

# 發電機 回轉子軸의 國産化

Localization of Generator Rotor Shaft for KNU 9&10



權 中 圭 (韓國重工業(株) 理事)

## 1. 序 言

韓國重工業(株)는 昌原工場의 착공以來 이루어 헤아릴 수 없는 陣痛과 迂餘曲折을 겪어왔다. 工場建設이 잠시 中斷되었을때 借款先인 IBRD (International Bank for Reconstruction & Development)로 부터 “世界的인 倉庫”라는 놀림도 당했었고, 그 후에도 過剩投資의 代表的인 케이스로 오랫동안 사람들의 입에 오르내려 왔었다.

그러나 韓國重工業은 그 소란스러웠던 격동기, 政府의 發電設備 一元化 방침에서 四元化로, 다시 重化學 投資조정 에 의한 一元化 방침의 再決定 등의, 그 모든 격변기를 이겨내고 우리나라 機械工業分野의 先頭走者라는 自負心과 國民의 企業이란 使命感을 잊지 않은채 不斷한 努力을 傾注해왔다.

先進外國의 專有物이었던 Plant分野, 특히 發電設備에서 두각을 나타내기 시작해, 서천火力 1·2號機를 필두로 56만KW의 삼천포火力 1·2號機와, 같은 용량의 보령火力 1·2號機 그리고 原子力 7·8號機 建設에 많은 重要 機資材를 납품했으며 금년 부터는 原電9·10號機 機資材 製作에 착수하여 우수한 품질과 적기공급을 위해 심혈을 기울이고 있다.

또한 국내업체로서는 최다종류의 ASME자격

인정을 취득함으로써 명실상부한 工場을 만드는 工場으로 발돋움하기에 이르렀으며 그 중에서도 금년 3월 原電9·10號機(100만KW급)의 發電機回轉子軸, 즉 Generator Rotor Shaft를 성공리에 生産해 냄으로서 우리나라 素材工業에 새로운 章을 열어놓았다.

現在까지 單重 400톤급 以上の 鋼塊 生産은 1969년 Japan Steel Works에서 生産을 시작한 以來 全世界 大型 鍛造品市場을 석권해 왔으며, 最近에 와서야 같은 日本의 Kobe Steel에서 製作을 했을 뿐이다.

美國의 優수 發電所用 機資材 공급회사는 말할 것도 없고, 原電9·10號機 建設에 主機資材 供給者로 참여하고 있는 프랑스의 Alsthom-Atlantique社만 하더라도 90만KW급 以上の Generator Rotor Shaft는 全量 日本에 外注처리하여 왔음을 상기할때, 금번 韓國重工業이 이룩한 업적은 아무리 높게 評價하더라도 지나치지 않다고 할 것이다.

이에 필자는 세계에서 두번째로 大型高級鋼塊 生産能力을 우리나라가 갖게된 기쁨을 여러분과 함께 하고자 이번 韓國重工業에서 개발한 Rotor Shaft의 製造過程을 간략하게 소개하고자 한다(本 Rotor Shaft는 前述한 Alsthom-Atlantique社와의 國産化 協議過程에서 技術上

의 난제를 이유로 수차례 한국에서의 製作不可能을 시사해 왔음을 부연해 둔다).

## 2. 製造工程(MANUFACTURING PROGRAM)

原電9·10號機 Generator Rotor Shaft 는 최종 機械加工이 끝난 시점에서 무게 175ㄴ, 길이 13,520mm 둘레 1,685mm나 되는 초대형 軸으로서 鍛造前 Ingot 무게가 430ㄴ이나 되었다.

製造工程은 大別하여 鑄造(Foundry), 鍛造(F-

orging), 機械加工(Machining)으로 나눌 수 있는데 細分하면 表1과 같이 19種의 工程으로 區別된다. Rotor의 製원은 Grade26NCD12-6으로서 Chemical Composition은 表2와 같다.

