

발전용 소재 단조기술 및 국내 단조업계 동향

김정태[#], 장희상¹, 김동권², 김영득², 김동영²

Recent Trend to the Forging Technology of Power Plant Components and Status of Forging Company

J. T. Kim, H. S. Chang, D. K. Kim, Y. D. Kim, D. Y. Kim

Abstract

The increase of CO₂ emission by increasing of fossil fuel usage has been understood a major cause of global warming. The supply of electric energy is heavily dependent on the massive thermal power and nuclear power plant before developing the renewable energy to supply the electric energy stably at a low price. The large and sound forged components of pressure vessel, turbine and generator are widely used in power plant such as wind power, hydroelectric power generation, nuclear power and thermal power plant. This paper is discussed the trend of manufacturing technology for pressure vessel and turbine to satisfy the required condition of utility company. It is also introduced a strategy of forging industry to cope with carbon tax.

Key Words : CO₂ Emission, Nuclear Power Plant, Electric Energy, Carbon Tax, Forging Industry, Pressure Vessel, Turbine, Rotor

1. 서론

지구 온난화를 일으키는 주된 요인이 Green House 역할을 하는 이산화탄소, 메탄, 프레온 등 여러 종류의 가스 농도 증가이다. 이 중에서 화석 연료를 이용한 에너지 의존도 증가에 따른 이산화탄소의 배출량의 증가가 온난화를 일으키는 주요한 요인으로 인식되고 있다. 인류의 삶의 질을 높이고, 산업발전을 도모하는 기초 에너지가 전기이다. 이산화탄소 배출이 적은 대체 에너지를 개발하여 싸 가격에 안정적으로 전기 에너지를 공급하기 전까지는 대용량의 화력발전 및 원자력 발전 시스템이 주요 전기 에너지를 공급할 수 밖에 없는 실정이다. 대체 에너지로 최근 각광을 받고 있는 풍력발전, 수력발전, 원자력 및 화력 발전소 건설에는 압력기와 터빈 발전기 부품은 대형의 건전한 단조품이 다량으로 사용된다. 세계

적으로 대체 에너지, 기존의 화력 및 원자력 발전소 건설 증가, 조선산업의 수요 증가 등에 힘입어 국내에도 3,000톤 이상의 프레스를 가동하거나 투자하는 업체가 13 개 회사에 이르러 세계적인 단조품 생산국가로 성장하였다[1].

특히 원자력 압력기기는 단조 제품을 용접하여 최종 기기로 완성하는 데 설비의 안전성과 가동 중의 파손 저항성을 높이고, 가동 중 용접부의 검사비용과 검사시간을 줄여 경제적인 발전소를 가동할 목적으로 용접개소를 줄인 압력기기를 선호하고 있다. 또한 저압 터빈 로타는 종전의 로타 축과 버켓 휠을 열박음하여 제작하던 것을 가동 중에 발생하는 응력부식파괴 저항성을 높이기 위해 용접형 및 일체형 단조품으로 제조하고 있다. 단조업계는 고 에너지 사용산업이므로 탄소 배출이 관련 산업에 미치는 파급영향을 간단하게 조명하고자 한다.

1. 두산중공업 주단BG

2. 두산중공업 기술연구원

교신저자: 두산중공업 기술연구원,

E-mail : jeongtae.kim@doosan.com

따라서 본 논문에서는 원자력 발전소 운영회사의 요구조건을 충족하는 압력기와 터빈제조 기술동향과 탄소세 거래에 대비한 단조업체가 고려하여야 하는 사항을 소개하고자 한다.

2. 압력기 및 로타 단조동향

단조품의 품질은 단조공정뿐만 아니라 정련, 잉곳제조, 열처리 공정의 영향을 받으며, 그림 1은 요구되는 품질수준과 관련공정과의 관계를 나타내었다. 단조품의 품질은 특정공정에 의하여 결정되는 것이 아니라 여러 공정이 복합적으로 작용하여 제품의 질을 결정하므로 야금학 및 기계공학적인 접근이 필요함을 알 수 있다.

