

원전 계속운전을 위한 안전성 평가



정영식

한국수력원자력(주)
엔지니어링본부 설비개선실 팀장

1 개황

지난 6월 23일 월성1호기가 재가동을 시작하면서 우리나라에서는 고리1호기에 이어 두 번째로 계속운전을 시행한 원전이 되었다. 월성1호기 만큼 계속운전 안전성에 대한 조명을 집중적으로 받은 원전은 드물 것이다. 월성1호기 가동으로 국민들의 관심이 고조된 이때에 계속운전 안전성평가에 대해 살펴보는 기회를 갖고자 한다.

계속운전은 운영허가기간(설계수명)이 도달한 원자력발전소에 대해 원자력안전법에서 규정한 기술기준에 따라 안전성을 평가하여 만족한 경우 운영허가기간 만료일 이후에도 운전을 계속하는 것이다. 운영허가기간이란 원자력발전소 설계 시 설정한 기간으로써 원자력발전소의 안전성과 성능기준을 만족하면서 운전이 가능한 최소한의 기간을 말한다.



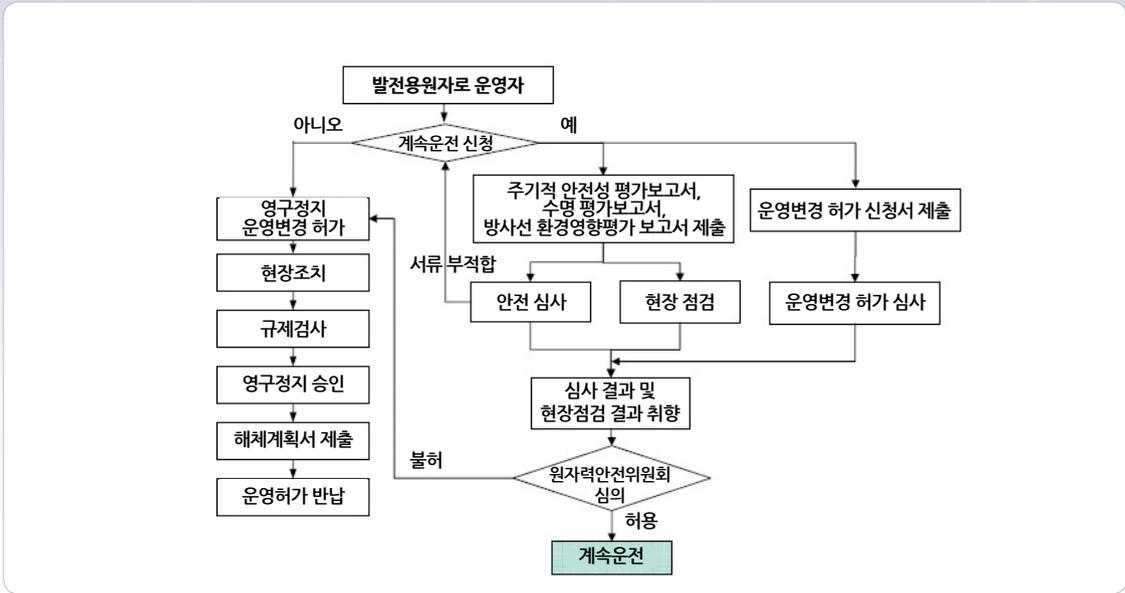


그림 1 계속운전 인허가 심사 프로세스

계속운전은 이미 여러 나라에서 안전성이 입증된 기술이다. 미국, 영국 등과 같은 선진국에서도 운영 허가기간 혹은 설계수명 만료일이 도래한 원자력발전소에 대해 경년열화 평가 등 심도 있는 안전성 심사를 통해 안전한 경우에는 계속운전을 승인하여 운전하고 있다.

