



# 주기적 안전성 평가 제도와 원전 연장 운전과의 연계성 검토

신 태 명

충주대학교

김흥기 · 조종철 · 김효정

한국원자력안전기술원

## 서론

현재 국내에는 고리·월성·영광·울진 등 4곳에 각각 4기씩 총 16기의 원전이 가동중에 있으며 이들 중 가동 연수가 10년 이상된 원전이 이미 과반수(9기)를 넘어선 상황에 와 있다. 특히 국내에서 가장 오래된 경수로인 고리 1호기는 앞으로 6년(2008), 월성 1호기는 11년(2013) 후면 각각 그 설계 수명에 도달하게 된다.

이러한 원전의 노후화에 대비하여 주요 선진국들은 일찍부터 연장 운전에 대하여 관심을 갖고 장기적이고 체계적으로 연구를 실시하여 적절한 노화 관리에 의하여 원전 안

전성의 유지 보장이 가능하다는 점을 확인하였으며 이미 적잖은 원전(약 16기)에 대해 연장 운전을 허가하였거나 시행중이다.<sup>1)</sup>

국내에서도 원전 사업자인 한국수력원자력(주)가 향후 연장 운전을 위해 1990년대 초부터 수명 관리 연구를 실시하여 계속 진행중에 있는데, 지금까지의 연구 결과를 살펴 보면 설계 수명 이후의 연장 운전이 기술적으로는 지장이 없을 것이라는 판단과 함께 철저한 관리로서 지속적인 안전성 확보가 가능하다고 보고 있다.<sup>2)</sup>

한편 국내 여건상 에너지 자원의 부족으로 인하여 경제적인 관점에서 어느 나라보다도 자원의 재활용 또는 효율적인 활용이 절실한 상황이기 때문에 대상 원전에 대한 안전성을 철저하게 검토하였을 때 문제가 없다면 이를 무조건 반대할 수는 없는 현실이다.

또한 조만간 사업자에 의하여 고리 1호기의 연장 운전 신청이 접수

될 것을 예상하면 상세 평가 및 심사에 필요한 최소 소요 기간의 측면에서 볼 때 이에 대비한 규제 체계를 조속히 수립해야 할 시점에 와 있다.

그런데 국내에서는 원전의 설계 수명 이후의 연장 운전에 대한 명확한 규제 법령이 없고 인허가 기간이 규정되어 있지 않으므로 설계 수명 이후의 연장 운전으로 가는 가동 원전의 계속 운전을 제한할 명확한 법적 근거가 부족하다.

다만 안전 기준의 미달 또는 안전요건의 미비 등 원자로 안전 운영을 보장할 수 없는 사유가 발생하는 경우에는 원전의 운영 허가 및 취소 등에 관한 기존의 원자력법만으로도 사용 기간에 관계없이 언제라도 발전 정지 또는 운영 허가의 취소가 가능하다.

그러나 이러한 안전상의 문제가 없을 경우도 대비하여야 하며 따라서 원전 설계 수명 이후의 연장 운전에 관한 규정의 수립이 필요하다.



이러한 관점에서 현재 국내에서 실시중이며 원전 안전성에 대한 종합적인 평가를 수행하는 주기적 안전성 평가<sup>3,4)</sup> 제도가 연장 운전을 위한 안전성 판단과 예측을 위하여 많은 유의한 정보의 제공이 가능하므로 이를 적절히 활용하기 위한 방안이 요구된다.

주기적 안전성 평가 제도는 2000년 5월 고리 1호기에 시범 적용이 처음 실시된 이후 2001년부터는 중수로인 월성 1호기에도 적용하고 있으며 앞으로도 연차적으로 10년 이상이 된 국내 전 가동 원전들로의 확대 적용을 앞두고 있다.

이러한 주기적 안전성 평가의 내용 중에서 안전성 관련 장수명 수동형 기기의 경년 열화에 대한 평가는 그 근본 취지와 방법론이 연장 운전을 위한 것과 상당 부분 일치하며 그 규제 지침 내용 중 많은 부분이 미국의 운영 허가 갱신을 위한 평가 지침을 참조하여 작성하였기 때문에 연계성이 매우 높다고 할 수 있다.<sup>5)</sup>

또한 1999년 12월 제11차 원자력 안전위원회에서의 “PSR 결과는 원전 설계 수명 만료시 연장 운전 허용 여부 판단을 위한 주요 수단으로 활용”한다는 결정도 주기적 안전성 평가 제도를 연장 운전을 위한 규제 수단으로써 활용할 수도 있다는 여지를 주고 있다.<sup>5)</sup>

이는 원전의 안전성 확보를 위하

여 실시되고 있는 여러 가지 안전 활동 및 조치의 중복을 피하고 효율성을 도모함으로써 사업자 및 규제 기관의 불필요한 자원의 낭비를 예방하고 이를 안전성 향상을 위한 방향으로 유도할 수 있는 장점이 있다.

따라서 본 논문에서는 주기적 안전성 평가 결과의 효율적 활용을 위한 방안을 모색하기 위하여 선진국들의 관련 연구 및 실시 현황을 조사 분석하고 국내 여건을 검토하며 앞으로 검토하여야 할 원전 연장 운전에 대하여 주기적 안전성 평가 제도와 연계성을 검토하여 국내 여건에 맞는 규제 방향을 제시하고자 한다. 따라서 본문의 주된 내용은 연구를 목적으로 수행되었으며 실제 적용은 향후 정책 방향에 따라 정부가 결정해야 할 사항임을 밝혀둔다.

**연장 운전 관련 국외 현황 분석**

**1. 미국의 운영 허가 제도<sup>6,7,8,9)</sup>**

미국은 원전 인허가법에 운영 허가 기간, 발효 시점, 종료 시점 및 운영 허가 갱신 절차를 명확하게 규정하고 있으며 이를 위한 규제 지침 및 표준 심사 계획 문서도 발행하여 사업자가 따라야 할 요구 사항을 명문화하여 제시하고 있다.

