

# 증기발생기용 대형 단강품의 자유단조

김동권\*·김재철·김영득·김동영

## Open Die Forging of the Large Steel Forgings for Steam Generator

D.K. Kim, J.C. Kim, Y.D. Kim and D.Y. Kim

### Abstract

Steam Generator has been manufactured by welding process after partial manufacturing of various steel forgings such as shell, head and tube sheet. Usually, these steel forgings are made by open die forging process. After steel melting and ingot making, open die forging has been carried out to get a good quality which means high soundness and homogeneity of the steel forgings by using high capacity hydraulic press. This paper introduced open die forging development status of the large steel forgings which is used for the steam generator of 1,400MW next generation nuclear power plant.

**Key Words** : Steam Generator, Open Die Forging, Nuclear Power Plant

### 1. 서 론

현재 국내에서 건설되고 있는 원자력 발전소는 1,000MW급 한국표준형 원전이 주류를 이루고 있었으나, 발전 용량의 격상을 위해 신고리 3/4호기부터는 1,400MW 급으로 건설을 추진하고 있다.

Fig. 1은 차세대 원전인 1,400MW 원자력 발전소용 증기발생기의 개략적인 형상을 보여주고 있다. 1,000MW<sup>(1)</sup>와 비교해 볼 때 직경이 5.7m 정도에서 6.2m 정도로 커졌고 높이도 19.3m 정도에서 22.0m 정도로 커졌다. 한편, 증기발생기의 측면 벽을 구성하고 있는 SHELL은 두께가 150mm 정도로 동일하나, 하부의 PRIMARY HEAD는 200mm정도에서 250mm정도로 두졌다

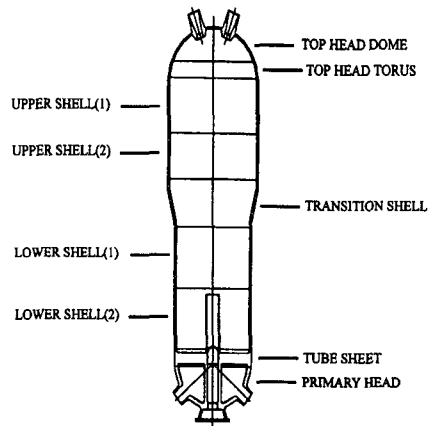


Fig. 1 Steam Generator of 1,400MW Nuclear Power Plant

\* 두산중공업 기술연구원

이러한 증기발생기는 원통 또는 CONE 형태를 가진 SHELL과 둥근 컵 형태를 가진 HEAD와 TORUS, 원판 형태를 가진 TUBE SHEET의 3가지 주요 부분품으로 구성된다.

본 논문에서는 차세대 원전인 1,400MW 원자력 발전소의 증기발생기용 초대형 단강품을 자유단조로 제조하는 방법을 1,000MW와 비교하여 차이점을 설명하고, 또한 주요한 단조작업 공정상의 문제점과 개발 추진현황에 대하여 기술하였다.

## 2. SHELL의 자유단조

증기발생기에 들어가는 SHELL은 크게 2가지의 형태로 나누어 진다. 하나는 원통 형태를 가진 STRAIGHT SHELL이고 나머지 하나는 테이퍼진 형태를 가진 TRANSITION SHELL이다.

1,400MW 원전의 경우에 달라지는 점은 STRAIGHT SHELL의 경우에는 치수와 중량이 커졌고, TRANSITION SHELL의 경우에는 양단에 직선부를 조금 연장시킨다는 것이다. 이렇게 제작하면 연장된 END부의 가공시에 용접될 양쪽 SHELL과의 두께를 같이 맞출 수 있기 때문에 발전소 운전중에 실시하게 되는 용접부 가동중 검사를 직선부에서 쉽게 할 수 있는 장점이 있다.<sup>(2)</sup>

### 2.1 STRAIGHT SHELL

1,400MW에서도 하나의 증기발생기에는 모두 4개의 원통의 형태를 가진 STRAIGHT SHELL이 들어가게 된다. 그것은 증기발생기의 상부에 위치하고 있는 UPPER SHELL(1), (2)의 2개와 하부에 위치하고 있는 LOWER SHELL(1), (2)의 2개를 의미하는데, STRAIGHT SHELL은 1,400MW에서도 4개가 들어가는 것은 동일하며 직경과 길이가 변함에 따라 중량이 크진 것 외에는 형상 자체는 동일하므로 단조공정은 1,000MW급과 동일하다. 다만, 직경과 중량이 커지기 때문에 제품 형태에 맞는 설비 여건을 구축하고, 중량물인 관계로 제품 이동시의 HANDLING 방법에 대한 세심한 주의가 필요하다.