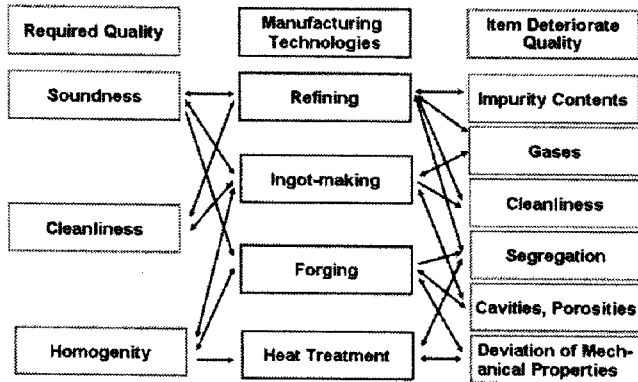


Fig.1 Relationship between manufacturing technology of forgings and required quality

2.1 압력기기

그림 2는 가압 경수로 형 원자력 발전소를 도식적으로 나타내었다. Containment 빌딩 내부에는 터빈 구동에 필요한 증기를 생산하는 원자로, 증기발생, 가압기 및 원자로 냉각배관 파이핑 시스템 등 1차 계통이 설치되어 있다. 바깥 건물에 터빈 발전기 등의 2차 계통을 설치하여 가동 안전성을 제고하고 있다. 1차 계통의 압력기는 기기의 내부구조물을 설치하는 외피와 노즐은 단조하여 용접으로 부착하여 사용하였다. 최근에는 용접개소와 용접선 길이를 대폭 줄여 가동 중 안전성을 증대시킨 신형 원자력발전 시스템(Advanced Power; AP-1000)을 웨스팅하우스가 개발하여 건설하는 단계에 있다. 이에 따라 압력기기 제작과정의 용접개소와 용접길이가 대폭 줄이는 단조 기

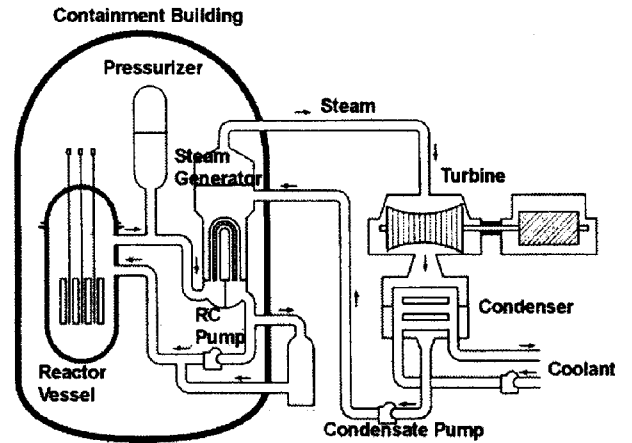
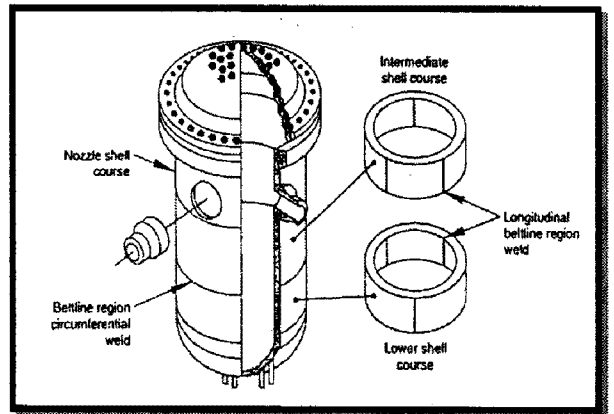


Fig.2 Schematic diagram of PWR nuclear power



1970~1980	1981~2000	Future
Longitudinal Electro-slag Welds 4		
Meridian Electro-slag Welds 4		
Nozzle Welds 8	Nozzle Welds 8	
Circumferential Welds 8	Circumferential Welds 4~5	Circumferential Welds 3~4

Fig.3 Variation on the welding line of reactor vessel

술을 선진 단조회사들이 개발하여 적용하고 있다. 그림 3은 원자로 제작에 적용하는 용접 개소의 변화를 나타내고 있다. 지금까지는 압력기기를 구성하는 셸, 헤드 및 노즐을 분리형으로 제작하여 용접하므로 용접개소가 12~13개 이었다. 그러나 AP-1000 발전 시스템에서는 노즐과 헤드를 일체

형으로 단조하여 셸과 헤드를 부착하여 용접개소를 3~4개로 줄이는 것을 고려하고 있다.

이러한 셸-노즐, 헤드-노즐 일체형 제품제조는 단조공정 해석, 단조 Pass 설계 및 해석기술을 통한 단조기술을 확립하여야 할 것으로 판단된다[2].