表1에서 열거한 工程중 重要工程만 발췌하여 기술하겠다. Rotor軸製作의 첫工程은 表1에서와 같이 용해(Melting) 작업인데, 製品의 根源的인 質이 決定되는 重要時點이라 하겠다. 表2의 Chemical Composition Sheet에서도 나타나 있듯이 그 成分이 2/1000를 넘어서는 안되는 것

〈表 1〉 製造工程

OPER NO.	OPERATION DESCRIPTION	MELTING	FORGING	HEAT TREATMENT	TEST	MACHINING
1	MELTING	*				
2	VACUUM REFINING	*				
3	INGOT	*				
4	FORGING		*			
5	PRELIMINARY HEAT TREATMENT (HOMOGENIZING)			*		
6	ULTRASONIC-TEST				*	
7	ROUGH MACHINING (FOR QUALITY HEAT TREATMENT)					*
8	QUALITY HEAT TREATMENT			*		
9	PRELIMINARY MECHANICAL TEST (INCLUDING RESIDUAL STRESS)				*	
10	HEAT-TREATMENT (ANNEALING)			*		
11	RESIDUAL STRESS CHECK				*	
12	ULTRASONIC-TEST				*	
13	MECHANICAL TEST (PERIPHERY ZONE)				*	
14	AXIAL BORING					*
15	MECHANICAL TEST (CENTER ZONE)				*	
16	FINAL MACHINING					*
17	FINAL QUALITY CONTROL (DIMENSION, SURFACE EXAM. BORE TEST)				*	
18	MARKING, PROTECTION & PACKING					
19	SHIPPING					

〈表 2〉 Chemical Composition Aimed  
(Steel Grade 26 NCD 12-6)

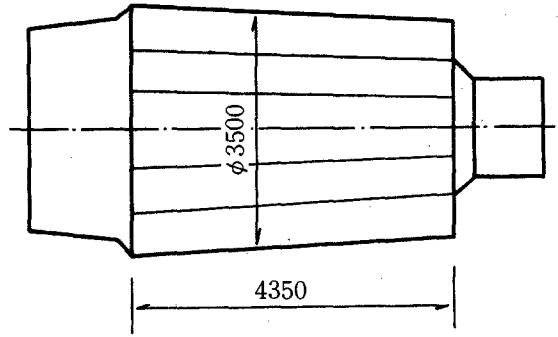
C (Carbon)	0.24%
Si (Silicon)	0.10% Max.
Mn (Manganese)	0.30%
P (Phosphorus)	0.008% Max.
S (Sulphur)	0.015% Max.
Ni (Nickel)	3.00%
Cr (Chromium)	1.55%
Mo (Molybdenum)	0.40%
V (Vanadium)	0.12%
As (Arsenic)	0.004% Max.
Sn (Tin)	0.002% Max.
Sb (Antimony)	0.003% Max.
Cu (Copper)	0.030% Max.
Sn+P	0.010% Max.

도 있기 때문에 고도의 정밀성을 요구한다.

Melting은 2台(30 $\text{t}$  및 100 $\text{t}$ )의 電氣아크爐 (Electric Arc Furnace)에서 17時間의 연속조업 끝에 450 $\text{t}$ 程度의 용강을 製造하였다. 이 용강은 3台的 155 $\text{t}$ 급 Ladle Furnace로 출강되어 大型 Ingot를 製作할 수 있도록 준비된 Vacuum Tank (Mould)에 차례로 주입되었다.

원래 계획된 주입시간은 43分으로 잡혀 있었으나 1년이 넘도록 뼈를 깎는 사전준비와 도상실습 등으로 인하여 40分에 주입을 완료할 수 있었다. 주입시간이 1分이라도 초과하면 모든 것이 수포로 돌아가고마는 극적인 순간이었다 (Arc Furnace의 용량이 130/150 $\text{t}$ 이므로 Maximum 150 $\text{t}$ 에 맞추어 먼저 Melting된 용강은 前記한 155 $\text{t}$ 급 Ladle Furnace에 출강되어 Hold된채로 마지막분 용강이 Melting되어 출강될때 까지 대기하고 있었다).

