上の 最大射程距離는 射角 44°에 대한 彈着거리로서 786 m가 된다.

最大射程距離의 계산값 786 m는 「戎垣必備」의 天字銃筒條의 1,200步(1,512 m)와 大將軍箭條의

7) J.R. Burnett, W.H. Hathaway, and R.H. Whyte, "Projectile Design and Analysis System," General Electric Co., 1981.

Table 3. Summary of calculated trajectories and flight data for the Large General-Arrow fired at elevations of 0°, 5° and 10°.

直徑 Diameter	12.0 cm		12.0 cm		12.0 cm		
重量 Weight	31.6 kg		31.6 kg		31.6 kg		
初速 Muz. Vel.	90 m/s		90 m/s		90 m/s		
終速 Term. Vel.			89 m/s		88 m/s		
射角 Elevation	0°		5°		10°		
落角 Fall Angle			-5°		-11°		
飛行資料 Flight Data	時間 Time	水平거리 Hor. Dist.	彈道 높이 Height	水平거리 Hor. Dist.	彈道 높이 Height	水平거리 Hor. Dist.	彈道 높이 Height
	0.5 s	45 m	-1.2 m	45 m	2.7 m	44 m	6.6 m
	1	89	-4.6	89	3.2	88	10.9
	1.5	134	-10.2	133	1.4	132	13.0
	1.71			152	0(彈着)		
	2					175	12.7
	2.5					219	10.0
	3					262	4.7
	3.32					289	0(彈着)

900步(1,134 m)와 비교할 때 각각 52% 및 70%에 해당되는 거리이다. 「火砲式彥解」의 天字銃筒條도 大將軍箭(56斤 30兩; 34.7 kg)의 사정거리를 900步로 기록하고 있으므로⁸⁾ 계산값이 당시의 기록에 못 미치고 있는 것은 부정할 수 없다.

끝으로 大將軍箭의 海戰에 있어서의 有効射距離(effective gun range)에 대하여 생각해 보기로 한다. 地上戰鬪에서는 城郭이나 樓閣, 또는 陣地の 構築物 등의 파괴에 箭의 射擊이 매우 효과적이었을 것이며, 또한 큰 發射角으로 쏜 箭이 城 안으로 날아들 때 城 안의 軍士들에게는 큰 위협이 되었을 것이다. 그러나 海戰의 경우에는 본질적으로 敵船에 대한 개별적인 命中率이 勝敗의 요인이 된다. 따라서 近代의 照準裝置가 없었던 16~19世紀 當時의 海戰에서는 敵船에 대한 보다 확실한 命中을 위하여 射角에 따르는 有効射距離의 설정이 중요한 과제였다.

壬辰倭亂 때의 李舜臣의 創制龜船에는 兩舷에 각각 6門의 砲가 설치되어 있었다. 즉, 銃筒을 실은 童車가 火藥, 檣木, 彈子の 裝填時마다 후퇴하였다가 다시 砲穴의 원위치로 되돌아 와, 견고하게 繫留된 후 彈子が 發射된 것으로 생각된다. 따라서 箭의 鐵羽 부분까지는 발사 이전에 이미 砲穴 밖으로 노출된다. 牌板에 뚫린 砲穴의 크기는 直徑으로 50 cm 程度가 되어야 한다.

그럼 7에, 거북선으로부터 敵船의 正側面을 향하여 大將軍箭이 發射되었을 때의 彈道를 표시하였다. 彈道는 거북선에 설치한 天字砲의 海面으로부터의 높이를 2.5 m로 추정하여 그린 것이다.

敵船의 길이를 30~35 m, 幅은 약 10 m, 吃水에서 돛대를 제외한 上粧部分의 높이를 8 m 정도라고 하면, 敵船의 正側面의 中心부위를 겨냥할 때, 船首와 船尾를 바라보는 角度는 100 m 거리에서 17°, 50 m 거리에서는 33°를 약간 넘는다. 따라서 100 m 이내의 거리에서는 目測照準으로도 發射物이 敵

8) 李康七, 같은 책.

Table 4. Summary of calculated trajectories and flight data for the Large General-Arrow fired at elevations of 20°, 30° and 44°.