2.2 로타

그림 4는 원자력 발전용 저압 터빈 로타의 형식을 나타내고 있다. 종래의 단조와 잉곳제조 역량이 미흡하였던 1990년대 중반까지는 그림 4 a)의 Shrunken-on disk 형식을 사용하였다. 그러나 이 형식은 가동 중의 부식환경과 응력에 의하여 버켓 휠의 키웨이, 증공, 버켓 조립부에서 응력부식균열 및 부식피로에 의한 가동 중 균열생성, 전파에 의한 조기 파손사례가 발생하는 문제점이 제기되었다. 이에 대한 보완으로 그림 4 b)와 c)의 일체형 및 용접형이 개발되어 Shrunken-on disk 형식을 대체하게 되었다. 일체형은 일본제강소(JSW)와 일본주단(JCFC)이 제조하여 공급하고 있다. 용접형은 유럽에서 주로 사용하는데 일체형으로 제조할 수 있는 잉곳을 제작할 수 있는 역량이 미흡하여 독일의 Saarschmiede가 디스크를 제작하고, Alstom과 Siemens 등의 발전설비 공급회사가 용접하여 제작하고 있다.

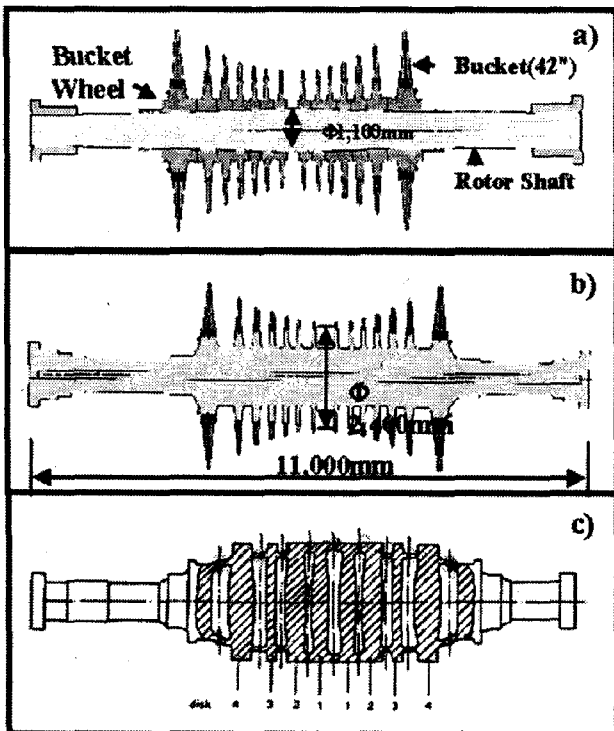


Fig.4 Schematic drawing of LP rotor for nuclear power plant. a) Shrunken-on disc type b) Mono-block type c) Welded type

일체형 로타를 제조하는 데 필요한 잉곳은 480~600톤 중량이다. 단조과정에 주조과정에 생성된 기공을 압착하고, 중심부에서도 균일한 미세조직을 확보하는데 필요한 유효 변형을 얻으면서 인장응력이 생성되지 않는 Free from Mannesmann Effect(FM) 단조기술을 개발하여 적용하고 있다[3]. 그림 5는 제품의 내부 건전성을 확보하기 위해 Upsetting한 단조품의 코깅과정에 나타나는 변형률 분포를 해석한 결과를 나타내고 있다. 또한, 단조 Pass 설계에 따라 기공이 압착되지 않아 품질에 영향을 미치는 경우와 완전한 압착이 일어나는 현상을 실험으로 비교하여 나타내었다.

이러한 결과로부터 건전한 대형 단조품을 생산하기 위한 단조공정 Pass, 다이 설계 및 단조 시뮬레이션 기술 등의 중요성을 알 수 있게 한다.

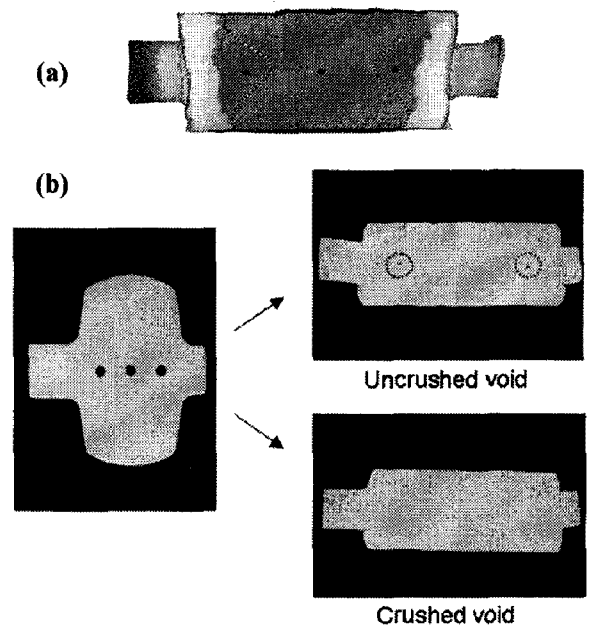


Fig.5 Analysis on the Monoblock rotor (a) Effective strain distribution (b) Void consolidation with respect to cogging process

