

고정밀 장축 튜브 제작에 관한 연구

A Study on the Manufacturing of High Precision Long Tube

*이용후¹, 박동학¹, #이도형², 박완규³, 박태윤³

*Y. H. Lee¹, D. H. Park¹, #D. H. Lee(leedh@pknu.ac.kr)², Y. K. Park³, T. Y. Park³

¹주식회사 수력, ²부경대학교 기계공학부, ³한국수력원자력(주) 월성원자력본부

Key words : Ram Tube, Long Tube, Drawing, Deep Hole

1. 서론

지구 온난화에 따른 오염물질 저감대책과 더불어 원유 가격 상승에 따른 연료전지, 태양에너지, 원자력발전 등의 신·재생에너지에 대한 관심이 증가하고 있다. 이들 중 원자력발전은 환경오염 및 안정적 운용 측면 등에 있어 많은 이점을 가지고 있어 원전신설 및 수명연장 등이 이루어지고 있는 실정이다.

원전설비는 특성상 매우 높은 정밀도 및 안정성을 요구하며, 연료이송 등 직접적으로 관여하는 1차 계통의 부품은 사소한 문제라도 발전 중단 등의 문제점이 발생할 가능성이 있어 매우 중요한 부품이라 할 수 있다. 이들 부품 중 중수로 연료교환기의 램튜브는 운전 중 연료교환 등에 필요한 전·후진 운동을 전달하는 중간 역할을 하는 부품이다. 본 연구에서는 최대 전장길이 4242mm의 장축 부품으로써 고정밀, 고경도 등을 요구하는 램튜브 제작에 관하여 연구하고자 한다.

2. 제작 방법

램튜브는 장축튜브인 동시에 고정밀, 고경도 등을 요구하는 부품이다. 따라서 이러한 요건을 만족시키기 위해서는 재료의 선정부터 제작공정, 제작 기법 등에 관한 다양한 접근이 필요하다.

2.1 규격 및 재질

아래 Table 1에는 램튜브의 각 부품별 규격 및 재질에 대해 나타내었다. 최대전장은 4242mm이며 전체적으로 4000mm 전후의 장축 제품임을 알 수 있다. 그리고 제품의 재질은 각 부품별 역할 및 도금여부 등에 따라 선정하였다. 각 부품은 최소 0.5mm의 직진도 및 0.08mm의 동심도를 만족하여야 한다. 또한 부품에 따라 내외경 경질 크롬도금을 실시하여야 하며 최소 내경 0.05mm, 외경 0.08mm의 도금두께를 만족하여야 한다.

Table 1 Ram Tube Size and Material

종류	규격(Size)	재질(Material)
No.1 램튜브	Ø19 * 3648mm	ASTM A312 TP304L
No.2 램튜브	Ø29 * 3597mm	ASTM A276 TP410
No.3 램튜브	Ø38 * 4133mm	ASTM A276 TP410
B 램튜브	Ø99 * 3810mm	ASTM A564 GR.630
C 램튜브	Ø57 * 4130mm	ASTM A276 TP410
Latch 램튜브	Ø84 * 4242mm	ASTM A276 TP410

2.2 제작 공정

램튜브 제작에 따른 공정은 치수확보를 위한 가공방법에 따라 크게 두 가지로 나누어 진행되었다. 먼저 No.1, No.2, No.3, C, Latch Ram Tube는 인발가공을 통해 부품의 기본 치수를 확보하였다. Fig. 1은 No.2, No.3, C,