### 2.2 TRANSITION SHELL

TRANSITION SHELL은 위쪽과 아래쪽의 직경이 다른 CONE모양의 SHELL 단조품을 말한다. Fig. 2와 같이 1,400MW에서의 TRANSITION SHELL은 앞에서 언급한 것처럼 END부가 연장된 TRANSITION SHELL의

형태로 들어가기 때문에 단조작업 공정 또한 일반적인 TRANSITION SHELL의 형태와는 상이하다.

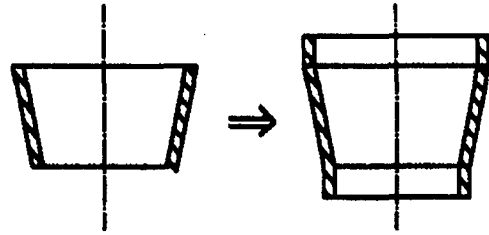


Fig. 2 Shape Variation of Transition Shell

Fig. 3은 END부가 연장된 TRANSITION SHELL의 단조작업 공정을 보여 준다.

(1) Ingot Making & Discarding	(2) Upsetting & Punching
(3) 1st Hole Enlarging	(4) Mandrel Forging
(5) 2nd Hole Enlarging	(6) Final Forging

Fig. 3 Forging Process of End Part Extension Type Transition Shell

Fig. 4는 본 제품에 대한 공정개발을 위하여 순납을 사용하여 1/30 Scale로 축소모델실험을 수행하고 있는 모습을 보여주고 있다.

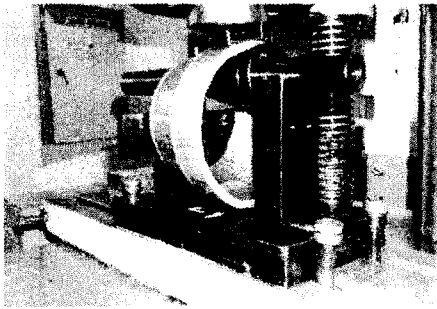


Fig. 4 Model Experiment

### 3. HEAD의 자유단조

하나의 증기발생기에는 등근 컵 형태를 가진 HEAD가 2개 들어가게 되는데, 상부의 TOP HEAD DOME과 하부의 PRIMARY HEAD를 말한다.

Fig. 5는 TOP HEAD DOME의 형상 변화를 보여주고 있는데, 1,000MW 경우에는 TOP HEAD DOME과 TORUS를 분리하여 제작하였으나, 1,400MW의 경우에는 일체형 제품을 요구하는 추세이므로 새로운 단조작업 공정개발이 요구된다.

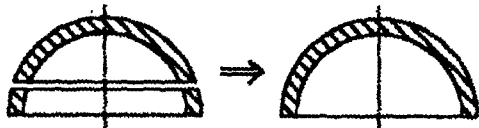


Fig. 5 Shape Variation of Head

Fig. 6은 타사의 단조작업공정의 예를 보여주고 있는데, 대형 PRESS의 COLUMN밖에서 HEAD FORMING을 할 수 있는 장치의 개념도를 보여주고 있다

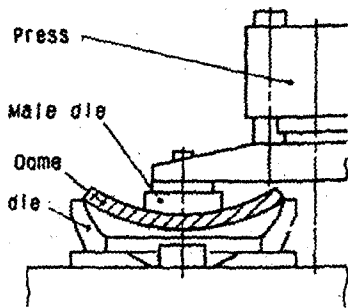
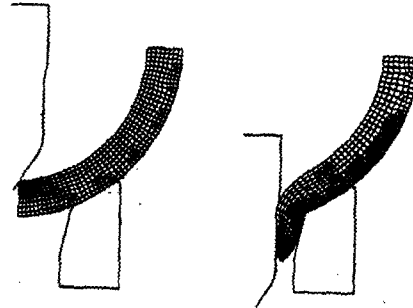
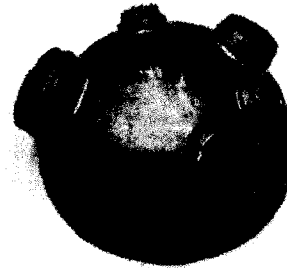