2 현황

우리나라는 2005년 9월 원자력법 시행령(제42조의2~5)과 동법 시행규칙(제19조의2~3)을 개정하여 계속운전의 법적 근거를 처음으로 마련하였다. 2005년 12월에는 과학기술부(현재는 원안위) 고시 2005-31호를 공포해 경수로 원전의 계속운전을 위한 기술적 기준을 정립하였으며, 이후 2007년 10월에 고시 2005-31호를 2007-18호로 개정하여 경수로 원전

뿐만 아니라 중수로 원전의 계속운전도 포괄하는 평가 기술기준 적용지침을 마련하였다. 계속운전과 관련된 원자력법(2011년 7월 25일 원자력안전법으로 분할) 시행령의 주요사항은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 설계수명 기간 만료일 이후 계속운전을 하고자 할 때에는 주기적 안전성평가, 주요기기에 대한 수명평가 그리고 운영허가 이후 변화된 방사선환경영향 등의 평가보고서를 제출하여야 한다.
- 계속운전을 하고자 할 때에는 설계수명 기간 만료일을 평가기준일로 하여 평가기준일로부터 5년 내지 2년 이전에 평가보고서를 제출하여야 한다.
- 정부는 평가보고서를 제출받은 경우에 18개월 이내에 심사하고 그 결과를 신청인에게 통보한다.

표 1 국내 계속운전 안전성평가 법적기준

IAEA 주기적 안전성평가 기준 (14개 분야 68개 항목)	미국 NRC 운영허가 갱신기준 (10개 분야 77개 항목)														
<table border="0"> <tr> <td>1. 원자로시설의 설계 상황</td> <td>8. 안전성능</td> </tr> <tr> <td>2. 안전설비의 실제상태</td> <td>9. 운전경험 및 연구결과</td> </tr> <tr> <td>3. 결정론적 안전성분석</td> <td>10. 운영 및 보수 등의 절차서</td> </tr> <tr> <td>4. 확률적 안전성평가</td> <td>11. 조직, 관리체계</td> </tr> <tr> <td>5. 위해도 분석</td> <td>12. 인적요소</td> </tr> <tr> <td>6. 기기검증</td> <td>13. 방사선비상계획</td> </tr> <tr> <td>7. 경년열화</td> <td>14. 방사선환경영향</td> </tr> </table>	1. 원자로시설의 설계 상황	8. 안전성능	2. 안전설비의 실제상태	9. 운전경험 및 연구결과	3. 결정론적 안전성분석	10. 운영 및 보수 등의 절차서	4. 확률적 안전성평가	11. 조직, 관리체계	5. 위해도 분석	12. 인적요소	6. 기기검증	13. 방사선비상계획	7. 경년열화	14. 방사선환경영향	+
1. 원자로시설의 설계 상황	8. 안전성능														
2. 안전설비의 실제상태	9. 운전경험 및 연구결과														
3. 결정론적 안전성분석	10. 운영 및 보수 등의 절차서														
4. 확률적 안전성평가	11. 조직, 관리체계														
5. 위해도 분석	12. 인적요소														
6. 기기검증	13. 방사선비상계획														
7. 경년열화	14. 방사선환경영향														
	<table border="0"> <tr> <th style="background-color: #e0f2f1;">주요기기 수명평가</th> <th style="background-color: #e0f2f1;">방사선환경영향평가</th> </tr> <tr> <td>1. 경년열화 관리 대상 선정 평가</td> <td>1. 계속운전 계획</td> </tr> <tr> <td>2. 경년열화관리계획 평가</td> <td>2. 환경현황</td> </tr> <tr> <td>3. 주요기기 수명평가</td> <td>3. 발전소 현황</td> </tr> <tr> <td>4. 운전경험, 연구결과 반 영필요사항</td> <td>4. 계속운전 영향</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5. 사고 영향</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6. 환경감시계획</td> </tr> </table>	주요기기 수명평가	방사선환경영향평가	1. 경년열화 관리 대상 선정 평가	1. 계속운전 계획	2. 경년열화관리계획 평가	2. 환경현황	3. 주요기기 수명평가	3. 발전소 현황	4. 운전경험, 연구결과 반 영필요사항	4. 계속운전 영향		5. 사고 영향		6. 환경감시계획
주요기기 수명평가	방사선환경영향평가														
1. 경년열화 관리 대상 선정 평가	1. 계속운전 계획														
2. 경년열화관리계획 평가	2. 환경현황														
3. 주요기기 수명평가	3. 발전소 현황														
4. 운전경험, 연구결과 반 영필요사항	4. 계속운전 영향														
	5. 사고 영향														
	6. 환경감시계획														
※미출 부분은 '14.11.19 개정 시 추가한 항목	*경수로기준, 법적요건 외 발전소별로 추가하여 수행														