연장 운전을 위한 운영 허가 갱신 관련법으로서는 10CFR54가 제정

되어 있는데, 10CFR50.51 (Conditions of Licenses)에서는 운영 허가 기간을 40년으로 제한하고 있으며 10CFR54.31 (Issuance of Renewed License)에는 추가적으로 20년의 연장 신청이 가능하도록 하고 있다.

40년으로 제한하고 있는 상업용 원자로의 운영 허가 기간은 원래 기술적 제한이 아니고 경제적 측면과 반독점적 측면을 고려하여 결정되었던 것이며 한 번 40년으로 제한된 후 각 발전소는 40년간 운영하는 것을 목표로 하여 설계하여 오고 있다.

미국에서 운전되고 있는 원자력 발전소 중 첫번째로 40년 운영 허가가 만료되는 것은 2006년이며, 나머지의 약 10%의 발전소는 2010년 말에 만료되고 40% 이상의 발전소가 2015년이면 만료된다.

따라서 현재 미국에서의 원자력 발전 비중이 약 20퍼센트를 차지한다는 사실을 고려할 때 추가적으로 20년 동안 허가가 연장된다면 21세기 초 에너지 공급의 원활성과 경제성에 많은 이점이 있다고 보고 운영 허가 갱신을 활발히 추진하고 있는 실정이다.

운영 허가 제도의 특징을 살펴보면 기존의 원전이 현행 허가 기반을 잘 준수하고 있고 보수 규정 등에 의하여 주기적으로 그 안전성이 확인되고 있다면 설계 수명 이후의 연

장 운전을 위하여 기기의 노후화에 의한 영향을 주로 다루면 된다고 보았으며 연장 운전 기간 동안 안전 기능의 유지를 위하여 적절한 노화 관리가 수행됨을 보증하는 것에 초점을 맞추고 있다.

그 적용 범위는 안전에 직접적으로 관련이 있거나 NRC 규제를 받고 있는 계통·구조물 및 기기 중에서 수명이 길고(long-lived) 피동적(passive)인 것만으로 제한하였다.

기기의 열화 관리 측면은 대상 계통 및 기기에 대하여 노화 관리 기록 및 시간 제한 노화 해석, 일반 노화 교환 항목, 그리고 노화 관리 계획 등을 평가함으로써 기능 유지의 보장 여부를 확인한다.

그 중에서 노화 관리 검토는 원자로 냉각재 계통, 공학적 안전 계통, 보조 계통, 증기 및 동력 변환 계통, 구조물 및 기기의 지지 계통, 전기 및 계측 계통 등 최종 안전성 분석 보고서에서 분류된 주요 계통들을 대상으로 하고 있다.

그리고 시간 제한 노화 해석은 원자로 중성자 취화, 금속 피로, 전기 기기의 환경 검증, 격납 건물 텐던 선용력, 격납 건물 보강판 및 금속 격납 용기 피로 해석 및 기타 발전소별 시간 제한 노화 해석 등으로 구성된다.

1996년 7월에 발효된 보수 규정(10CFR50.65) 및 다른 규제 요건

〈표 1〉 운영 허가 갱신 신청용 제출 서류 및 내용

제출 서류		주요 내용
발전소 일반 자료		신청자 인적 사항, 원전 일반 사항, 갱신 만료 시점
기술 자료	발전소 종합 평가	노화 관리 대상 기기 목록, 분석 방법, 노화 관리 설명
	현행 허가 기반 변경 사항	- 해당 원전에 적용된 규제 요건, 사업자의 이행 약속 - 원전의 변경, 추가로서 적용된 원전의 설계 기준 - NRC 행정 명령, 평가 보고서 및 사업자 보고 등에 제시된 이행 현황
	제한 시간 노화 해석	연장 운전 종료 시점까지 의도 기능의 수행 입증
	FSAR 보완본	노화 관리 계획 및 영향 평가의 요약
운영 기술 지침서 개정		연장 운전 기간 동안 노화 영향 관리를 위한 추가 및 변경 사항
환경 영향 평가 보고서		연장 운전에 따른 환경 영향의 종합적 분석 및 평가

들에 의하여 능동 기기 및 부품들은 계속 감시되고 있으며 문제가 생기면 즉시 보수가 가능하다는 판단에 근거하여 펌프나 밸브의 내부 부품, 모터, 스너버, 공기압축기, 차단기, 릴레이, 스위치, 회로판, 축전지, 축전기, 냉각팬, 디젤발전기, 제어 봉 구동기 등 수시로 교환이 가능하거나 혹은 감시가 가능한 능동(active) 기기 및 부품은 제외하였다.

현행 허가 기반의 준수 여부 및 변경 사항에 대해서는 10CFR 50.109(소급 적용)에 의거하여 규제 요건의 소급 적용이 가능하고 최초 운영 허가 당시의 운영 허가 근거로부터 계속적으로 보완되어 왔기 때문에 중복을 피하기 위하여 그 목록과 최종 안전성 분석 보고서의 보완본만 제출하도록 하고 있다.

운영 허가 갱신 신청의 시기는 허

가 종료 시점으로부터 5~20년 이전에 제출하도록 유도하고 있다. 참고로 〈표 1〉에는 갱신 신청용 제출 서류와 그 내용을 설명하였다.

미국의 운영 허가 갱신의 사례는 Calvert Cliff 등 약 8기의 원전이 갱신 허가를 발급받았으며 Turkey Point 3·호기 등 14기가 운영 허가 갱신을 신청하여 현재 심사중이다. 이 외에도 2006년까지 총 미 원전의 1/3이 신청 예정이다.

그리고 최근의 미국 에너지정보국의 보고에 따르면 2020년까지 미국 원자력 발전 용량의 약 50%가 폐로될 것으로 예측했던 1999년의 전망을 대폭 수정하여, 거의 모든 가동 원전이 수명을 연장시킴으로써 현재 가동중인 원전 시설 용량 전부가 2020년에도 계속해서 운영될 것이라고 예측하고 있다.

