

원전 방사능오염 배관해체와 Cutting Chip 및 내부존재 방사성 액·기체 수집처리 연구

정철영*, 김민수, 장동규, 박정원

(주)액트알엠티 대전광역시 유성구 테크노1로 11-3

*jcy6535.@naver.com

1. 서론

1978년 고리 1호기는 상업운전을 시작한 이후 40년 동안의 수명을 다하고 2년 후에는 우리나라 최초의 원자력 발전소 폐로 대상이 된다. 이후 약 5년의 냉각 과정을 거쳐 발전소는 해체될 예정이다. 세계적으로 2015. 1월 현재 운전 중인 원전 431기 중 2050년까지 약 420기가 폐로 대상이 된다. 영구 정지된 원전 147기 중 18기는 해체되고 현재 129기의 원전이 해체단계에 있으나 새로 건설 중인 원전도 107기나 되며 추가 76기가 계획 중에 있다. 국내에는 연구용 원자로 2개호기 해체 경험을 바탕으로 해외 기술 도입과 관련 연구가 각 기관별로 활발히 진행 중이다. 따라서 원전 배관 해체관련 단계별 최적의 방사선작업 안전관리 및 작업장의 환경 보전, 종사자 피폭 저감을 위한 오염 확산 방지 대책의 기술연구를 통하여 금속 절단시 발생하는 Cutting Chip 등 비산물과 배관 내부 방사성 오염물질 회수를 위한 Portable 수집 처리기기를 개발하여 배관해체 Project에 효용이 있을 것으로 기대된다.

2. 본론

2.1 개요

산업에서 상용으로 사용 중인 Pipe는 Standard Type 외 5종으로 구분되며 호칭경(NPS, 31종; 1/8~42")과 Schedule Number(SCH, 5S~XXS)로 두께 등 사양에 따라 분류 한다. 원자력 발전소에서 사용되는 Pipe는 Pressure Type이 사용되며 Reactor Coolant System의 일부 배관은 규격 외 기준으로 설계되었다. Pipe line은 탱크와 펌프 등 기기 간에 용액, 기체, 증기 등 매체(Media)의 수송(순환)을 위해 매체의 종류, 유량과 온도, 압력 등의 운전조건과 안전성 등 상호 역학적 관련성을 고려하여 배관의 크기(Size)와 두께, 재질 그리고 지지대 Type (Hanger, Support 등)이 결정된다. 원자력 발전소 Basic System은 Primary Coolant, Secondary Coolant, Instrumentation, Demineralization, Pressurizing, Condensate & feed, Radioactive Waste System 분야로 구

분 설계되고 방사성 용액을 순환하거나 포함하면 Nuclear Piping System, 그 외 증기와 관련되면 Conventional Piping System으로 분류된다. Nuclear Piping System은 대부분 고온, 고압의 운전 조건과 내방사선을 고려하여 Alloy Steel인 SUS Type 304, 316(L), 400, 인코넬 등이 주로 사용된다. 주성분은 Ni, Cr, Fe, C 그 외 미량원소가 Type에 따른 비율로 합금되어 있다. 원자력 발전소 가동 중 이들의 원소가 중성자와 고 하전 입자에 노출되어 방사성을 띄게 된다. 배관해체 작업(PLTD)은 방사성을 띤 중량물의 취급 작업으로 Field에서 Cutting 작업 후 Shop에서 이루어지므로 작업장에 대한 구획관리와 공기정화계통(HVAC)의 활용, 비산물 수집 처리 등 작업장 환경개선을 위한 안전대책이 매우 중요하다.

2.2 배경기술

배관 해체의 핵심기술은 고 방사선지역의 특수 조건하에서 방사성오염 물질의 취급 및 금속절단, 절단시 발생하는 방사성을 띤 비산물(Austenitic s/s NPS 12", Sch 80s, 절단폭 1/4" 기준 약 644.5g/발생)량의 예측 계산을 통한 수거처리와 그의 관리대책 수립, 방사선(능)량의 측정 및 분석 평가, 작업 단계별 방사선 작업 조건의 분류 감시, 작업구역의 구분 등 방사선 안전관리이다. 원자력발전소 계통의 이해와 해체 경험이 있고 방사선 방호 상식과 핵심 기술력을 갖춘 인력과 장비의 확보 그리고 최적의 Master Plan과 환경보전 활동, 인허가 등 Project를 위한 기술적인 배경을 갖고 추진하는 System구축이 필요하다.