계속운전은 원자력발전소의 장기 가동으로 인해 발생하는 경년열화의 문제에 능동적으로 대처하고 안전 성능을 획기적으로 향상시키는 효과적인 수단이라고 할 수 있다. 계속운전을 하고자 할 경우에는 원자력발전소의 주요 계통, 구조물 및 기기들에 대한 경년열화 상태를 평가하고 잔여 수명을 예측하여 적절한 경년열화 관리계획을 수립, 운영하여야 한다.

2005년 9월 도입한 우리나라의 계속운전 안전성 평가 기준은 국제원자력기구(IAEA)에서 권고한 주기적 안전성평가(Periodic Safety Review : PSR) 기준에 미국의 운영허가 갱신(License Renewal : LR) 규정을 추가로 적용하여 다른 해외 원자력발전소보다 보다 강화된 기준으로 계속운전의 안전성을 평가하고 규제기관의 심사를 받고 있다. 보다 세부적으로 살펴보면 주기적 안전성 평가로 원자로시설의 설계사항 등 14개 분야 68개 항목을 평가하도록 되어 있고, 추가로 주요기기 수명평가 및 방사선 환경영향평가로 10개 분야 77개 항목을 법적 최소 항목으로 평가하도록 되어 있다.

장기 가동 원자력발전소의 계속운전이 가능하게 된 까닭은 최초 설계 당시에 보수적으로 설계되어 있어

안전 여유도를 충분히 갖고 있기 때문이다. 또한, 가동 중 성능 예측과 진단·검사 기술이 발달되어 예측·예방 정비가 가능해져 이상 징후 혹은 노후화 설비나 기기를 미리 개선 또는 교체함으로써 운영허가기간 이후에도 충분한 안전성을 확보할 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라 원자력발전소의 운영 경험과 규제 정보를 공유하는 네트워크가 형성되어 국제적 수준의 규제가 국내에도 적용됨으로써 계속운전 안전성을 세계적인 수준으로 유지할 수 있기 때문이다.

현재 상업용 원자력발전소는 전 세계적으로 30여 개 국에서 438기가 가동되고 있으며(국제 원자력기구, Power Reactor Information System 홈페이지, 2014년 12월말 기준) 30년 이상 운전 중인 원자력발전소는 225기이고, 40년 이상 운전 중인 것도 63기나 된다. 전 세계적으로 운영허가기간이 종료된 139기의 원전 중 132기(95%)가 계속운전을 했거나 현재 계속운전 중이며, 7기(5%)만이 계속운전 추진 없이 폐로를 결정하였다.

미국은 운영허가 갱신 규정(License Renewal Rule, 연방법 10CFR54)에 따라 운영허가 종료일 기준으로 20년 전

부터 계속운전을 신청할 수 있으며, 운영허가 갱신 신청서(License Renewal Application)를 제출하여 승인이 되면 20년 동안 운전이 가능하다. 2014년 12월말 기준 99기 원자력발전소 중 인허가 갱신 승인을 받은 원자력발전소는 73기, 이 중 계속운전 중인 원전은 33기, 심사 중인 원자력발전소는 19기이다. 최초 운영허가기간이 종료된 총 36기 중 34기(94.4%)가 계속운전 또는 심사 중(1기)이며, 1기(Vermont Yankee)는 계속운전 후 폐로, 1기(Kewaunee)는 계속운전 승인을 받았으나 경제적 사유로 계속운전을 하지 않고 폐로를 결정하였다.