참고로 〈표 2〉에는 미국 내 원전

〈표 2〉 미국 내 원전의 운영 허가 갱신 현황

원전명	최초 운영 허가 종료일	신청 시기	갱신 현황
Calvert Cliff 1&2	2014. 7	1998. 4	2000. 3 갱신허가 발급
Oconee 1&2&3	2013. 2	1998. 7	2000. 5 갱신허가 발급
ANO 1	2014. 5	2000. 1	2001. 7 갱신허가 발급
Edwin I. Hatch 1&2	2014. 8	2000. 3	2002. 1 갱신허가 발급
Turkey Point 3&4	2012. 7	2000.12	현재 14기 심사중
Catawba 1&2	2024. 12	2001. 6	
McGuire 1&2	2021. 6	2001. 6	
North Anna 1&2	2018. 4	2001. 9	
Surry 1&2	2012. 5	2001. 9	
St. Lucie 1&2	2016. 3	2001. 10	
Peach Bottom 2&3	2013. 8	2001. 12	
Dresden 2&3	2006. 1	2002. 6	
Quad Cities 1&2	2012. 12	2002. 8	
ANO 2	2018. 7	2003. 9	
미국 원전의 1/3			2006년까지 신청 예정

의 운영 허가 갱신 현황을 설명하였다.

**2. 기타 각국의 수명 관리 추진 현황** <sup>1,10,11)</sup>

1980년대 영국이 먼저 마그녹스 원전에 대해 장주기 안전성 평가를 통하여 연장 운전에 대한 연구 및 조치를 취한 다음부터 미국 등 원전 보유국들이 그 필요성을 인식하고 원전의 노후화에 대하여 1980년대 중반부터 종합적이며 장기적인 연구를 실시중이다.

프랑스는 80년 중반에 30년을 잠정 수명으로 정하고 교체 계획을 수립한 후 54개 원전 모두에 대하

여 40년 이상을 목표로 하여 50년 운전이 기술적으로 가능하다는 결론에 도달하였으나 현재까지 연장 운전 여부에 대한 결론을 내리지 않고 있다.

독일은 규제 측면에서 특별한 노화 관리 프로그램을 요구하지는 않고 있으며 다만 에너지법 및 기타 규정에 의해 발전소 품질 보증을 요구하고 있다.

따라서 원전의 노화 관리는 안전 기준에 정의된 품질 보증 차원에서 수행하여 왔는데 작년 말에 단계적 폐쇄 결정으로 현재 연장 운전을 고려하지 않고 있다.

캐나다는 운영 허가 기간은 별도

로 지정하지 않는 대신 매 2년마다 사업자가 규제 기관에 보고서를 제출하여 심사를 거친 후 운영 허가를 갱신하는 제도를 채택하고 있는데 현재는 기존 노후한 CANDU형 원전의 수명을 추가로 30년 까지 연장하기 위해 단계별 수명 관리 연구를 수행중이다.

일본은 원전의 수명 관리 연구를 수행하여 오다가 1992년부터 통상 산업성이 PSR과 함께 오래된 원전들에 대한 고경년화 검토를 요구하여 연차적으로 시행하고 있으며 1999년 3기의 30년 운전 원전에 대하여 60년 연장 운전의 가능성을 발표하였으며 현재는 연장 운전을 실시중이다.

그 밖에도 각국은 수명 관리 연구를 활발히 진행하여 〈표 3〉에서 보듯이 현재까지 지속적으로 진행중이며 정기적으로 수명 관리 연구 결과를 교환하고 있다.

**3. 주요국의 원전 연장 운전 실시 사례**

영국은 마그녹스 원전인 Calder Hall/Chapelcross 등에 대하여 총 50년 수명으로서의 연장 운전을 위한 제2차 PSR 수행에 착수하였으며 Bradwell 원전 등은 이미 10년 연장 운전중에 있다.

미국은 Calvert Cliffs 1·2호기 등 현재 8기가 규제 기관으로부터 연장 운전의 허가를 받은 상태이다.

〈표 3〉 각국의 수명 관리 추진 현황

국가	수명 관리 방침	수명 관리 추진 내용
미국	운영 허가 갱신 추진	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기 운영 허가 기간 40년에서 20년 추가 허가 갱신 추진</li> <li>Calvert Cliffs 등 8기 갱신 허가 발급, 14기 심사중, 5기 신청 예정</li> </ul>
영국	PSR로 연장 운전 허용	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calder Hall 등 2기 : 25년 연장 운전 위한 제2차 PSR 수행</li> <li>Bradwell 등 5기 : 10년 연장 운전중</li> </ul>
프랑스	연장 운전 가능성 확인	<ul style="list-style-type: none"> <li>모든 원전에 대하여 10~20년 연장 운전이 가능하다는 결론 얻음</li> <li>현재 연장 운전 여부에 대한 결론 내리지 않고 있음</li> </ul>
독일	품질 보증 차원의 수행	<ul style="list-style-type: none"> <li>노화 관리는 안전 기준에 정의된 품질 보증 차원에서 수행중</li> <li>2001년 말 단계적 폐쇄 결정으로 현재 연장 운전 고려 안함</li> </ul>
캐나다	30년 수명 연장 목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기 설계 목표 수명 : 30년</li> <li>최소 40년 운전 수명 달성 가능(교체 및 쇄신)</li> <li>신규 설계 원전에 대해서는 60년 수명 예상</li> </ul>
일본	기술적 연장 가능성 공표	<ul style="list-style-type: none"> <li>수명 연장의 공식 절차 없이 정부가 노후 원전 정책 발표</li> <li>가동 원전의 60년 운전에 기술적 문제 없음을 공표</li> <li>쓰루가 1호기 등 3기 연장 운전중</li> </ul>
스페인	규제 당국 수명 연장에 대비	<ul style="list-style-type: none"> <li>신규 원전 건설 연기, 기존 원전의 안전·경제적 사용 강구</li> <li>1960년대 최고령 원전 2기에 대한 대대적인 소급 적용 작업 완료하여 설계 수명 40년의 연장 추진</li> <li>1980년대 원전 소유자 등도 수명 연장 계획 추진중</li> </ul>
체코	최소 비용으로 수명 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>VVER형 4기가 80년대 중반부터 상업 운전을 시작</li> <li>원전 주요 기기를 4개 범주로 분류(교체 불가능, 고비용 교체 가능, 교체 가능 안전 중요, 기타 기기)</li> </ul>
스위스	기기·건물·구조물 체계적 안전성 연구	<ul style="list-style-type: none"> <li>1992년 운전 측면의 노화 문제를 제거하고 노화 영향과 관련하여 기기, 건물, 구조물의 체계적인 안전성 연구를 사업주에게 요구</li> <li>Working Group 구성 : 안전 관련 기기의 정비, 품질 보증 사항에 대한 증거 제공 및 정비 최적화 기술 배경, 기기 신뢰성 보장</li> </ul>
인도	지속적인 R&D 및 기준 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>1969년 상업 운전 시작한 비등수로형 2기와 1970년대 및 1980년대 초반에 시작한 기압중수로형 4기를 대상으로 수행중</li> <li>5년씩의 허가 재인증을 위해 자체 평가 수행 및 인허가갱신용 안전성 평가 보고서를 규제 위원회에 제출</li> </ul>