直徑 Diameter	12.0 cm		12.0 cm		12.0 cm		
重量 Weight	31.6 kg		31.6 kg		31.6 kg		
初速 Muz. Vel.	90 m/s		90 m/s		90 m/s		
終速 Term. Vel.	87 m/s		86 m/s		86 m/s		
射角 Elevation	20°		30°		44°		
落角 Fall Angle	-21°		-31°		-46°		
飛行資料 Flight Data	시간 Time	水平거리 Hor. Dist.	彈道높이 Height	水平거리 Hor. Dist.	彈道높이 Height	水平거리 Hor. Dist.	彈道높이 Height
	1 s	84 m	25.9 m	77 m	40.0 m	64 m	57.3 m
	2	167	42.6	154	70.6	127	105.0
	3	250	49.5	230	91.3	190	142.7
	4	332	46.1	305	101.9	253	170.3
	5	413	33.1	381	102.6	315	188.1
	6	495	10.7	455	93.9	378	196.3
	6.37	525	0(彈着)				
	7			530	75.6	439	194.9
	8			604	47.4	501	183.7
	9			677	9.4	562	162.6
	9.22			693	0(彈着)		
	10					623	131.7
	11					684	87.0
	12					744	41.2
	12.7					786	0(彈着)

船體 側面의 좌우로 빗나갈 염려는 별로 없는 것이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 거북선에서 射角 0°로 발사된 大將軍箭은 수평거리 67 m에서 水面에 떨어지며, 射角이 5°일 때는 50~100 m 거리에 있는 敵船의 上層部位에 잘 적중되는 것을 알 수 있다. 즉 배에 롤링이 없을 경우에는 5° 미만의 射角에서 100 m 이내에 있는 敵船에 대하여 좋은 命中率이 발휘될 것으로 추리된다. 따라서 롤링으로 인한 射角의 不確實性(2~3°)이나, 發射時마다 예상되는 火藥量과 箭의 무게의 차이 등을 감안하더라도 有效射距離로서 70 m 정도를 유지한다면 매우 높은 命中率이 보장될 것으로 추측된다. 그러나 100 m가 넘는 射距離에서는 命中率의 저하가 현저했을 것이다.

더욱 더 確實한 命中을 기약하려면 可及的 敵船에 接近할 도리밖에 없다. 李舜臣의 鐵甲龜船은 그렇게 하였다. 壬辰倭亂 당시, 安骨浦海戰(1592년 7월 10일)의 戰況에 대하여 倭側의 實戰記錄 「高麗船戰記」(1592)는 다음과 같이 기록하고 있다. 즉, 「……大船中の 3 척은 盲船(龜船에 대한 倭側

의 別稱)이며, 鐵로 덮여져 있고, 石火矢, 棒火矢, 大狩俣 등을 쏘며 酉時(오후 6時경)까지 번갈아 달려들어 攻擊을 걸어와 櫓(樓)로부터 廊下, (欄牌)의 要害 등에 이르기까지 모조리 격파되고 말았다. ……이들 화살(箭)로 5間, 3間이라는 가까이까지 접근하여 쏘아대는 것이다. ……」.

謝辭：箭의 彈道計算에 관련된 空氣力學的 現象에 대하여 여러가지 유익한 조언을 주신 서울大學校 工科大學 航空工學科의 李海京教授님과 大田機械廠의 宋澤烈博士님께 깊은 謝意를 표합니다. 또한, 大將軍箭의 復元圖面을 作成해 주신 趙斗行學士, 그리고 매개변수의 추정 및 有効射距離의 개념에 대하여 좋은 의견을 보태주신 李永珍碩士에게도 같이 감사드립니다.