영국은 운영허가 기간의 제한이 없으며 10년마다 수행되는 주기적 안전성평가(PSR) 결과를 활용하여 계속운전 허용 여부를 결정하며, 2014년 6월 기준 16기의 원자력발전소 중 Wyifa 1호기 등 5기의 원자력발전소가 계속운전 중이다.

캐나다도 통상 25~30년의 추가적인 계속운전을 고려한 안전성 평가서 및 설비개선 계획 등을 규제기관에 제출하여 계속운전 승인을 받고 대규모 설비개선 완료 후 가동을 한다. 또한 계속운전 이전과 동일하게 보통 5년 주기로 원자력발전소의 안전 수준과 운영 실적을 종합평가하여 운영허가 기간을 갱신하고 있으며, 현재 Bruce 1~6호기 등 12기가 계속운전 중이다.

러시아는 장수명 수동형 기기의 경년열화 관리규정에 따라 계속운전을 하며 총 33기 원자력발전소 중 Bilibino 1호기 등 20기의 원자력발전소가 계속운전 중이다.

이렇듯 계속운전은 검증된 기술을 바탕으로 일반적으로 행해지고 있는 것이 세계적인 추세이다.

국내에서는 지난 6월 23일 월성1호기가 가동에 들어가면서 우리나라에서는 고리1호기에 이어 두 번째로 계속운전을 시행한 원전이 되었다. 월성1호기는 계속운전을 위해 혹독한 안전성 검증을 받은 원전으로 세계적으로도 그 유래를 찾아보기 힘든 경우로 평가되고

있다. 법적으로 18개월 심사를 받도록 되어 있지만 월성1호기는 62개월 만인 2015년 2월에 계속운전 승인을 받을 수 있었고, 정기검사 및 지역수용성 확보를 위해 추가적으로 4개월이 지난 6월이나 가동을 하게 되었다. 이렇게 혹독한 안전성 검증을 받은 데는 안전에 특별한 문제가 아닌 일본에서 발생한 후쿠시마 원전 사고의 영향이 컸다고 할 수 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 우리나라는 어느 해외원전 보다도 강화된 계속운전 안전성평가 기준을 갖추고 있다. 하지만 후쿠시마 원전으로 인해 또다시 추가적인 안전성 조치 및 검증이 진행되었고, 후쿠시마 후속조치를 추가하여 인허가 심사가 이루어진 것이다. 또한, 대통령 공약사항으로 스트레스 테스트까지 추가로 검증을 받고서야 규제기관으로부터의 계속운전 승인 취득과 지역주민으로부터 안전성을 인정받을 수 있었다.

3 전망

해외원전의 사례와 같이 계속운전은 입증된 기술을 바탕으로 보편적으로 추진하고 있는 것이 세계적인 추세이다. 더욱이 미국은 최초 운영허가기간 40년 후 20년을 1차 연장하는 것을 넘어 추가로 20년을 연장하여 총 80년을 운영하기 위한 규제지침서를 개발 중이며, 2018년경 사업자가 2차 계속운전 신청서를 제출할 것으로 예상하고 있다. 그러나 우리나라는 월성1호기와 고리1호기에서 보았듯이 세계적 추세와는 다르게 아직도 안전에 대한 불신으로 사회적 갈등을 보여 온 것이 현실이다. 더욱이 현재 가동원전 총 24기 중 향후 10년 동안 11개의 발전소에 대해 계속운전 신청을 해야 할 상황이 발생한다. 월성1호기도 2017년도에 2차 계속운전 신청을 해야 하는 상황이다. 계속운전 기간이 10년에 불과해 10년마다 이러한 갈등이 반복될 가능성은 여전히 높다.