극적인 주입후, 약3日(66시간)만에 우리나라 製鋼歷史에 길이 기록될 430 $\text{t}$ 의 大型鋼塊 製作이 끝났고, 곧 인발작업(Mould에서 Ingot를 발채하는 작업)에 들어갔다. Melting에서 부터 In-



Ingot Type : Corrugated

Weight : Body 318 $\text{t}$

Hot Top 100 $\text{t}$

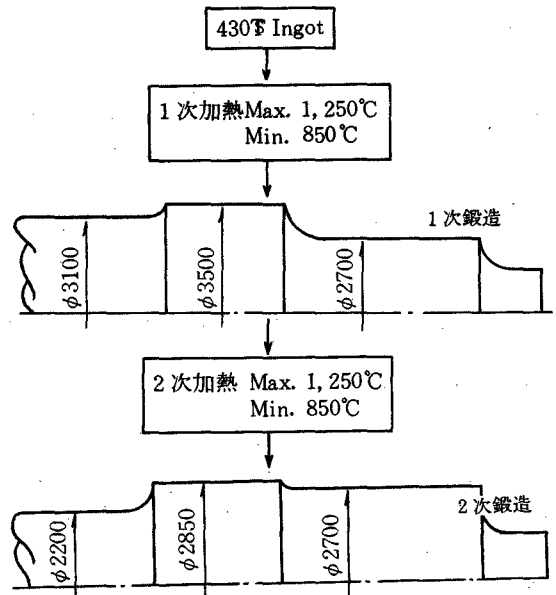
Bottom Handling Part 12 $\text{t}$

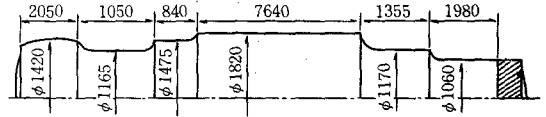
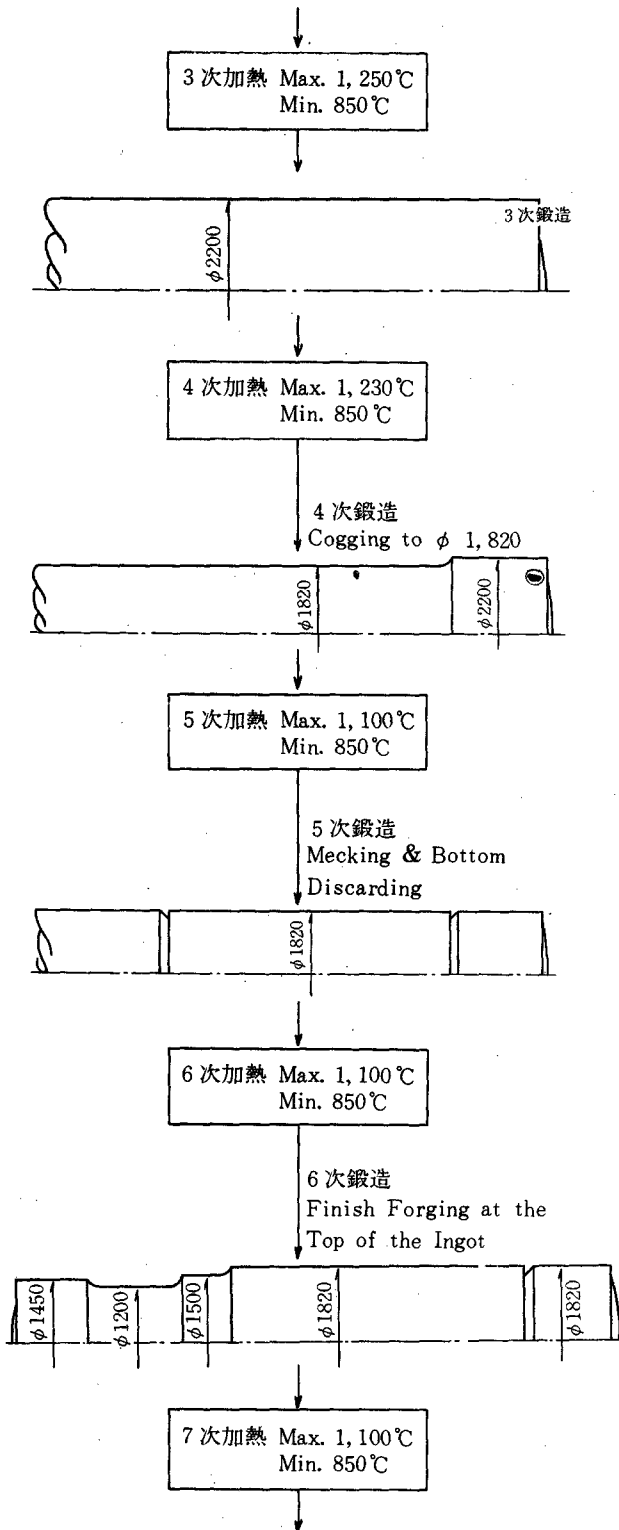
Total 430 $\text{t}$