× × ×

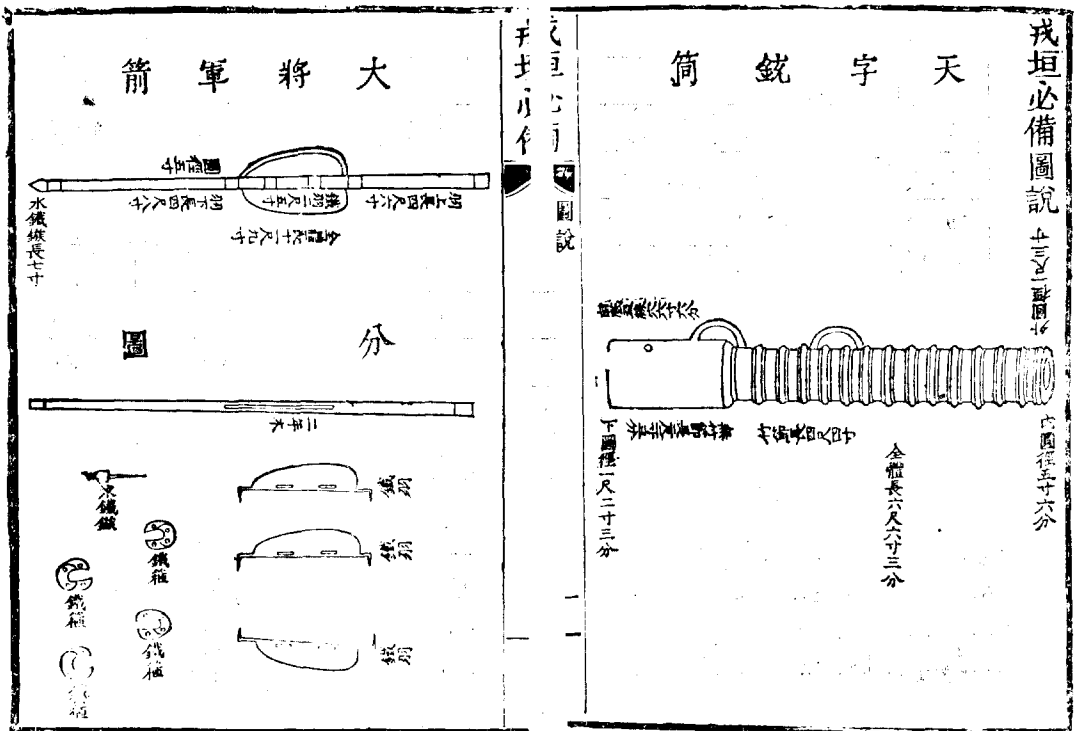
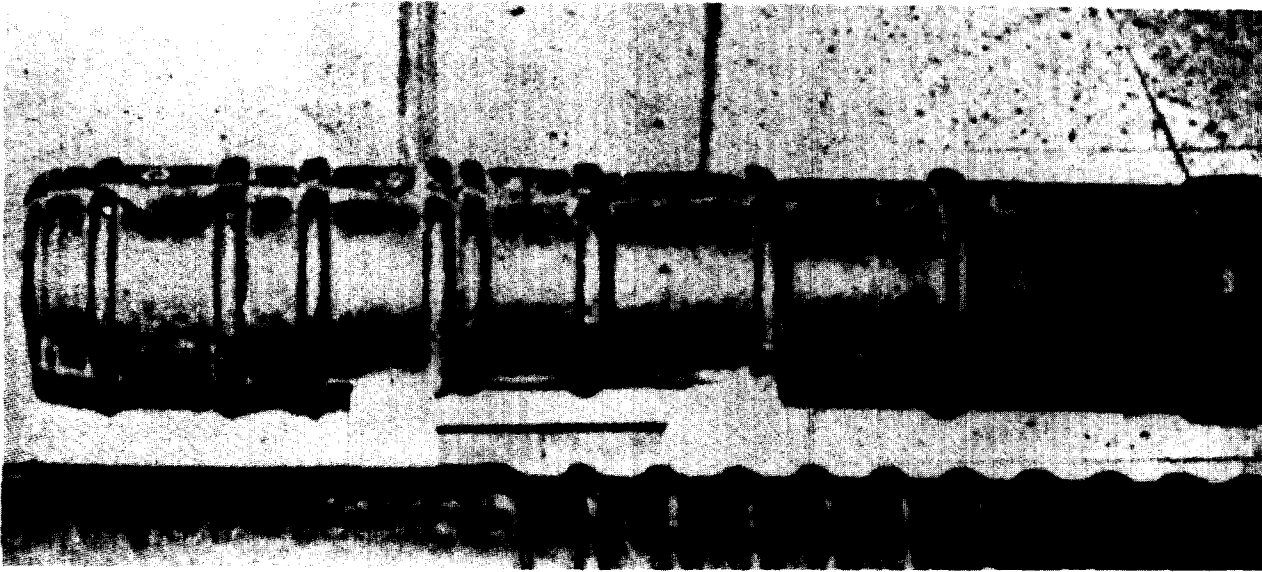
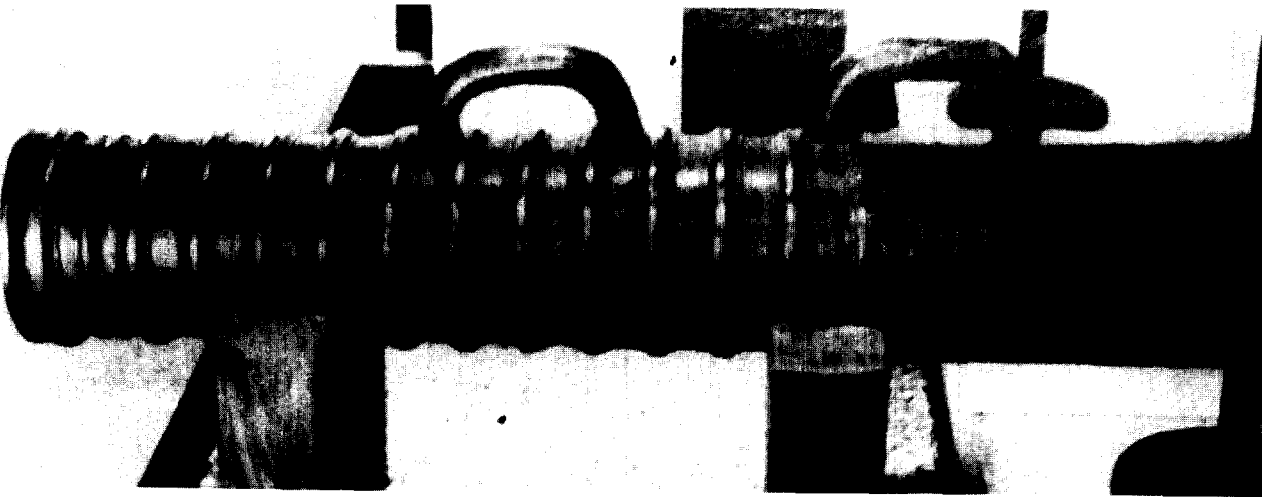