그동안 계속운전을 추진하면서 도출되었던 선투자

표 2 국내 계속운전 안전성평가 법적기준

기수	발전소명	용량 (MW)	착공일	건설 허가일	운영허가일 (최초임계일)	상업운전 개시일	설계수명 만료일	
1	고리 1호기	587	'70. 9. 25	'72. 5. 31	'72. 5. 31 ('77. 6. 19)	'78. 4. 29	'07. 6. 18	
2	월성 1호기	679	'76. 11. 17	'78. 2. 15	'78. 2. 15 ('82. 11. 21)	'83. 4. 22	'12.11. 20	
3	고리 2호기	650	'77. 3. 1	'78.11. 18	'83. 8. 10	'83. 7. 25	'23. 4. 8	
4	고리 3호기	950	'78. 2. 11	'79. 12. 24	'84. 9. 29	'85. 9. 30	'24. 9. 28	
5	고리 4호기	950	'78. 2. 11	'79. 12. 24	'85. 8. 7	'86. 4. 29	'25. 8. 6	
6	한빛 1호기	950	'80. 3. 5	'81. 12. 17	'85. 12. 23	'86. 8. 25	'25.12. 22	
7	한빛 2호기	950	'80. 3. 5	'81. 12. 17	'86. 9. 12	'87. 6. 10	'26. 9. 11	
8	한울 1호기	950	'81. 1. 12	'83. 1. 25	'87. 12. 23	'88. 9. 10	'27.12. 22	
9	한울 2호기	950	'81. 1. 12	'83. 1. 25	'88.12. 29	'89. 9. 30	'28.12. 28	
10	한빛 3호기	1,000	'89. 6. 1	'89. 12. 21	'94. 9. 9	'95. 3. 31	'34. 9. 8	
11	한빛 4호기	1,000	'89. 6. 1	'89. 12. 21	'95. 6. 2	'96. 1. 1	'35. 6. 1	
12	월성 2호기	700	'91.10. 9	'92. 8. 28	'96. 11. 2	'97. 7. 1	'26. 11. 1	
13	한울 3호기	1,000	'92. 5. 27	'93. 7. 16	'97. 11. 8	'98. 8. 11	'37. 11. 7	
14	한울 4호기	1,000	'92. 5. 27	'93. 7. 16	'98. 10. 29	'99. 12. 31	'38. 10. 28	
15	월성 3호기	700	'92. 9. 18	'94. 2. 26	'97. 12. 30	'98. 7. 1	'27. 12. 29	
16	월성 4호기	700	'92. 9. 18	'94. 2. 26	'99. 2. 8	'99. 10. 1	'29. 2. 7	
17	한빛 5호기	1,000	'96. 9. 24	'97. 6. 14	'01. 10. 24	'02. 5. 21	'41. 10. 23	
18	한빛 6호기	1,000	'96. 9. 24	'97. 6. 14	'02. 7. 31	'02. 12. 24	'42. 7. 30	
19	한울 5호기	1,000	'99. 1. 4	'99. 5. 17	'03. 10. 20	'04. 7. 29	'43. 10. 19	
20	한울 6호기	1,000	'99. 1. 4	'99. 5. 17	'04. 11. 12	'05. 4. 22	'44. 11. 11	
21	신고리 1호기	1,000	'05. 1. 17	'05. 7. 1	'10. 5. 19	'11. 2. 28	'50. 5. 18	
22	신고리 2호기	1,000	'05. 1. 17	'05. 7. 1	'11. 12. 1	'12. 7. 20	'51. 11. 30	
23	신월성 1호기	1,000	'05. 10. 1	'07. 6. 4	'11. 12. 2	'12. 7. 31	'51. 12. 1	
계		20,716MW						

논란을 포함하여 미국처럼 계속운전을 20년 단위로 하는 등 계속운전 제도를 전반적으로 개선할 필요성이 있다. 그리고 미국과 같이 추가적인 계속운전에 대비한 기술 개발이 필요하며, 고리2호기 이후 매년 도래하는 계속운전에 대비하여 안전성평가, 설비개선 및

인허가 전문 인력과 조직 확충에도 철저한 준비가 필요하다. 이와 함께 계속운전의 안전에 대한 사회적 수용성을 높이기 위해 인허가 신청 단계부터 안전성평가서 등 관련 자료를 가능한 많이 투명하게 공개하는 것을 적극 검토할 예정이다. 