

월성1호기 증기발생기 1차측 세정기술 경험을 통한 방사선안전관리 측면에서의 최적 관리기법

이경호, 홍용호, 김길권, 조천휘, 김성민*

(주) 액트, 대전광역시 유성구 관평동 한밭대학교 기술 상용화센터 3층

*한국수력원자력(주) 원자력발전기술원 대전시 유성구 금병로 508번지

khlee@actbest.com

1. 서론

CANDU형 증기발생기의 경우 냉각재 계통의 경년 열화에 따라 원자로 입구 모관의 온도 상승 및 모관간의 차압 감소 현상이 발생하여 ROP 정지 설정치의 감소 및 원자로 출력의 감발이 예상되고 있다. 원자로 입구 모관 온도 상승의 주된 원인은 원자로 출구 Feeder에서 떨어져 나온 산화철이 증기발생기 세관 내에 침착되어 열전달 능력을 감소시키는 현상에 의한 것으로 증기발생기 열전달 능력과 모관간 차압의 원상태 복구를 위한 방안으로 증기 발생기 1차측 세관의 세정 작업이 CANDU형 원자력발전소를 대상으로 크게 대두되고 있다. 이런 상황을 반영하여 국내의 경우 2003년 AECL 과 Flamatome ANP 에 의해 월성1호기 증기발생기 #1~#4 1차측 세관 13,261개를 세정하여 2,575kg(195g/세관) 의 산화철을 제거한 실적이 있다.

세정 작업의 경우 장비의 설치, 장비 운전, 장비 철거, 발생된 폐기물 드럼처리 작업, 장비 제염 작업 등은 고방사선을 발생하는 설비와 장비들을 대상으로 하는 작업으로서 각각의 작업 공정에서 작업자들은 많은 피폭을 받게 되며 세정 작업 결과 발생하는 산화철등은 고방사선량 폐기물로서 피폭 발생 및 폐기물 처리에 많은 어려움을 겪고 있어 최적화된 방사선안전관리 기법 도입으로 피폭 저감과 방사성폐기물 저감의 필요성이 크게 부각되고 있다.

2. 세정 작업 현황

증기발생기 1차측 세정은 주로 Siemens 사에서 개발된 Vacublast 공법인 SIVABLAST 기술이 적용된다. 이 기술은 Steal Bead(크기 0.1~0.3mm) 가 장착된 철 산화물을 Blasting 하여 산화철을 세관 표면에서 떼어내는 기술로 본 장치는 금속입자 분사장치/원심분리기/설치 Robot/수거장치/제어반/공기 Ejector 등으로 구성된 설비를 사용한다.

국내에서 2003년(2003.2.3~2003.3.4) SIVABLAST 기술을 적용하여 월성 1호기 증기발생기 1차측 세관의 세정 작업을 수행하였으며 방사선 작업에 따른 총피폭량은 ADR 기준 142.39 Man-mSv 로 나타났고 각 작업 공정별 방사선조건과 피폭량은 표1에 표기하였다.

표 1. 증기발생기 1차측 세관 세정작업 방사선작업 현황(방사선피폭량은 ADR 기준)

작업 구분	방사선량률(mSv/h)		삼중수소농도(DAC)	방사선피폭량(Man-mSv)	비 고	
	표면	1m 공간				
장비 이동 및 setup	2	0.01~2	7.04	4.13	2. 3~2. 7	
장비 설치	S/G #1, 3	17	0.35~17	6.37	14.67	2. 5~2. 9
	S/G #2, 4	9	0.35~0.5	78.68	13.34	2.16~2.21
장비 운전	S/G #1, 3	7	0.17~1.5	4.76	25.64	2.10~2.14
	S/G #2, 4	9	0.6~1.5	22.0	28.56	2.17~2.21
장비 철거	S/G #1, 3	6.5	0.5~0.68	3.80	31.95	2.14~2.15
	S/G #2, 4	10	0.42~1	8.45	14.43	2.21~2.22
Waste Drum	1,000	0.05~400	-	-	생성 8Drum	
장비 철수 및 제염	70	3~10	-	9.67	2.22~3. 4	