〈그림 1〉 Ingot Detail

got 인발작업에 이르기까지의 일이 얼마나 어려웠는지는 인발작업을 하고 있던 많은 관계사원들의 눈에 이슬이 맺혔다는 사실로써도 짐작할 수 있을 것이다. 製作된 Ingot의 Detail은 그림1과 같다.

다음은 鍛造(Forging)工程인데 理解가 쉽도록 鍛造과정을 다음과 같이 圖式化 했다. Forging은 10,000/13,000 $\text{t}$  Press에서 實施되었다.





7次鍛造

Finish Forging

Total Forging Ratio on Rotor Body : 3.70

Discarding Amount

Top : Min. 3% of Body Weight

Bottom : Min. 5% of Body Weight

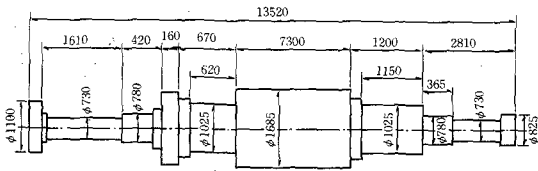
上記圖式과 같이 7차례의 반복 Heating과 7차례의 鍛造作業 끝에 430T의 大型 Ingot는 어느정도 Generator Rotor Shaft의 형태를 닮게 되었다. 최종 鍛造가 끝났을 때 Rotor의 單重이 약 230T이었으니 鍛造과정에서 200T이 감량되었고, 길이는 4,350mm에서 14,915mm로 늘어났다.

Forging 作業중 어려웠던 것은 Ingot의 中心까지 Press의 힘이 고루 미치게 조종 하는 것이었고, 또 하나는 鍛造되는 동안, 다시 말하면 形像이 바뀌는 순간순간에 따라 무게重心(Center of Gravity)이 변하기 때문에 Handling에 따른 重心을 定하는 일이었다.

다음의 主要工程은 機械加工인데 主作業은 Rotor의 外面加工과 Rotor의 中空加工(Axial-Boring)이다. 外面加工은 Rough Machining으로 시작되었는데 Horizontal Lathe(3<sup>m</sup>×18<sup>m</sup>×250T)에서 주로 이루어졌고 Axial-Boring은 Trepanning Association工法을 사용하여 Deep Hole Drilling Machine(300<sup>m</sup>×18<sup>m</sup>×200T)에서 마무리를 했다.

Rough Machining후에 Ultrasonic Test를 實施했는데 "Zero-Defect"로 判定나서 우리기술의 우수함을 再証明해 주었다. 기계가공이 끝난후의 Rotor Shaft의 Dimension은 그림2와 같으므로 Ingot의 형상과 비교해 보기 바란다.