Fig. 1. Structure of the Gun-barrel CH'ŎN-JA-CH'ONG-T'ONG (right) and the Large General-Arrow(left) presented in Yungwŏn P'ilbi(1813).



天字銃筒(1555) 陸軍士官學校 軍事博物館所藏

- ① 口徑：13.0 cm ② 筒長：112.5 cm ③ 全長：130 cm
④ 銘文：嘉靖乙卯十月天四百九十三斤十兩匠梁內了同



天字銃筒(1609) 牙山顯忠祠展示館所藏

- ① 口徑：12.0 cm ② 筒長：91 cm ③ 全長：136.5 cm
④ 銘文：己酉造上天字重七百斤望月上藥入三十一兩

Fig. 2. Examples of the existing CH'ŎN-JA Gun-barrels.

KOREAN WEAPONS AND ARMOR

PLATE

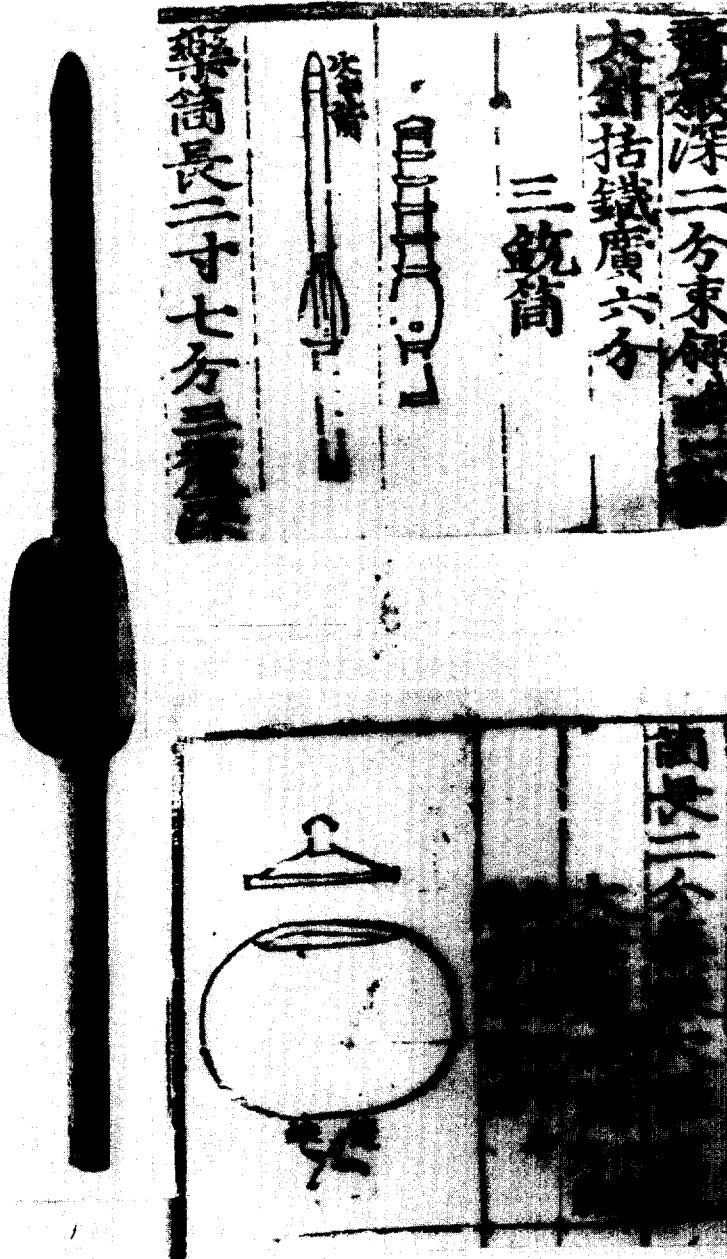


Fig. 3. Photograph of arrow with the length of 9 feet 1 inch (left), for use in the early Korean cannon, reported by J. L. Boots(Ref. 5).