2.3 배관해체 기술의 특징

원자력발전소 해체대상 배관은 방사성을 띄고 중량물[예시NPS24 Sch160 1Foot는 541.94 Lb(245.8 Kg)]로 PLTD Spool에 대한 사전 예측 중량을 계산하여 취급하여야 하며, 고방사선 구역의 고소지역 천정, 협소지역의 벽체, 바닥에 지지대에 구속 설치되어 있어서 필요시 원격 절단 해체 작업준비 공정 수행에 대한 방사선 안전관리, 구체적인 작업 구역 확정 관리, 방사성오

염 평가, 특히 해체 배관의 규격화를 위해 Field Cutting후 Shop Cutting 작업이 수반되므로 방사성 물질 간 이송 Route 확보와 안전관리기준 설정 등의 난이 성을 극복하여야한다.

PLTD 성공 필수요소는 작업환경으로의 오염 확산 방지를 위한 Glove Box Type Chamber 개발 및 비산물 회수처리 적용이다. 필요시 해체 배관의 재활용을 위해 재질에 대한 Stress & Strain의 평가, 외관의 Scratch 여부와 두께 감육 상태의 검사, 방사화 분석 평가를 수행하여야 한다. PLTD Spool에 대한 해체 이력관리와 함께 QVD를 작성하고 이물질 유입 방지를 위한 End Capping후 식별이 용이하게 관리한다.

2.4 PLTD "Cutting Chip" 수집 및 "배관 내부 방사성 오염 액기체" 제거기 개발

Portable Scrubber System은 흡입부, 세정 여과부, 토출부로 구분하며 기기 각부의 필터는 탈부착이 용이한 설계장치로 구성되어있다. PLTD Cutting Chip과 방사성 오염 액체와 기체의 여과 포집의 기능을 가진다.

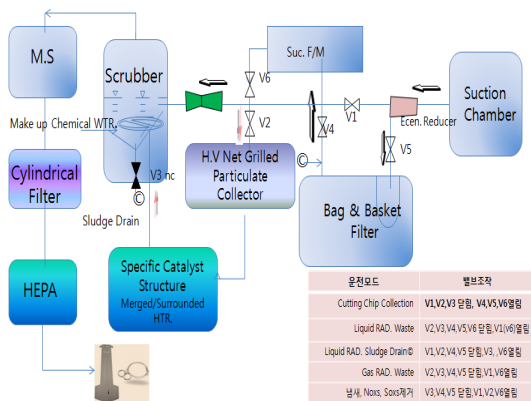


Fig. Portable Scrubber Drain & Venting System Block Diagram

Suction Chamber로 부터 유입되는 Cutting Chip과 같은 방사성 물질은 Bag/Basket Filter에 우선 수집되고 방사성오염 기체는 흡입부의 Scrubber Chamber Target Plate에 충돌하여 무거운 입자는 Swirl Down Flow가 형성되어 포획되고 여분의 방사성 기체는 Scrubber에서 세정되어 MS 후단 Cylindrical Filter와 HEPA에 여과된 후 배출된다. Merged Heater 설계로 Scrubber내부의 Sludgy 처리를 위한 Evaporation 기능과 배관내부의 방사성 오염물질과 함께 존재하는 Noxs, Sox, 냄새, 세균 제거 부가기능도 설계하여 각 기능별 Mode 운전이 가능하다.

3. 결론

Nuclear Piping System의 방사화된 배관 모재와 그의 부식 및 침식물 중의 반감기($T_{1/2}$)가 비교적 긴 주요핵종 Fe^{55} (2.6y), Mn^{54} (303d), Co^{60} (5.26y), Ni^{59} (8×10^4 y), Nb^{94} (2×10^4 y) 등과 핵연료의 손상에 기인한 핵종 Cs^{134} (2.05y) 등은 배관내부 표면에 Spinelle 구조의 산화 막과 Welding Root bead 등 틈새에 존재하게 된다. 배관 해체 전 내부의 제염과 Cleaning을 수반 하지만 배관이 건조하거나 가열 상태에서는 배관내부 표면의 잔존 방사성 액기체와 Loose Part Contaminated Hot Particle 등이 배관 절단 시 작업 환경으로 누출될 우려가 있다.

배관 철거 작업(PLTD)에 대한 철저한 방사선안전 작업관리 시행을 통하여 안전성을 확보하고, 개발한 Portable Scrubber System을 활용하여 "Cutting Chip" 수집 및 "배관내부 오염" 제거, 처리의 수행이 가능하다.

작업 단계별 작업자의 방사선 위해방지 노력과 작업 환경의 보전으로 사회적 민원이 유발되는 상황을 미연에 방지하여 배관해체 Project가 성공적으로 추진되었으면 한다.

4. 참고문헌

- [1] The 19th Survey on the Status of Nuclear Industry(2013).
- [2] Radiological Health Hand Book(1970).
- [3] Piping Hand Book 5th ed., 7-15~24, 16-2.
- [4] 임석남, 채경선, 정도영, 이종철, "국내의 원자로 방사선 특성평가 준비사항" J. of the of the KRS SPRING 13(1), 01-202.(2015).