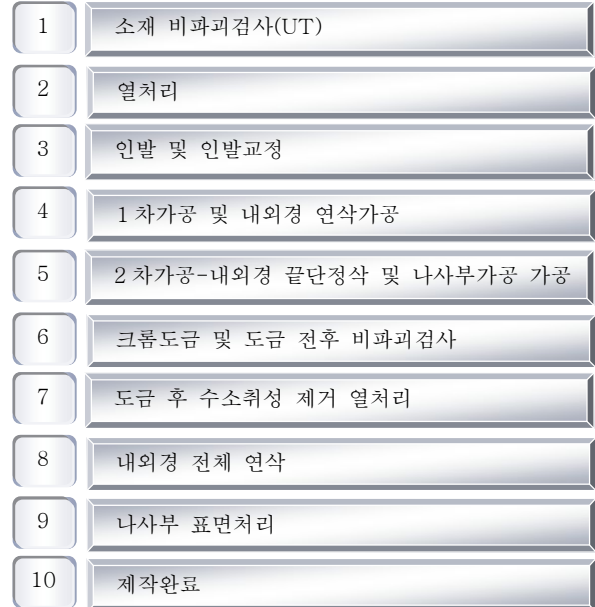


Fig. 1 Manufacture process of No.1, No.2, C, Latch Ram tube

Latch Ram tube의 제작공정으로 소재입고 후 소재내부의 건전성 확인을 위한 비파괴검사, 소재 잔류응력 제거를 위한 열처리, 인발 및 교정, 1차가공 및 내외경 연삭, 끝단가공 및 나사부 가공을 포함한 2차 가공, 도금 및 도금전후 비파괴 검사, 도금 후 수소취성 제거를 위한 열처리, 내외경 연삭, 나사부 응력제거 순으로 이루어진다.

소재의 기본치수 확보를 위한 인발 공정은 Fig. 2와 같으며, 인발 전·후의 치수변화는 Table 2와 같다. 인발공정은 원자재의 규격 및 치수 등을 검사하는 원자재 검사,

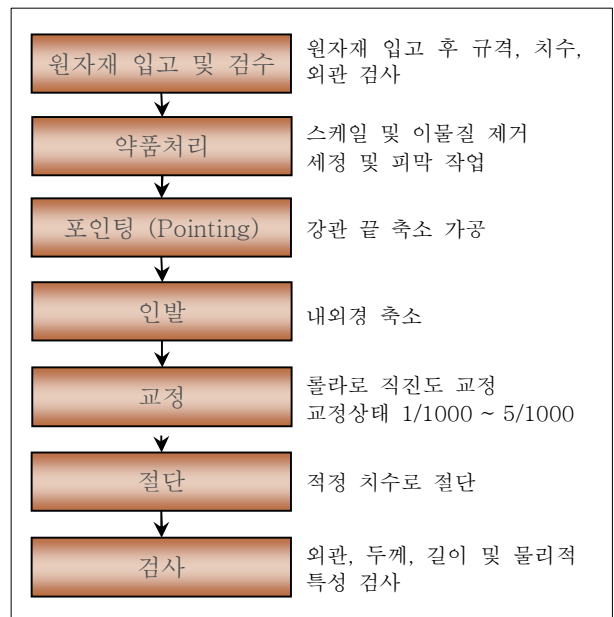


Fig. 2 Drawing Process

Table 2 Changed Size after Drawing (unit: mm)

항목 종류	인발 전			인발 후		
	내경	외경	두께	내경	외경	두께
No.1	16.1	21.7	2.8	14.1	19.1	2.5
No.2	29.1	31.8	2.7	23.5	28.8	2.65
No.3	38.3	41.0	2.7	33.1	38.4	2.65
C	51.8	60.5	8.7	41.1	57.4	8.15
Latch	83.0	87.0	4.0	76	83.8	3.9

이물질 제거 및 세정·파괴작업을 하는 약품처리, 강관 끝단을 축소가공하는 포인팅, 내·외경을 축소하는 인발작업, 제품의 직진도를 수정하는 교정작업, 적정 치수로의 절단, 외관 및 치수 등을 확인하는 검사 작업순으로 이루어진다. No.1 Ram tube의 작업 공정은 Fig. 1과 유사하나, 최종공정에서 용착물의 용접실시 및 도금의 생략이 다른 제품과의 차이점이다.

B 램튜브 제작을 위한 공정은 앞의 인발공정 대신 Deep hole 가공을 통해 제품의 치수를 확보한 것이 가장 큰 차이점이다. 제작공정은 소재의 입고 후 건전성 확인을 위한 비파괴 검사, 잔류응력 제거를 위한 열처리, 내·외경 황삭 및 Deep hole 가공을 거쳐 내·외경 정삭가공을 실시하였다. 이후 도금 및 도금 전·후의 비파괴 검사, 도금 후 수소취성 제거를 위한 열처리, 나사부 응력제거 순으로 제작을 실시하였다.

Fig. 3은 인발과정에서 발생한 불량부분을 나타낸 것으로 인발금형에서 발생하는 과도한 마찰에 의한 형상불량, 포인팅 작업과정에서의 크랙발생, 인발과정에서 힘의 불균일에 따른 조도불량(파상도 현상), 직진도 불량 등이 대표적인 불량사례들이다.