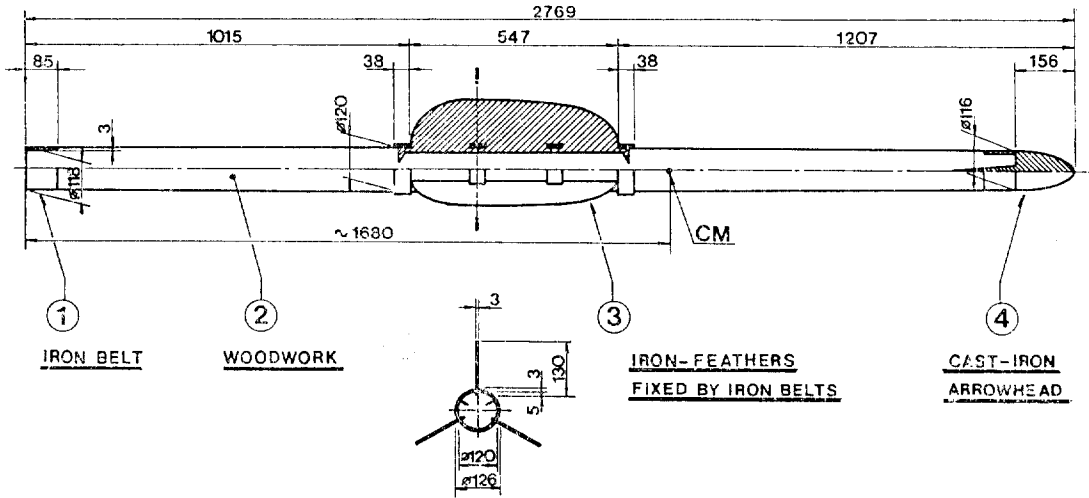


Fig. 4. Drawing for the reconstruction of the Large General-Arrow shown in Fig. 3.

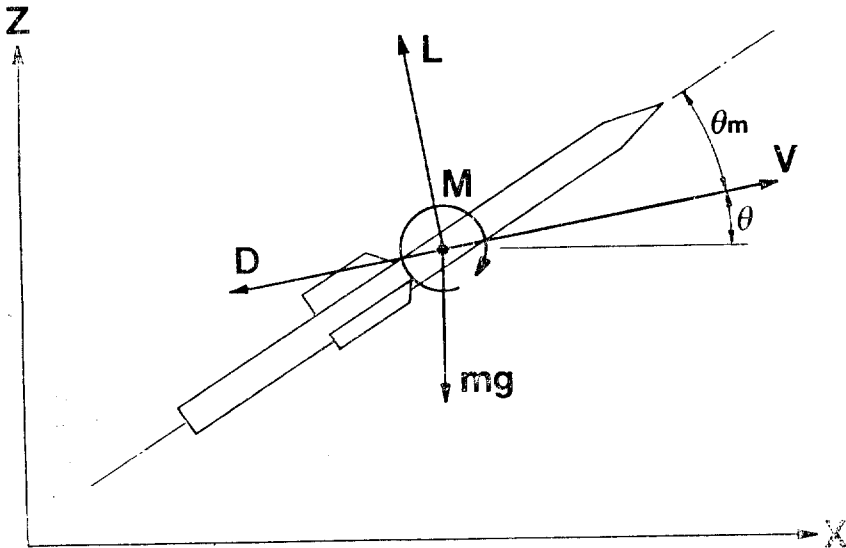


Fig. 5. Schematic diagram for the analysis of pitching motion of fin-stabilized arrow.
 V : Velocity of CG, L : Lift force, D : Drag force, M : Aerodynamic moment,
 θ_m : Angle of attack, θ : Angle between velocity vector V and X-axis.