일본은 공식적으로 원전의 수명 연장을 허가하는 절차를 거치지 않고 1996년 4월에 정부의 통상산업성에서 노후화된 원전에 대한 기본 정책의 발표를 통하여 가동 원전을 60년까지 운전하는 데 기술적 문제

가 없음을 공표하였다. 쓰루가 1, 미하마 및 후쿠시마제 1호기 등 3기에 대한 평가 결과, 10년 주기의 안전성 평가를 가정하여 60년까지의 연장 운전의 가능성을 확인하였으며 현재 해당 발전소

들의 연장운전을 실시중에 있다.

참고로, 세계적으로 현재 갱신 허가가 이미 발급되었거나 발급 예정, 또는 연장 운전중인 것으로 확인된 원전들을 조사하여 〈표 4〉에서 비교하였다.

#### 4. 각국의 주기적 안전성 평가 제도의 연장 운전 관련성

주기적 안전성 평가 제도를 실시하고 있는 대부분의 국가에서 연장 운전에 대한 안전성 평가와 연계하거나 주요 판단의 근거로서 활용하고 있다. 영국·핀란드 등은 주기적 안전성 평가 제도가 내용상 10년 단위의 허가 갱신 조건에 가깝고, 프랑스·일본·캐나다·스페인 등도 주요 규제 수단으로서 연계하여 실시하고 있다.

이외에도 동 제도를 실시하는 대부분의 나라가 안전성 평가 목적과 효율적 관점에서 연장 운전 평가에 연계하여 적용하고 있으며 각국의 주기적 안전성 평가 제도와 연계성에 대하여 〈표 5〉에 정리하였다.

#### 연장 운전 관련 국내 현황 분석

##### 1. 관련 규정상의 미비점

국내 원전 관련법 및 제도는 운영 허가 기간 및 조건에 대해 명시적인 규정이 없기 때문에 각 이해 당사자 간에 설계 수명을 초과한 원전의 운영에 대하여 각자의 필요성에 따라

〈표 4〉 각국의 연장 운전 실시 사례

국명	원전명	노형	설계 수명	연장 수명	비고
영국	Calder Hall 포함 2기	Magnox	25	25	연장 운전중
	Bradwell 포함 5기	Magnox	30	10	
일본	Mihama 1	PWR	30	30년 연장 가능성	연장 운전중
	Tsuruga 1	BWR	30		
	Hukusima 1	BWR	30		
미국	Calvert Cliffs 1&2 포함 8기	PWR	40	20	연장 운전중
	Edwin Hatch 1&2 포함 14기	PWR	40	20	신청 완료 심사중
	Dresden 2&3 포함 약 5기	PWR	40	20	2003년까지 신청 예정

자의적으로 해석할 소지가 있다.

따라서 만일 운영 허가 기간 및 조건에 대해 사업자와 규제 기관간의 의견 차이가 발생하여 합의를 도출하지 못하게 되면 이로 인해 원전의 안전 운영에 대하여 국민으로부터 투명성·공정성 및 신뢰성에 대한 의구심이 제기될 가능성도 있다. 따라서 국내 원자력법의 운영 허가 관련 규정을 현재의 법보다 더욱 명확하게 할 필요가 있으며 이를 엄정하게 시행함으로써 이러한 의혹들을 해소하여야 할 것이다.

그런데 국내 원자력법에는 운영 허가 기간, 그 허가의 발효 시점 및 운영허가 갱신에 대한 규정이 없는 실정이다. 앞으로 운영 허가 갱신제도의 도입을 전제로 하면 원자력법 제21조(운영 허가)를 개정하거나

또는 관련 조항의 신설 작업이 필요하며 다음 요소들이 명확히 정의되어야 할 것이다.

- 운영 허가 기간 및 발효 시점의 명시
- 갱신 절차의 설정
- 갱신 기준의 설정

만일 미국의 운영 허가 갱신 제도를 그대로 도입하게 되면 사업자는 약 20년 정도의 연장 운전을 안정적으로 확보하게 되나 만약 IAEA가 권고한 주기적 안전성 평가 제도와 병행하여 시행하게 될 경우 내용상 중복되는 사항이 많이 있고 사업자의 부담이 과중하게 부가될 가능성이 있으므로 주기적 안전성 평가 제도와 연계하여 실시하는 것이 훨씬 효율적일 것이다.