Fig. 6 Outside Head Forming Apparatus<sup>(3)</sup>

한편, 하부의 PRIMARY HEAD의 경우에는 NOZZLE과의 일체형 HEAD를 요구하는 추세이다.<sup>(4)</sup> Fig. 7은 NOZZLE 일체형 HEAD의 제작을 위한 공정 설정을 위하여 당사에서 COMPUTER SIMULATION과 축소모델 실험을 수행한 예를 보여주고 있다.



(a)



(b)

Fig. 7 Computer Simulation and Model Experiment of Nozzle Integrated Head

### 4. TUBE SHEET의 자유단조

TUBE SHEET는 증기발생기의 안쪽에 설치되어 수많은 튜브들이 꼽히게 되는 SHEET의 형태를 하고 있는 단강품이다.

TUBE SHEET 또한 다른 단강품들과 마찬가지로 1,400MW로 되면서 그 크기와 중량이 증가하였는데, 경이  $\phi 5500$  정도가 되기 때문에 당사의 경우에는  $\phi 45$ 까지 하부 Turning Die를 보유하고 있기 때문에 현재

환경하에서 작업할 수 있는 공정의 개발이 필요하다.

Fig. 8은 단조작업공정의 한 예를 보여주고 있는데, TUBE SHEET의 바깥쪽과 안쪽을 2단계로 나누어서 작업하는 예를 보여주고 있다.

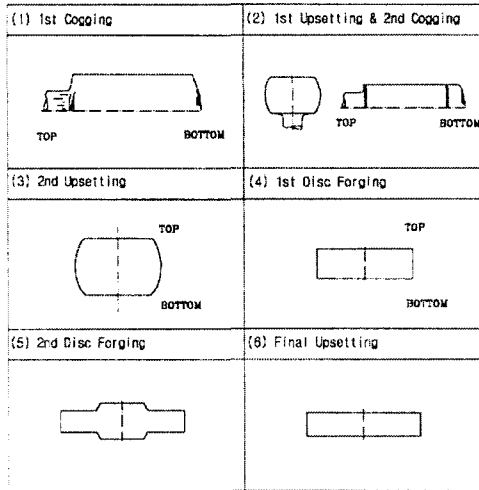


Fig. 8 Forging Process of Tube Sheet

## 5. 결론

본 논문에서는 1,400MW 원자력 증기발생기에 들어가는 여러가지 초대형 단강품을 자유단조로 제조하는 방법에 대하여 개괄적으로 설명하였다. 이를 위하여 증기발생기를 구성하는 단강품의 종류를 크게 SHELL, HEAD

및 TUBE SHEET로 나누고 각각에 대한 세부적인 단조 작업 공정과 중요한 단조공정 설계 방법에 대하여 기술하였다.

특히, 1000MW 표준형 원전의 증기발생기에 들어가는 주요 단강품의 형태와 비교하여 그 차이점을 설명하고 새로운 공정개발의 필요성과 추진현황에 대하여 기술하였다.

## 참고 문헌

- (1) 김동권, 김재철, 김영득, 김동영, 2003, "대형 압력용기 단강품의 자유단조", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp.756-759.
- (2) K. Suzuki et al., 2000, "Application of High Strength MnMoNi Steel to Pressure Vessels for Nuclear Power Plant", Proceeding of the 14<sup>th</sup> Int'l Forgemasters Meeting, pp.234-241, September 3-8, Wiesbaden, Germany.
- (3) H.Tsukada et al., 1995, "Recent Progress of Large and Integrated Forgings for Nuclear Power Plant", Proceeding of the 3<sup>rd</sup> JSME/ASME Joint Con'f on Nuclear Engineering, pp.439-444, April 23-27, Kyoto, Japan.
- (4) H.Nagasako et al., 1995, "Development of Manufacturing Techniques of Forged Primary Head with Integral Support Lugs", Proceeding of the 3<sup>rd</sup> JSME/ASME Joint Con'f on Nuclear Engineering, pp.433-438, April 23-27, Kyoto, Japan.