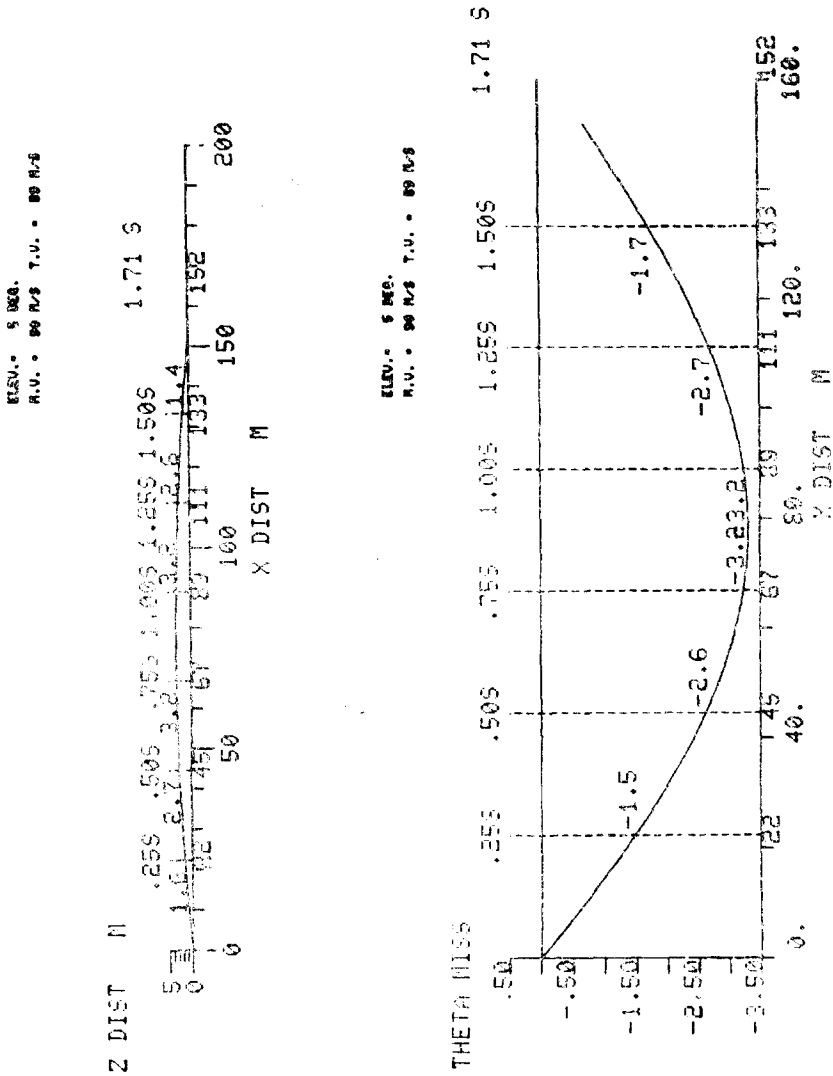


Fig. 6-1. Trajectory of the Arrow at 5° elevation(top) and variation of the angle of attack THETA MISS (bottom). The angle of attack is defined to be positive when the arrow axis extending from the centre of mass to the arrowhead points downward relative to the tangent to trajectory.

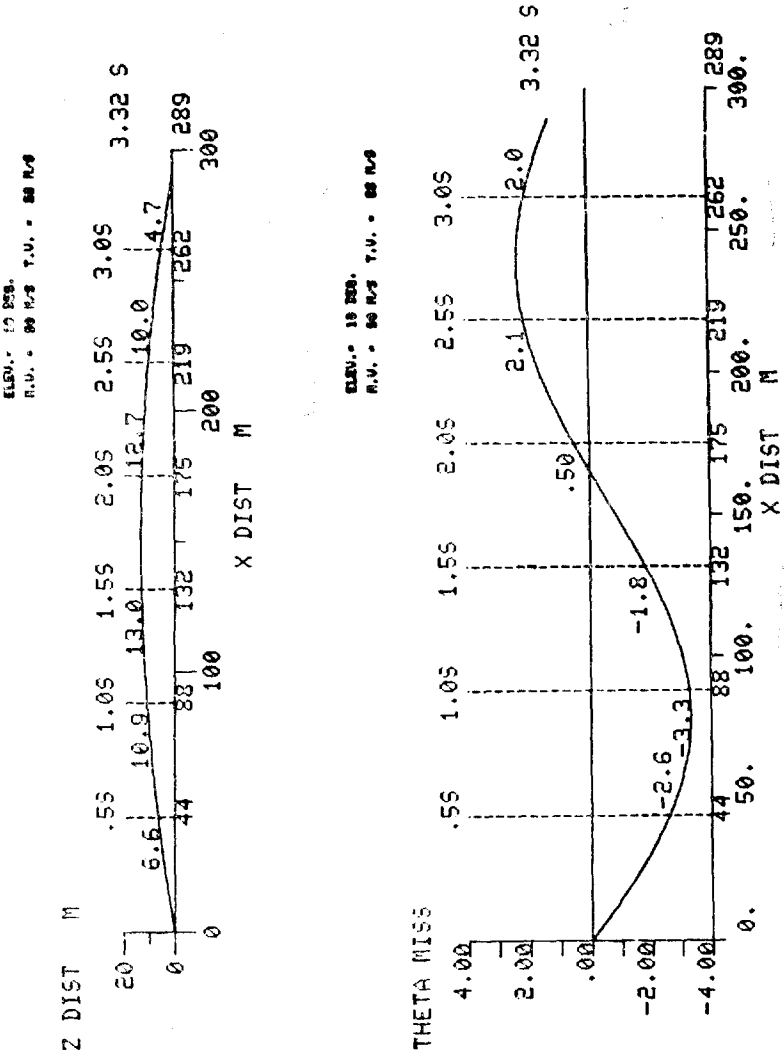


Fig. 6-2. Trajectory of the Arrow at 10° elevation(top) and variation of the angle of attack THETA MISS(bottom).