이에 대한 방안으로서 설계 수명

또는 운영 허가 기간 종료 후에 연장 운전을 하고자 할 때에는 별도의 주기적 안전성 평가 결과에 대한 심사를 면제하거나 또는 연장 운전에 관한 추가 사항이 필요할 경우 확대된 범위의 주기적 안전성 평가를 수행하도록 하는 것 등을 고려할 수 있다.

## 2. 주기적 안전성 평가와 운영 허가 갱신 제도의 비교

주기적 안전성 평가와 운영 허가 갱신 제도는 일정 기간에 대한 안전성을 평가한다는 관점의 공통점이 있다. 평가 범위도 주기적 안전성 평가의 경우 경년 열화 등 안전상 주요한 인자들에 대하여 종합적으로 평가하며 운영 허가 갱신 평가는 현행 허가 기반과 보수 규정의 준수에 의하여 기본 안전 인자의 준수를 가정하여 주로 노화 및 환경 영향의 안전 인자를 중점적으로 평가한다.

참조 기준은 주기적 안전성 평가의 경우 원자력법 시행령 42조의4 과기부 시행지침(외국은 IAEA 50-SG-O11)이 되며 운영 허가 갱신 제도는 원자력법 21조에 추가할 것을 논의중이나 아직 미확정(미국은 10CFR54, LR-SRP)된 상태이다.

평가에 소요되는 시간은 일반적으로 운영 허가 갱신의 경우가 더 길다고 보고 갱신 신청을 운영 허가 만료 시점보다 충분히 앞서서 제출

〈표 5〉 각국의 주기적 안전성 평가 제도의 연장 운전 관련성

국가명	연장 운전 방법	주기적 안전성 평가 (PSR)	관련성	연장 운전 실시 경험 및 현황
한국	논의 중	10년 주기 PSR 실시	주요 근거	아직 미실시
미국	20년 단위 운영 허가의 갱신	실시 안함	무관	8기 연장 운전중
영국	10년씩 총25년 연장 추진	10년 주기 PSR 실시	수명 연장 요건	7기 연장 운전중
프랑스	10~20년 단위 연장 가능성 확인	10년 주기 PSR 실시	주요 근거	연장 여부 미결정
독일	품질 보증 차원 연구 실시	약 10년 주기 자발적 PSR 실시	안전 확인 보조 수단	단계적 폐쇄 결정으로 고려 안함
일본	총수명 60년으로 연장 가능성 확인	10년 주기 PSR 실시	주요 근거	3기 연장 운전 중
캐나다	10년 단위의 수명 관리 추진	평균 2년 주기 PSR 실시	주요 근거	일부 운전 정지 일부 연구 진행중
핀란드	PSR 이행으로 운영 허가 갱신	10년 주기 PSR 실시	직접 관련	미실시
스페인	PSR 이행으로 운영 허가 갱신	10년 주기 PSR 실시	직접 관련	정부 주도 연장 평가 진행중
스웨덴	현재 비적극적	10년 주기 PSR 실시	주요 근거	일부 정지, 미실시
스위스	수명 관리 연구 진행중	10~15년 주기 PSR 실시	주요 근거	아직 미실시
멕시코	확인 안됨	10년 주기 PSR 실시	연계	아직 미실시
네덜란드	계획 수립중	10년 주기 PSR 실시	연계	규제 정책 준비
벨기에	계획 수립중	10년 주기 PSR 실시	부가적 조치	아직 미실시
체코	수명 관리 연구 진행중	10년 주기 PSR 실시	수명 연장 요건	아직 미실시
헝가리	계획 수립중	10년 주기 PSR 실시 (초기 12년 주기)	주요 근거	아직 미실시
인도	수명 관리 평가 진행중	5년 주기 PSR 실시	주요 근거	연장 평가 진행중

하고 있으며 사업자가 미리 면밀하게 계획을 세우고 수행 및 검토를 실시한 후에 제출하고 있다.

두 제도의 목적, 실시 시기, 평가

범위 및 절차, 주요 제출 문서, 노화평가 등에 대하여 비교하여 〈표 6〉에 요약하였다.

### 3. 주기적 안전성 평가와 연장 운전과의 연계 가능성

#### 가. 제도적 특성

최근의 세계적인 원전 활용의 추세는 신규 원전의 건설보다는 기존 원전의 연장 운전에 초점을 맞추고 있으며 이미 많은 원전 보유국들의 연구 진행은 물론 미국과 영국 등 선진국의 실시 경험을 고려할 때, 지금까지 미국 등 선진국의 원전 설계 및 규제 경험을 도입하여 참조·시행해 온 우리의 입장에서 안전성에 문제가 없다면 적용을 고려해 볼 만한 상황이다.

원전의 수명 연장과 관련된 제도로써 주기적 안전성 평가, 규제 요건 소급 적용, 운영 허가 갱신 제도 등은 그 목적 및 이행 방법, 안전성 평가 수단 등이 유사하므로, 이들의 유기적 연계를 통한 국내 실정에 적합한 가동 원전의 연장 운전을 위한 안전성 평가 모델의 개발이 바람직하다.

10년 주기의 주기적 안전성 평가는 어떤 의미에서는 10년으로 운영 허가가 발급된 원전의 운영 허가 갱신과 유사성을 갖고 있기 때문에 가능한 운영 허가 갱신 개념이 합병된 주기적 안전성 평가 제도를 운용하는 것이 바람직할 것이다.