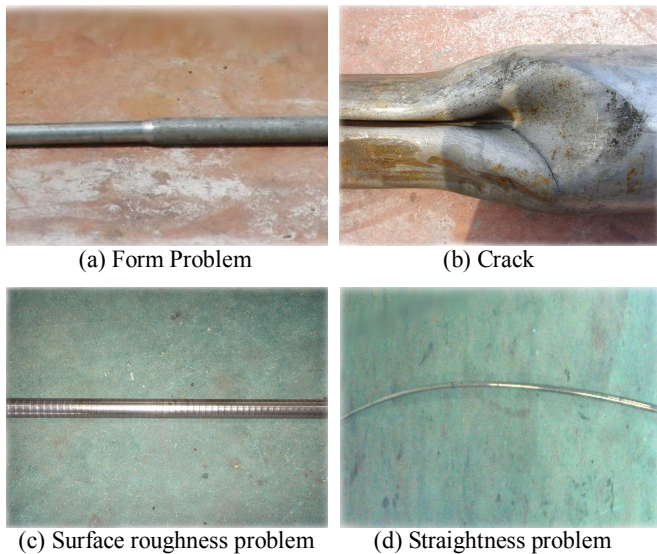


Fig. 3 Defective product at drawing process

3. 품질 테스트

제품에 대한 품질 테스트는 크게 치수 검사 및 실증 테스트 두 가지로 나누어 진행되었다. 치수 검사의 평가 항목은 내·외경 치수 및 직진도, 동심도, 도금 두께, 나사산 검사를 실시 하였으며, 직진도는 자체 제작하여 KOLAS 인증업체로부터 검교정을 실시한 형상공차장비(5,000mm *

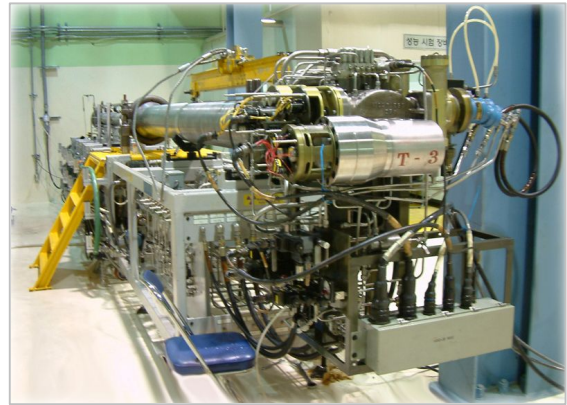


Fig. 4 Ram test ring

600mm * 950mm)를 사용하였다. 나사부는 나사게이지(Go-No gage)를 이용하여 측정하였으며, 튜브 내부 검사는 내시경 카메라를 이용하여 표면상태를 검사하였다.

성능평가를 위한 각 부품별 실증테스트는 월성원자력 본부 제 1 발전소에 위치한 램집합체 성능 시험설비(RTR, Ram Test Ring)를 이용하여 실시하였으며 관련 장치를 Fig. 4에 나타내었다. 테스트 방법은 램집합체 성능시험절차서에 따라 실시하였으며 그 결과 속도변화에 따른 토크값, 이동거리변화 등이 모두 적합한 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 중수로 연료교환기의 Ram Tube 제작에 관한 것으로 높은 정밀도 및 강도 등이 요구된다. 따라서 제품의 역할 등 특성에 따른 적정 재료의 선정이 요구되며, 제품의 직경에 따라 제작성을 고려하여 인발가공 또는 Deep hole 가공 실시함으로써 정밀도 및 강도, 제품별 역할을 만족하는 제품을 제작할 수 있었다.

후기

본 연구는 한국수력원자력(주)에서 지원하는 ‘중소기업지원 협력연구개발사업’ 중 ‘중수로 연료교환기 램 집합체 부품 국산화 개발’ 과제로 수행되었습니다.

참고문헌

1. ASME Y14.5M, “Dimensioning and Tolerancing”, ASME, 1994
2. SAE AMS 2406L, “Plating, Chromium Hard Deposit”, SAE, 2007
3. 한국수력원자력(주), (주)수력, "중수로 연료교환기 램 집합체 부품 국산화 개발", 2009