

원전 해체물량 평가를 위한 방법론 개발

정재훈, 나한정, 박정수, 이병식, 이종혁
 한국전력기술(주), 경기도 용인시 기흥구 마북동 360-9
amagedon@kopec.co.kr

1. 서론

본 논문에서는 국내 원전의 영구운전정지 이후 해체에 대비하여 원전의 해체물량 평가를 위한 방법론을 제시하고자 한다. 원전 해체물량 평가를 위한 국내 참조원전은 웨스팅하우스 가압경수로형(PWR) 원전을 대상으로 하였다. 해체물량 평가는 건설시공물량을 기준으로 각 대상에 대한 단위물량을 도출하고 이들을 기준으로 자체부피를 구한 후 공극률을 적용하여 수행하였다.

2. 자료 수집 및 분석

해체물량 평가에 필요한 자료들은 원전 건설 및 운영자료들로서 기기목록, 밸브목록, 건설경험정리집, 기자재 설계자료집, 배관 및 계장도(P&IDs), 최종안전성평가보고서(FSAR), 기기배치도(GA), 방사선관리 구역도(RZD) 등이다. 건설경험정리집을 분석하여 튜브, 소구경배관, 대구경배관, 소구경배관 지지대, 대구경배관 지지대, 케이בל트레이, 전선관, HVAC 덕트, 콘크리트 등에 대한 건설시공물량을 파악하였다. 또한 건설시공물량에 포함되어 있지 않은 기기와 밸브의 물량을 파악하기 위하여 기기목록과 밸브목록 등을 토대로 기기의 종류, 오염 정도, 중량, 설치위치 등을 표 1과 같이 도출하였다.

표 1. 원전의 기기목록 사례

호기	계통	계통명	기기TAG	기기명	오염 정도	P&ID 번호	P&ID 좌표	마력 (kW)	중량 (lb)	건물 코드	건물명	방사선 구역	구역 코드	층고
1	BB	Reactor Coolant (RCS)	BB-B001	STEAM GENERATOR 1	High	3-M-BB-F001	F7		680,000	ZC	Containment	Rad	G1	100'
1	BB	Reactor Coolant (RCS)	BB-P001	REACTOR COOLANT PUMP A	High	3-M-BB-F001	G7	70,000	206,935	ZC	Containment	Rad	G1	100'
1	BB	Reactor Coolant (RCS)	BB-T001	REACTOR VESSEL	High	3-M-BB-F001	E5		1,052,281	ZC	Containment	Rad	G2	100'
1	BB	Reactor Coolant (RCS)	BB-T002	PRESSURIZER	High	3-M-BB-F002	C6		168,000	ZC	Containment	Rad	H1	125'
1	BB	Reactor Coolant (RCS)	BB-T003	PRESSURIZER RELIEF TANK	High	3-M-BB-F002	F4		22,900	ZC	Containment	Rad	G1	100'

표 2. Scaling Factor 의한 해체폐기물량 평가 결과

폐기물종류	미국 참조PWR 폐기물 비율(%)	Shippingport 원전		Ginna 원전		국내원전	
		SF	비율(%)	SF	비율(%)	SF	비율(%)
방사화 원자로내부구조물	1.3	0.43	2.0	0.7	2.1	0.86	2.0
방사화 원자로용기	1.2	0.18	0.7	0.61	1.5	0.75	1.5
방사화 콘크리트	3.7	0.24	3.1	0.42	3.4	0.52	3.4
오염 금속	28.9	0.46	45.5	0.48	29.9	0.59	30.0
오염 콘크리트	57.9	0.24	47.3	0.42	52.9	0.52	52.8
잡고체	7.4	0.074	2.0	0.58	9.3	0.71	9.2
폐수지	0.2	0.074	0.04	0.58	0.2	0.71	0.2
폐필터	0.05	0.074	0.01	0.58	0.05	0.71	0.05
증발기 바닥잔류물	0.68	0.074	0.2	0.58	0.9	0.71	0.8
총계	100%		100%		100%		100%

3. Scaling Factor를 이용한 해체폐기물량 평가 분석

미국 뉴욕주의 저준위방사성폐기물위원회가 발행한 "1994년 선원항 보고서"¹⁾에는 미국 뉴욕주 가동중 경수로 원전들을 대상으로 해체폐기물 발생량과 선원항을 평가하였고 이를 근거로 도출한 Scaling Factor(SF)를 사용하여 Shippingport 원전의 해체폐기물량을 평가하였으며 실제 해체폐기물량을 비교·제시하여 SF에 의한 해체폐기물 평가 방법의 타당성을 제시하였다. 국내 원전의 SF는 Ginna 원전을 적용하여 표 2와 같이 원자로용기의 SF를 구하고 이를 기준으로 나머지 SF를 도출하였다. 미국의 경우 처리비 대비 처분비가 저렴하기 때문에 오염금속과 오염콘크리트의 해체폐기물량이 전체물량의 80% 이

상을 차지하여 다른 해체대상에 비해 월등히 많은 것으로 나타났다. 따라서 국내 원전에 대한 해체폐기물량 평가시 처분성, 제거방식 및 제염, 압축, 소각, 용융 등의 처리방식을 고려하여 합리적으로 해체폐기물량을 평가해야 함을 파악하였다.