이러한 관점에서 가동 원전의 운전중에 새롭게 도출되는 주요 안전 항목들에 대한 즉각적인 보완 조치로서의 규제 요건 소급 적용의 이행

(표 6) 주기적 안전성 평가와 운영 허가 갱신 제도의 비교

		주기적 안전성 평가	운영 허가 갱신
목적		현재 기준&관행 관점에서 누적 효과에 대한 안전 평가	계속 운전에 대한 안전 기능의 유지 확인 및 보증
실시 시기		매 10년 주기	허가 기간 종료시
평가 범위		경년 열화, 안전성분석 등 11개 안전 인자	경년 열화 및 환경 영향에 초점 (CLB의 준수를 가정)
평가 절차		기준 비교 후 취약점 도출 및 우선 순위 따른 시정 조치	노화 관리 평가 후 필요시 계획 보완, 기기 수리, 교체
결과 조치		계속 운전 또는 운전 정지	연장 운전 또는 허가 취소
주요 제출 문서		- 평가 요약 보고서 - 각 분야별 주제 보고서 - 참조 문서 및 자료 - FSAR 개정 사항	- 발전소 일반 자료 - 종합 기술자료 - 운영 기술 지침서 - 환경 영향 평가 보고서
노화 평가	대상	안전 관련 전체 기기	안전 관련 장수명 수동형 기기
	주요 내용	- 대상 기기 분류 및 선정 - 현상 분석 및 미래 예측 - 완화 및 관리 계획	- 대상 기기 분류 및 선정 - 현상 분석 및 미래 예측 - 완화 및 관리 계획
	방법	이전 10년의 검토 및 향후 10년 관리 계획 평가	향후 20년(연장 기간)의 관리 계획 평가

여부는 현행 허가 기반을 근간으로 하는 운영 허가 갱신시 주요한 요소가 된다는 점을 고려하여야 한다.

그리고 동 제도는 보수 규정과 같은 엄격한 보완적 제도가 잘 수행된다는 전제하에 적용되는 것이므로 우리의 정기 검사 제도를 이에 뒤지지 않도록 적절히 정비하는 것이 선행되어야 할 것이다.

나. 기술적 관점

현재 실시하고 있는 PSR 제도는 원전 안전성에 대한 종합적인 평가를 수행하는 것이기 때문에 특히 원전 수명 말기에 연장 운전을 위한

안전성 판단과 예측을 위하여 많은 유의한 정보를 제공해 줄 수 있다. 현재 진행중인 주기적 안전성 평가의 범위 및 내용 중에서 경년 열화 및 환경 영향의 평가 분야는 많은 부분이 유사하므로 이를 연장 운전 평가에 적절히 활용할 수가 있다.

특히 주기적 안전성 평가 제도의 기본 규제 지침 내용 중 경년 열화 평가를 위한 부분이 장수명 수동형 기기의 경년 열화 평가에 대해 상세하고도 전문적으로 작성된 미국의 허가 갱신용 표준 심사 계획을 주로 참조하여 작성되었기 때문에 기술

적 호환성이 크다고도 할 수 있다.

다. 사회·경제적 관점

최근의 국내 여건을 살펴보면 전력 수요의 증가에도 불구하고 원전 증설에 대한 반대와 규제는 더욱 심해지고 있으며 제한된 국토 면적과 남비 현상 등에 의하여 신규 원전 건설 부지의 확보가 갈수록 어려워지고 있다.

그리고 에너지 자원의 부족으로 경제적 관점에서 어느 나라보다도 자원의 재활용이 절실한 상황이기 때문에 대상 원전에 대하여 설계 수명 이후의 연장 운전에 대한 종합적인 안전성을 검토하여 문제가 없음이 보증된다면 이를 검토해야 할 상황에 와 있다.

또한 현재 진행중인 주기적 안전성 평가의 수행을 위하여 수집한 안전 관련 계통·기기·구조물에 대한 설계 및 운전 자료의 데이터 베이스화, 평가의 전문성 향상 및 기술 인력의 효율적 활용에도 도움이 된다.

PSR과 연장 운전과의 연계 방안

1. 기본 방향의 설정

앞에서의 현황 조사를 통하여 장기적인 연구 결과 적절한 노화 관리에 의해 연장 운전 안전성 확보가 가능하다는 결론과 선진국에서 다수의 원전이 이미 실시중인 국제적 여건과 자원 빈국으로서 에너지 수



요는 급증하는데 신규 원전 건설 부지 확보는 점점 더 어렵다는 점, 그리고 원전의 종합 안전성을 평가하는 PSR 제도를 도입하여 성공적으로 실시중인 국내 여건 등을 감안할 때, 안전성에 문제가 없다면 설계 수명 이후의 연장 운전을 허용하며 현재 실시중인 PSR 결과를 최대한 활용하되 필요하다고 판단되는 제반 요건을 부과하는 방향으로 그 기본 방향을 설정할 수 있다.

**2. 모델의 도출 및 분석**

가급적 신규 제도로 인한 제도적 충격을 최소한으로 줄이고 기존의 안전 활동을 최대한 활용하며 선진국의 실시 경험을 참조하여 국내 여건에 적합하되 연장 운전의 안전성을 보장하도록 규제의 엄격성을 유지하는 관점에서 다음과 같은 모델을 제시할 수 있으며 그 방법 및 장단점에 대하여 <표 7>과 <표 8>에서 비교·분석하였다.

① 모델-1 : 운영 허가 갱신 제도  
미국의 운영 허가 갱신 제도를 도입하여 PSR과 독립적으로 실시하는 것으로서 운영 허가 관련법을 정비하여 갱신 허가를 발급하려는 방안

② 모델-2 : 연장 운전의 승인 제도

현재 실시중인 PSR 제도를 최대한 활용하여 수명 말기에 보강된 PSR을 실시한 후 별도로 연장 운

**<표 7> 연장 운전 연계 모델의 비교**

모델		방법 및 특징
모델-1	운영 허가 갱신 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국이 실시하고 있는 운영 허가 갱신 제도를 도입</li> <li>• 20년 단위의 갱신 허가 발급</li> <li>• 갱신 절차 및 규정, 허가 기간에 대한 설정 필요</li> <li>• 제반 문서의 제출과 절차를 PSR과 독립적으로 실시</li> </ul>
모델-2	연장 운전 승인 제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 설계 수명 종료 시점의 PSR 수행 후 별도로 승인 요청</li> <li>• 10년 또는 20년 단위의 연장 운전 승인</li> <li>• 설계 수명 종료 시점의 PSR시 추가 자료 제출</li> <li>• 현행 허가 기반과 정비 규정의 보완 및 강화</li> </ul>