3. 국내 단조업계 현황

4,000톤 이상의 자유단조 프레스를 가동하거나 신규 투자하는 국내업체 현황을 표 1에 나타내었다. 국내 단조업체의 연간 생산용량이 2007년 현재 100~120만 톤으로 추정되어 일본, 독일, 중국에 이어 4위 수준이다. 이는 미국의 2002년 생산

량 35만 톤[4]의 3배 수준으로 생산 량 기준으로는 세계적인 위치에 있다. 더욱이 몇몇 업체가 생산하는 조선 기자재 및 풍력발전 부품의 품질과 가격 경쟁력이 세계 단조업체의 톱 수준에 진입한 상태인 것으로 분석되고 있다. 그렇지만 지속적인 경쟁력 향상과 품질 안정화 및 신 제품개발을 위한 역량 확보 필요성이 요구되는 것으로 파악되고 있다. 단조산업이 고 에너지 사용 산업인 점을 고려하여 2013년 이후 교토 의정서 비준국가에 대비한 사전 준비가 필요한 것으로 분석된다. 즉 가열로, 열처리 설비의 열원 및 전기 에너지 사용에 따른 이산화탄소 배출량을 절감하기 위한 대책으로 고려되는 사항이다.

따라서 생산제품 톤당 사용하는 유효 에너지 양을 효과적으로 절감하고, 단위 에너지 생산당 이산화탄소 배출량이 적은 에너지원으로 변경하는 등 기술혁신이 확립되어야 할 것으로 판단된다.

Table 1 Status of open die forging company

회사	소재지	프레스용량(톤) × 보유대수	비 고
두산중공업	창원	13,000 × 1기 4,200 × 1기 1,600 × 1기	
현대중공업	울산	8,000 × 1기 4,000 × 1기	
태웅	부산	8,000 × 1기 5,000 × 1기 2,000 × 1기 1,500 × 1기	
현진소재	부산	5,000 × 1기 3,500 × 1기 2,500 × 1기	
평산금속	부산	6,000 × 1기 4,000 × 1기 2,500 × 1기	
세아베스틸	군산	6,500 × 1기 4,000 × 1기 2,000 × 1기	
명성금속	김해	4,500 × 1기 3,000 × 1기 2,000 × 1기	
포스코특수강	창원	9,000 × 1기 1,800 × 1기	투자 중
한국철강	창원	8,000 × 1기 2,500 × 1기 1,000 × 1기	투자 중

4. 결 론

1) 원자력 발전소의 안전성과 가동률을 제고하기 위한 압력기기의 용접 개소를 경감시킬 수 있는 웰-노즐, 헤드-노즐 일체형 제품 단조공정 해석, 단조 Pass 설계 및 해석기술의 확립이 필요한 것으로 판단된다

2) 건전한 대형 단조품을 생산하기 위한 단조공정 Pass, 다이 설계 및 단조 시뮬레이션 등 지속적인 기술역량 확보가 필요하다.

3) 교토 의정서 비준에 대비한 지속적 경쟁력 유지를 위해 단조 산업계의 생산제품 톤당 사용하는 유효 에너지 양을 효과적으로 절감하는 기술혁신이 확립되어야 할 것으로 분석된다.

참 고 문 헌

- [1] J. T. Kim, S. H. Ko, H. C. Yoon, 2006, The status of open die forging industry in Korea, IFM2006, pp. 101~112
- [2] 김동권, 김영득, 김동영, 2005, 원자로용 대형 헤드 단강품의 자유단조, 한국소성가공학회지, 제14권, 제6호, pp. 565~569.
- [3] K. Nakajima, K. Watanabe, 1980, Study on the closing and consolidation of internal cavities in heavy ingots by hot free forging, Proceedings of the 4th Int. Conf. on Production Engineering, pp. 166~171
- [4] K. J. Handerhan, 2003, Recent developments in the north American open die forging industry, IFM2003, pp.22~28