또 하나 빠뜨릴 수 없는 工程은 熱處理(Heat Treatment)工程이다. 鍛造作業과 Rough Machining후에 그 素材에 要求되는 機械的性質의 부여 및 스트레스를 제거하기 위해 반드시 거쳐



〈그림 2〉 기계가공이 끝난후의 Rotor Shaft의 Dimension <Scale 무시〉

야 하는 관문으로써 이번 Generator Rotor는 그 구조상 수직열처리설비(Vertical Furnace & Quenching Equipment)에서 工程에 따라 수차례 實施되었다. 참고로 韓國重工業이 보유하고 있는 수직열처리설비의 사양을 기술하여 이해를 돕고자 한다.

① Vertical Furnace

- 容量 : 250℥
- 内部容積 :  $3\text{ m}^{\phi} \times 20\text{ m Depth}$
- Fuel : L.P.G
- Max. Temp : 1, 200°C
- Burner : 143개

② Vertical Water Quenching Tank

- 容 量 : 250℥
- 内部容積 :  $3\text{ m}^{\phi} \times 23\text{ m Depth}$
- Pump : 4개(150HP)
- 순 환 량 : Max. 2, 650m<sup>3</sup>/HR

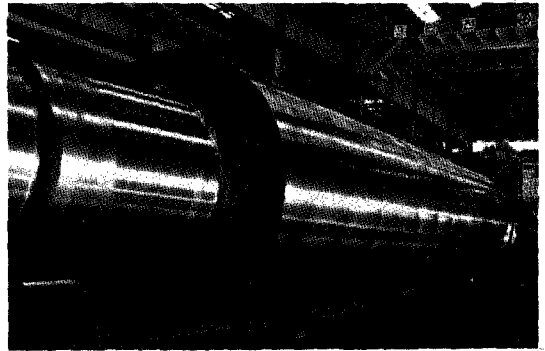
③ Vertical Oil Quenching Tank

- 容 量 : 150℥
- 内部容積 :  $3\text{ m}^{\phi} \times 20\text{ m Depth}$
- Pump : 4개(75HP)
- 순 환 량 : Max. 1, 004m<sup>3</sup>/HR

④ Vertical Mist Quenching Tower

- 容 量 : 60℥
- 内部容積 :  $2.5\text{ m}^{\phi} \times 14\text{ m Depth}$
- Pump : 5개(100HP)
- Nozzle : 192개

以上이 개괄적으로 본 Rotor Shaft製作의 主 工程이며 本 Rotor製作에 앞서 原電9·10號機의 High Pressure Turbine의 Rotor(180℥급Ingot)



〈Horizontal Lathe에서 加工중인 Generator Rotor〉

와 美G. E. 社에서 수수한 120℥급 Ingot도 성공리에 製作했음을 첨언해 둔다.

3. 結 言

工業先進國의 대열에 서려면 發電設備의 國産化 없이는 不可能하다고 말할 수 있을 것이다. 美國, 英國, 프랑스, 독일, 日本, 스위스 등 이들 국가는 하나같이 發電設備 製造國이며 기술선진국이다.

그들이 發電設備를 完全히 自國化하는데는 美國이 17년, 英國이 19년, 독일이 23년, 프랑스가 30년이나 걸렸고 가까운 日本은 1900년에 工業立國을 선언한지 30년이 지나야 發電設備에 착수할 수 있었고 그후 40여년만에 비로소 성숙기를 맞이 할 수 있었다.

여기에 한국의 韓國重工業이 그 대열에 서고자 혼연의 힘을 傾注하고 있다. 선진국에서도 90만KW급의 大型發電機軸을 처음 製作 당시 10개중 2~3개의 합격율을 보이면서 기술을 축적해 왔는데 우리는 처음 만들면서부터 "Zero-Defect"의 합격율을 보이자 프랑스인들이 놀라움을 금치 못하던 그날의 광경을 잊을 수가 없다.

우리의 技術이 다른 모든 發電設備의 100% 國産化과정에서도 이처럼 성공할 것을 다짐하고 선진공업국에 하루 빨리 도달할 수 있도록 노력할 것을 약속하며 온 국민의 변함없는 성원을 기대한다.