**<표 8> 연장 운전 연계 모델의 장단점 비교**

	장점	단점
모델-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 명확한 규제 절차 확립으로 안전성 확보</li> <li>• 미국 경험의 참조 활용이 용이</li> <li>• 대외적인 신뢰도 증진</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 운영 허가 제도의 변경 및 허가 기간의 소급이 필요함</li> <li>• 사업자의 절차적인 부담이 큼</li> <li>• 기간 설정 등의 명시가 필요함</li> </ul>
모델-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PSR의 직접적 활용으로 사업자의 절차적 부담 적음</li> <li>• 기존 허가 제도의 유지 가능 및 허가 기간 명시 불필요</li> <li>• 연장 운전의 장기 대비 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PSR 시행 경험 짧아 대비 미흡</li> <li>• PSR 도입 이유의 오해 가능성</li> <li>• 폐로 등 규제 권한의 보완 필요</li> <li>• 실시 시기의 조정이 필요함</li> </ul>

전 승인 절차를 거치도록 하려는 방안

**3. 바람직한 모델의 설정**

앞에서 제시한 기본 방향을 토대로 하여 PSR 제도의 연장 운전과의 연계 방안으로서 제시한 두 가지 모델 중에서 현재 실시중인 PSR 제도를 최대한 활용하여 수명 말기에 강화된 PSR을 실시한 후 별도로 연장 운전 승인 절차를 밟도록 하는 모델-2를 바람직한 모델로 설

**4. 이행 방안**

기존 PSR에 추가하여 연장 기간 동안 안전 기능이 유지됨을 입증해야 하며 사업자는 수행의 기본 책임을 지고 정부는 연장 운전 승인 여부를 결정해야 한다. 또한 동일 원전에 대하여는 기존 PSR의 원칙을 따르되 운전 연수에 따른 설비 노후화의 차이, 운전 조건의 상이 등의 영향을 고려하여 독립적인 노후 평



가를 실시하여야 한다.

연장 운전과 관련한 제출 서류로서는 기존의 PSR 제출 자료인 평가 요약 보고서, 각 분야별 주제 보고서, 참조하는 문서 및 데이터 등의 자료 이외에 노화 평가 및 관리 계획, 환경 영향 평가서, 운영 기술 지침서, FSAR 보완본 등의 자료를 연장 운전 승인 신청을 할 경우 추가로 제출하여야 할 것이다.

연장 운전 승인을 위한 절차를 설명하면 먼저 원전 운영자가 연장 운전 계획을 수립하여 규제 기관과 협의의 거쳐 확정하고, 안전 평가를 실시하며, 평가 보고서와 함께 승인 신청서를 규제 기관에 제출하도록 한다.

그러면 규제 기관은 제출된 평가 보고서와 승인 신청 서류를 검토하여 연장 운전 기간 동안의 안전성 확보가 가능하도록 노화 관리 계획 및 환경 영향을 중점적으로 심사하며 필요시 안전 중요도를 고려하여 시정 조치를 명하게 된다.<sup>12)</sup>

규제 기관은 심각한 안전 현안이 있을 경우, 심층적인 위험도 평가의 수행을 원전 운영자에게 요구할 수 있으며 이 때 운영 운영자는 이에 따라 안전 현안과 관련된 위험도를 평가하고 연장 운전을 위한 정당성을 입증하여야 한다.

요구 사항의 불만족으로 운전 정지되는 원전의 경우 사업자는 보완 조치를 취한 다음에 규제 기관에 재

〈표 9〉 연장 운전 관련 주기적 안전성 평가의 이행 방안 비교

	기존의 PSR	연장 운전용 PSR 이행 방안
목적 및 내용	현재의 안전 기준 및 관행 관점에서 안전성의 검토 및 종합적인 평가	추가로 연장 기간에 대하여 안전 관련 기능이 계속 유지될 수 있음을 보장
평가 범위	노화 관리, 안전성 분석 등 11개의 안전 인자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 잔여 수명 평가 및 노화 관리 계획</li> <li>• 가동중 도출된 설계 부적합성 개선</li> <li>• 허가 관련 신규 규제 현안 반영 조치</li> <li>• 연장 기간의 운전 보수 검사 계획</li> <li>• 종합 환경 영향 평가</li> </ul>
기준일	최초의 운영 허가 시점	상업 운전 개시일
서류 제출	가시점부터 10년 단위의 시점 1년 전까지 보고서 제출	설계 수명 종료 5~10년 전부터 신청서 접수
시행 기한	매 10년 시점에서 1.5년 이내	설계 수명 종료일로부터 3~8년 전
책임 구분	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업자 : 수행의 기본 책임</li> <li>• 정부 : 운전 정지 여부 결정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사업자 : 수행에 대한 기본 책임</li> <li>• 정부 : 연장 운전 승인 여부 결정</li> </ul>
시정 조치	안전 중요도에 의한 사업자의 종합 시정 조치 계획 수립 및 실시 → 정지 여부 규제 기관이 심사	연장 운전 기간을 고려한 사업자의 종합 시정 조치 실시 → 규제 기관 연장 운전 고려한 승인 심사

심사를 요청할 수 있으며 운전 정지 후 일정 기간 동안 요구된 시정 조치를 사업자가 시행하지 못할 경우 원전은 폐쇄 또는 폐로 조치를 취하도록 유도한다.

그러나 적절한 조치와 계획을 수립하여 연장 운전 기간 동안 안전 기능의 유지를 입증하는 경우에는 규제 기관은 연장 운전을 승인한다. 참고로, 연장 운전용 및 기존의 주기적 안전성 평가와의 특징을 〈표 9〉에서 비교하였다.