4. 해체단위물량 산출

해체단위물량은 해체대상의 물량[부피]을 구하기 위하여 각 단위[길이 또는 개]당 물량[면적 또는 부피]을 산출하기 위한 것이며 소/대구경 배관 및 지지대, 튜브, 덕트, 케이블, 콘크리트에 대한 해체단위물량을 도출하기 위한 가정사항은 각 분야의 전문가의견에 근거하였다. 해체대상별 단위물량 산출 사례로서 소구경 배관의 경우 보수적으로 2인치를 적용하였고 단위물량[면적]은 식[1]과 같이 산출하였으며 표 3과 같이 정리하였다.

$$S_{(소구경배관)} = \pi r^2 = \pi \times 1 \times \left(\frac{1}{12}\right)^2 = 2.182 \times 10^{-2} ft^2 = 2.027 \times 10^{-3} m^2 \text{ ----- [식1]}$$

표 3. 해체대상별 해체물량 평가 결과 [단위: m³]

대상	시공물량	단위물량	단위	자체부피	공극률	총해체물량	방사성 해체물량
계측기기 튜브	145,718 LFT	0.0005067	m ²	22.50	28%	28.80	주2)
소구경 배관	225,000 LFT	0.002027	m ²	139.0	28%	177.9	
대구경 배관	12,451 LFT	0.01824	m ²	69.20	28%	88.58	
소구경 배관지지대	41,778 EA	0.005112	m ³	213.6	10%	235.0	
대구경 배관지지대	13,900 EA	0.2556	m ³	3,553	10%	3,908	
케이블트레이	114,833 LFT	0.01824	m ²	483.7	10%	532.1	
전선관	640,158 LFT	0.002027	m ²	395.5	28%	506.2	
HVAC 덕트	2,151,353 LBS	주1)	-	233.3	10%	256.6	
콘크리트	5,703,669 CF	0.02832	m ³ /ft ³	161,500	0%	161,500	
총량				166,600		167,200	

주 1) 시공물량 부피 환산 후 판과 지지대에 상이한 부피가중치를 곱하여 자체부피 산출
 주 2) 방사성해체물량은 해체물의 제거방식, 처리방식, 처분성 등의 해체전략에 따라 산출

5. 해체대상별 해체물량 평가 결과

위와 같이 해체단위물량을 구한 다음 그 값에 시공물량을 곱하여 해체대상의 내부의 빈공간을 포함한 외부부피인 자체부피를 산출하고 해체경험에 근거하여 도출한 해체대상 외부의 빈공간인 공극률을 자체부피에 곱하여 총해체물량을 표 3과 같이 산출하였다. 예를 들어, 소구경배관은 [식1]에서 구한 단위면적에 시공물량인 전체길이 225,000ft를 곱하면 자체부피인 139.0m³를 구하고 여기에 공극률 28%를 적용하여 총해체물량인 177.9m³를 산출하였다. 이 값을 기준으로 처분성, 제거방식 및 제염, 압축, 소각, 용융 등의 처리방식 등의 해체전략을 적용하여 해체물량 평가를 종합적이고 합리적으로 평가해야 한다.

6. 결론

국내 원전에 대한 해체물량을 평가하는 방법론을 다음과 같이 개발하였다. 첫째는 건설시공물량에 대하여 단위물량을 도출하고 자체부피를 구한 후 공극률을 적용하여 평가하는 방법이고, 둘째는 기기목록과 밸브목록을 기준으로 오염기기와 밸브에 대해 평가하는 방법이다. 여기에 방사화평가를 통하여 방사화 금속과 콘크리트 물량을 평가하고 해외원전 경험에 근거하여 폐필터, 폐수지, 잡고체, 석면 등의 물량을 평가하면 원전의 해체물량을 평가할 수 있다. 결론적으로, 금속은 건설시공물량 및 기기목록과 밸브목록에 근거하여 평가하고, 콘크리트는 오염 정도에 따른 스케블링방식등을 적용하여 평가해야 한다. 또한 방사화에 의한 방사화금속과 방사화콘크리트는 방사화평가를 통하여 평가하고 폐필터, 폐수지, 잡고체, 석면 등은 해외원전의 해체경험등에 근거하여 평가할 수 있다.

7. 참고문헌

1. New York State Low-Level Radioactive Waste Siting Commission, "1994 Source Term Report Volume 2, Support Document", Low-Level Radioactive Waste Projections for New York State, 1994