증기발생기 세정 작업 동안 방사선안전관리 중점 관리 사항으로 작업시 방사선안전관리원의 전담배치, 작업장 고방사선량지역(RBU Tent 및 주변지역 등)에 대한 납 차폐체 설치, 작업장 및 주변 지역 오염 확산 방지 조치, 작업자 피폭량 집중관리, 작업장내 불필요한 출입 및 체류 통제, 방사선 정보를 확인할 수 있도록 방사선 표지판 설치 및 운영 등이 있었으며 이런 적극적인 방사선안전관리 노력의 결과 ADR 선량 기준 142.39 Man-mSv 피폭량을 기록하였으며 이는 증기 발생기 Tube 검사 및 Plugging 작업시의 총 피폭량 500 Man-mSv(카나다 ISOE Report) 보다 낮은 피폭량을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

월성 1호기세정 작업 결과 전체 세관의 93%에 해당하는 13,261 세관에 대한 세정이 이루어 졌으며 입구 모관온도 감소는 1.52℃ 모관간 차압증가는 55Kpa, 산화철 제거는 총 2,575kg (세관당 194g)의 결과를 얻을수 있었다. 이는 1차측 세정후에 약 3.7%~5.4%의 ROP 정지 설정치의 개선 효과가 있었으며 이에 따라 출력 감발의 예방에 필요한 작업일을 알수가 있게 되었다.

그러나 방사선안전관리 측면에서 아래 문제점들이 검토되었고 이것들은 차후 세정 작업 수행 이전에 심도있는 논의와 보완을 통하여 방사선안전관리 최적화 및 ALARA 목표 달성을 이루도록 해야 할 것이다.

표 2. 방사선안전관리 보완이 필요한 사항 및 개선안

보완이 필요한 사항	개선안
세정 작업시 발생하는 고방사능 입자에 의하여 작업자 신체 오염 발생이 많음	○ 장비 취급시 방사능 입자 비산을 방지 하도록 배기용 Suction 고정 설치 ○ 작업복 탈의시 절차 준수 및 전담 관리
Suction Head 제거 작업시 작업시간 지연으로 피폭증가	○ 효과적인 Mock-up 훈련을 통하여 숙련도 향상 ○ 숙련도 향상을 위한 체계적인 교육프로그램 개발
장비 이동 설치시 고방사능 입자 비산으로 주변 오염	○ 장비 취급시 방사능 입자 비산을 방지 하도록 배기용 Suction 고정 설치
RBU 및 주변 장치에서 발생하는 고 방사능 폐기물 처리의 어려움과 이에 수반되는 방사선피폭 증가	○ 폐기물 취급 tool 개발 ○ 차폐 가능 전용 보관 및 운반용기 개발
사용장비 제염에 많은 노력 필요	○ 작업전 장비 오염 방지 조치 방안 강구 및 적용

4. 결론

국내에서는 2003년도 SIVABLAST 기술을 적용하여 월성 1호기 증기발생기 1차측 세정작업을 수행하였다. 이를 통하여 증기발생기 열전달 능력 증가와 모관간 차압 회복의 효과를 얻을수 있었으나 방사선 안전관리 측면에서 보완할 사항들이 검토 되었으며 보다 정밀한 방사선피폭 저감화 방안이 요구 되었다. 사전 작업자 모의훈련을 통한 시간 분배 계획 수립과 작업 숙련도 향상을 위한 프로그램 개발이 필수적이며 Robot 장비 및 Suction Head 탈 부착 작업시 배기용 Suction 장치를 보수적으로 운용하여 고방사능 입자의 비산 방지와 주변 오염 가능성을 최소화 하는것이 필요하다. 뿐만 아니라 고방사능 폐기물 이동 및 운반 보 관시 많은 피폭이 유발되므로 폐기물 취급 tool 개발, 차폐 가능 전용 보관 및 운반용기 개발 등이 강구 되어져야 하며 보완된 최적 관리 기법은 모두 절차화 되어 향후 수행 되는 증기발생기 세관 세정 작업에 효과적으로 반영하여 방사선안전관리 최적화 및 ALARA 목표 달성을 이루도록 해야 할 것이다.

참고문헌

1. 2009년도 원자력안전 백서
2. 월성 1,2,3,4 호기 기술운영 절차서
3. AECL SIVABLAST 기술공정 흐름도
4. AECL CANDUclean 기술공정 흐름도
5. (주)ACT 자체보고서 (증기발생기 1차측 세정기술 개발)