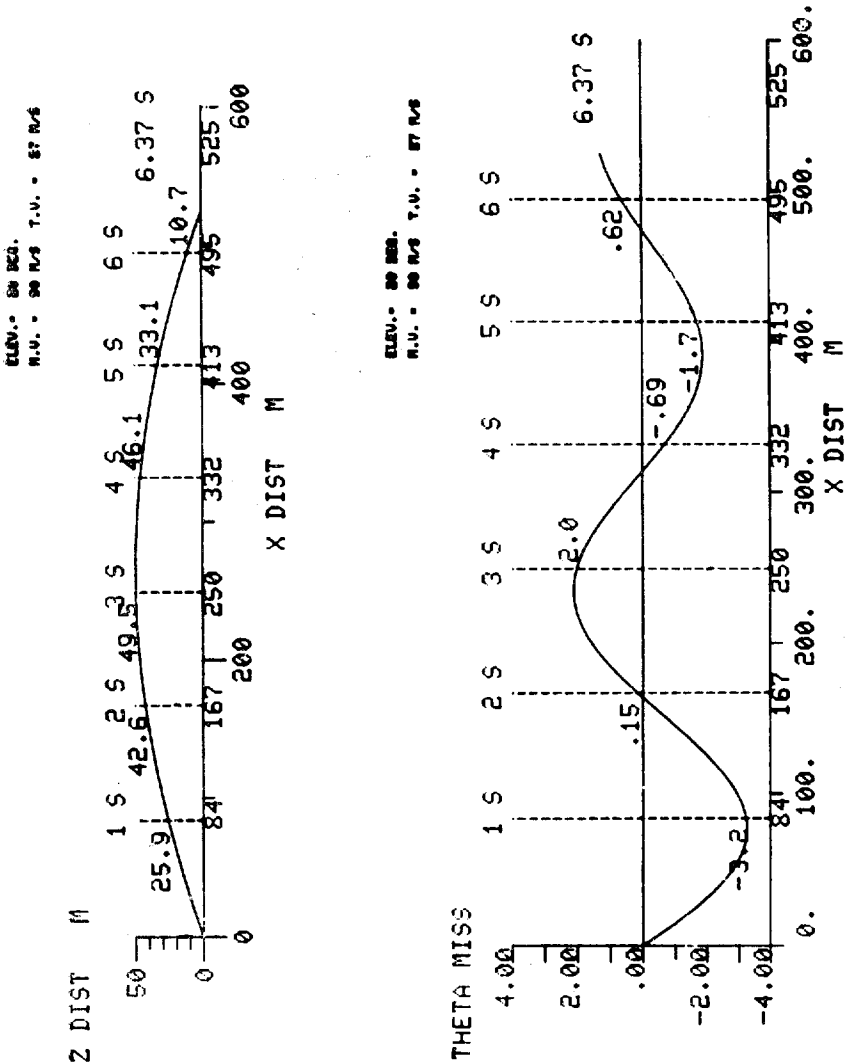


Fig. 6-3. Trajectory of the Arrow at 20° elevation(top) and variation of the angle of attack THETA MISS(bottom).