**결론**

본 논문은 주로 가동 원전의 연장

운전과 주기적 안전성 평가 제도와 연계 방안에 초점을 맞추어 관련 부분에 대한 국내의 연장 운전 관련 제도 및 실시 현황, 주기적 안전성 평가 제도와 연장 운전과 연계 모델의 및 제도화 방안을 규제 관점에서 살펴보았다. 수행된 연구 내용을 요약하면 다음과 같다.

① 최근의 세계적인 원전 활용의 추세는 신규 원전의 건설보다는 기존 원전의 연장 운전에 초점을 맞추고 있으며 미국·영국 및 일본 등 주요 선진국이 이미 실시하고 있다는 사실을 참고할 때, 고리 1호기 등에 대하여 사업자가 원전 설계 수명 이후 안전성의 입증하고 적절한

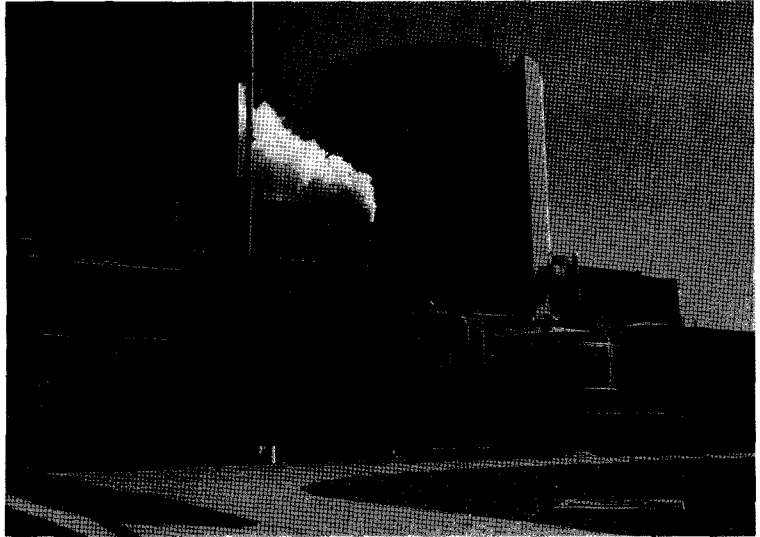
안전 대책과 함께 연장 운전을 요청할 것에 대비하여 이를 효율적으로 심사하기 위한 준비가 필요하다.

② 미국의 운영 허가 갱신 제도는 현행 허가 기반의 준수를 근간으로 하며 보수 규정과 같이 엄격한 보완적 제도가 잘 수행된다는 전제하에 적용되는 것이므로 동 제도를 참조하여 국내의 연장 운전 평가에 활용하고자 하는 경우에는 이러한 조건의 선행이 우선 전제되어야 한다는 사실에 유의할 필요가 있다.

③ 원전의 설계 수명 이후 연장 운전에 대하여 다음과 같은 기본 방향을 제시한다.

- 원전의 안전성에 문제가 없다면 설계 수명 이후의 연장 운전을 허용함
- 현재 실시중인 주기적 안전성 평가 제도와 최대한 연계하여 실시함
- 연장 운전을 위하여 필요하다고 판단되는 적절한 제반 요건을 추가로 부과함

④ 연장 운전을 위한 주기적 안전성 평가의 연계화 모델 중에서 설계 수명 종료시 주기적 안전성 평가의 평가 사항에 추가하여 연장 운전요구되는 사항을 평가하도록 하고 별도로 승인 신청을 유도하는 모델이 국내 현실에 적합하며 추구하려는 안전성 목표를 얻으면서 동시에 기존 제도를 효율적으로 보완할 수 있는 방안으로 나타났다.



고리 1호기. 주기적 안전성 평가 제도는 2000년 5월 고리 1호기에 시범 적용이 처음 실시된 이후 2001년부터는 중수로인 월성 1호기에도 적용하고 있으며 앞으로 도 연차적으로 10년 이상이 된 국내 전 기동 원전들로의 확대 적용을 앞두고 있다.

본 논문의 내용은 연구를 목적으로 작성된 것이며 구체적인 적용 방향의 결정은 향후 정부가 수행해야 할 몫임을 밝혀둔다. ☞

〈참고 문헌〉

[1] 신태명의, “주기적안전성평가 결과의 활용극대화 방안 연구”, KINS/HR-426, 2002.3.  
 [2] 심흥기, “고리1호기 운영 향후 대책”, 원전수명연장 및 가동중 안전성평가 워크샵, 한국원자력안전기술원, 1999.9.  
 [3] IAEA, “Periodic Safety Review of Operational Nuclear Power Plants, A Safety Guide”, Safety Standard Series No. 50-SG-012, Vienna, 1994.  
 [4] 신태명의, “주기적안전성평가 절차에 대한 IAEA 안전지침의 개정 방향”, 2000년 추계원자력학회, 한국원자력연구소, 2000.10.  
 [5] 신태명의, “가동원전 경년열화 안전평가 지침개발”, KINS/HR-376, 2001.3.  
 [6] USNRC, “Requirements

for Renewal of Operating Licenses for Nuclear Power Plants” 10CFR54 1995.

[7] USNRC, “Standard Format and Contents for Application to Renew NPP”, DG- 1047, 2000.

[8] USNRC, “Standard Review Plan for the Review of License Renewal Application for NPP” NUPEG-1800, 2001. 4.

[9] USNRC, “Generic Aging Lessons Learned (GALL) Report”, NUREG-1801, 2001. 4

[10] 김효정의, “주기적안전성평가 운용현황 조사(영국, 헝가리)”, KINS/DR-662, 한국원자력안전기술원, 2000.10.

[11] 이종인의, “원전 장수명운전에 대비한 규제요건의 변천 및 현행허가기반에 대한 연구”, KINS /RR-028, 2000.12.

[12] 신태명의, “주기적안전성평가의 취약점에 대한 안전중요도 결정”, 2001년 추계원자력학회, 경희대학교, 2001.10.