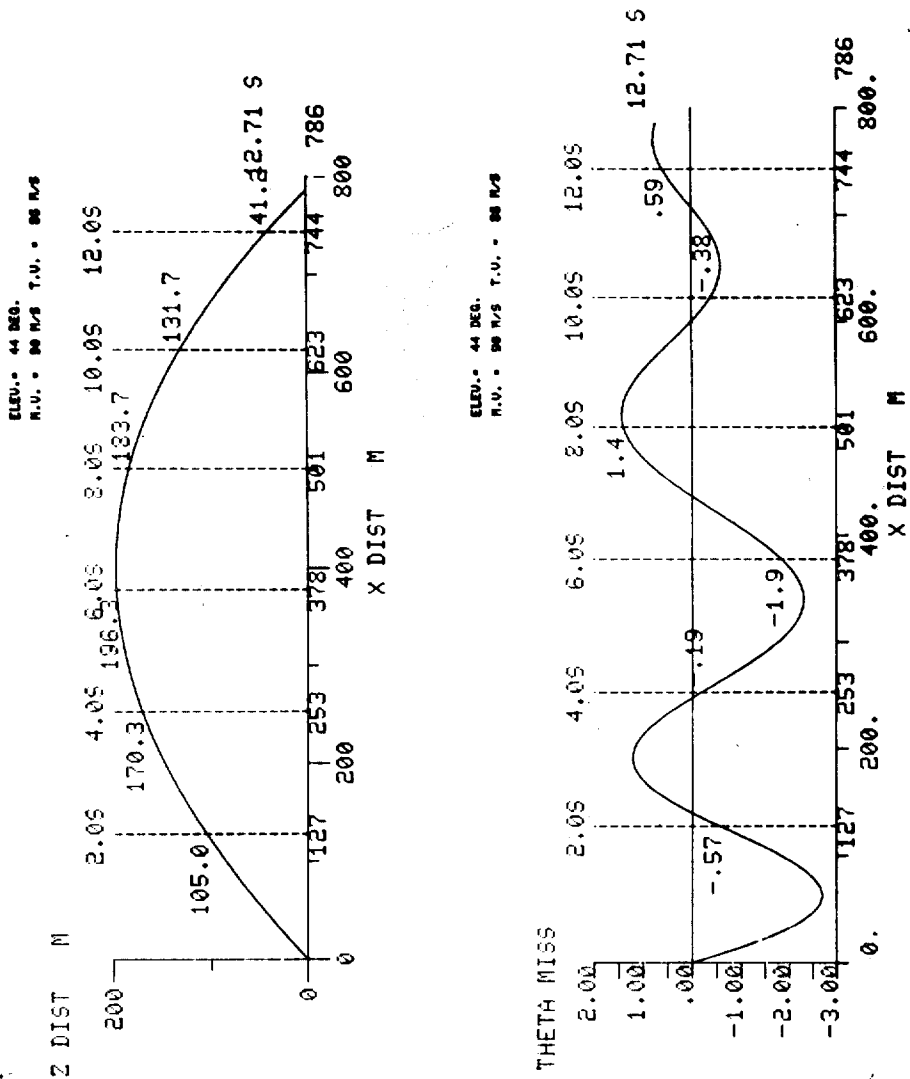


Fig. 6-4. Trajectory of the Arrow at 44° elevation(top) and variation of the angle of attack THETA MISS(bottom).

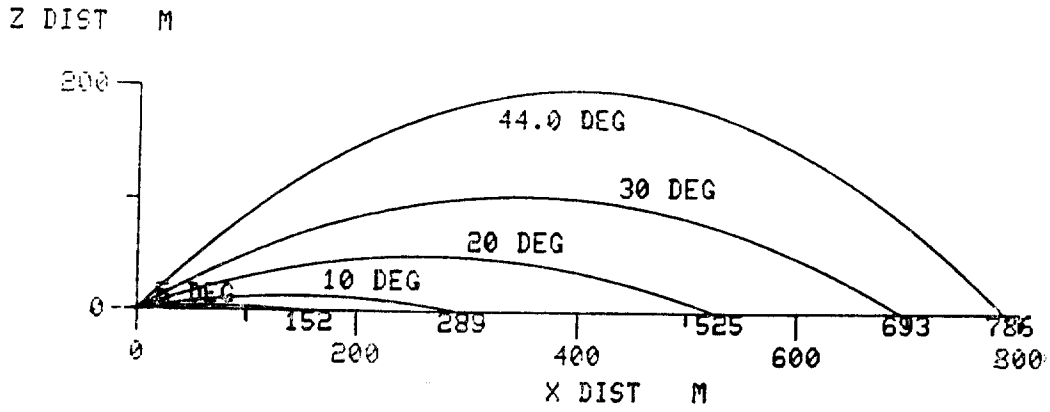


Fig. 6-5. Trajectories and ranges of the 32-kg Large General-Arrow plotted for the elevations of 5°, 10°, 20°, 30° and 44°.

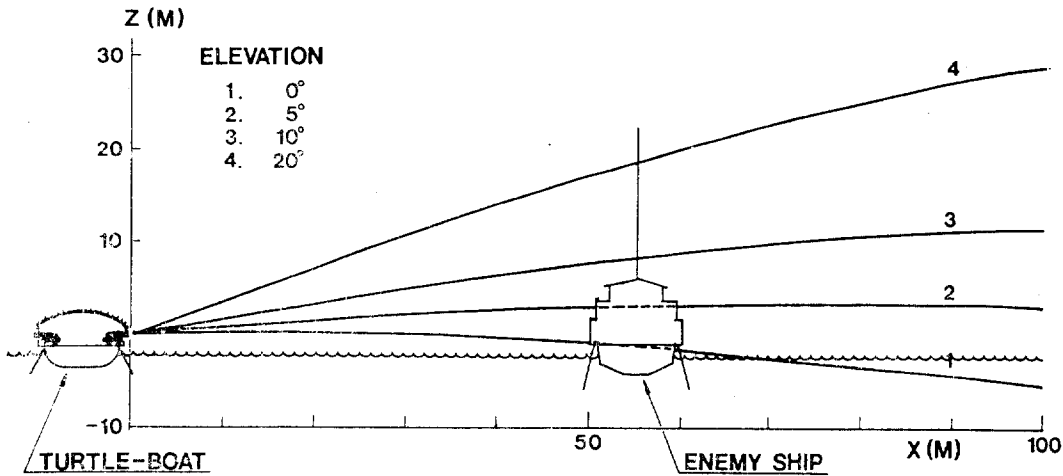


Fig. 7. Trajectories of the 32-kg Large General-Arrow to estimate the effective gun range at sea battle. The placement of the cannon is approximately 2.5m above the water-line of the turtle-boat.