

**주기적안전성평가의 경년열화평가 대상설비 선정 기준**  
**Screening Criteria of Structure and Components**  
**subject to an Aging Management Review in Periodic Safety Review**

박준현\*, 문호림, 정일석, 김태룡  
한국전력공사 전력연구원  
대전광역시 유성구 문지동 103-16

**요 약**

주기적안전성평가(PSR, Periodic Safety Review)에서 경년열화평가(management of aging)는 안전에 중요한 설비의 경년열화가 효과적으로 관리되고 적절한 경년열화 관리계획이 수립되어 있는지를 확인하는 것이다. 주기적안전성평가와 관련된 법적 요건에서는 “평가대상 계통·기기·구조물의 분류 및 선정”이 평가내용에 포함되어야 함을 명시하고 있으나 구체적인 대상범위를 언급하고 있지 않다. 이 논문에서는 주기적안전성평가 규정과 미국의 인허가 갱신 규정을 비교하여 바람직한 경년열화평가 대상 범위 선정기준을 수립하였으며 이 기준에 따른 대상 설비 선정절차 및 선정결과에 대하여 기술하였다.

**Abstract**

Management of aging in PSR is to review whether system, structure and components(SSCs) important to safety are effectively managed and whether programs to aging management are adequately established in point of aging. In regulatory requirements related on PSR, "classification and screening criteria of SSCs" be presented, but evaluation scope isn't clearly. The object of this paper is to establish screening criteria, methodology, and process for evaluation of aging management in PSR. For this purpose, domestic regulatory requirements related on PSR was investigated and be compared with license renewal of USA. The evaluation scope for aging management of PSR is consists of SSCs on safety of NPPs. The SSCs for aging management of Kori 1 PSR was selected by screening criteria and methodology.

**1. 서 론**

주기적안전성평가(PSR, Periodic Safety Review)는 가동중인 원전의 안전성 확보 및 향상을 위하여 일정한 주기로 발전소의 안전성을 종합적으로 재평가하는 활동이다. 이와 관련한 법적 요건이 원자력법 제23조, 원자력법시행령 제42조와 시행규칙 19조 등에 명시되어 있다. 주기적안전성평가에는 물리적 상태, 기기검증, 경년열화, 안전성능, 운전경험과 연구성과 활용, 절차서, 조직 및 행정 등 11개 안전인자(safety factors)에 대해 평가한다. 이 안전인자 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것이 계통, 기기 및 구조물의 경년열화평가 분야이다.

경년열화평가의 목적은 요구되는 안전 여유도를 유지하기 위해 설비의 경년열화가 효과적으로 관리되고 있는지를 분석하고 향후 설비의 안전한 운전을 위해 적절한 경년열화 관리계획이 수립되어 있는지를 확인하는 것이다. PSR의 경년열화평가에서는 설비의 상태를 정성적, 정량적으로 분석하여 현재 상태를 판단하고 노화진행 추이 및 결과를 예측하는 평가 기술과, 설비 노화를 예방하고 완화하기 위한 운전, 정비, 진단, 감시, 시험 등의 경년열화관리 기술이 종합적으로 활용된다. PSR의 경년열화평가에서 주로 다루어지는 내용은 다음과 같다.

- 설계, 제작, 설계변경, 시험, 검사 및 보수기록 등의 분석과 현장점검을 통한 물리적 상태 확인
- 해당 발전소에 적용된 국내법을 포함한 관련 규제요건과 기술기준의 검토
- 국내외 운전경험 및 연구결과 검토 및 경년열화 평가에 반영 필요사항 확인
- 경년열화 평가 대상 계통·구조물·기기의 분류 및 선정
- 경년열화 현상 및 영향 분석
- 향후 10년간 설비의 고유기능 및 안전운전을 유지하기 위한 안전여유도 확인
- 적용중인 경년열화 완화대책 및 관리계획이 안전 여유도를 보증하기에 적절한지 검토

경년열화평가를 위해서는 우선적으로 평가 대상 계통·기기·구조물을 선정해야 한다. 원자력법 시행규칙 제19조의 2(주기적 안전성평가의 세부내용)항에서는 “평가대상 계통·기기·구조물의 분류 및 선정”이 경년열화평가 내용에 포함되어야 함을 언급하고 있으나 구체적인 평가대상에 대해서는 규정하고 있지 않아 평가자 및 심사자에게 혼선을 초래할 우려가 있다. 이 논문에서는 주기적안전성평가의 기본취지에 부합하도록 외국의 유사사례를 참조하여 경년열화평가 대상 계통·기기·구조물의 선정기준을 수립하였다. 또한 이 선정기준에 따른 선정절차와 선정결과에 대하여 기술하였다.

## 2. 선정 기준

### 가. IAEA 선정 방법론

국내에 주기적안전성평가 제도가 법제화되는데 기초 자료로 사용되었던 국제원자력기구(IAEA)의 주기적안전성평가 안전시리즈[6]에서는 “안전에 중요한 설비(SSCs important to safety)”가 경년열화평가 대상 범위로 선정되어야 함을 언급하고 있으나 구체적인 범위에 대해서는 규정하고 있지 않다. 또한 이 안전시리즈가 참조문헌으로 활용하고 있는 기기 선정 방법론[7]에서는 “안전에 중요한 설비”의 개념을 그림 1과 같이 도시하고 있으나 그 정의 및 범위가 명확하지 않다.

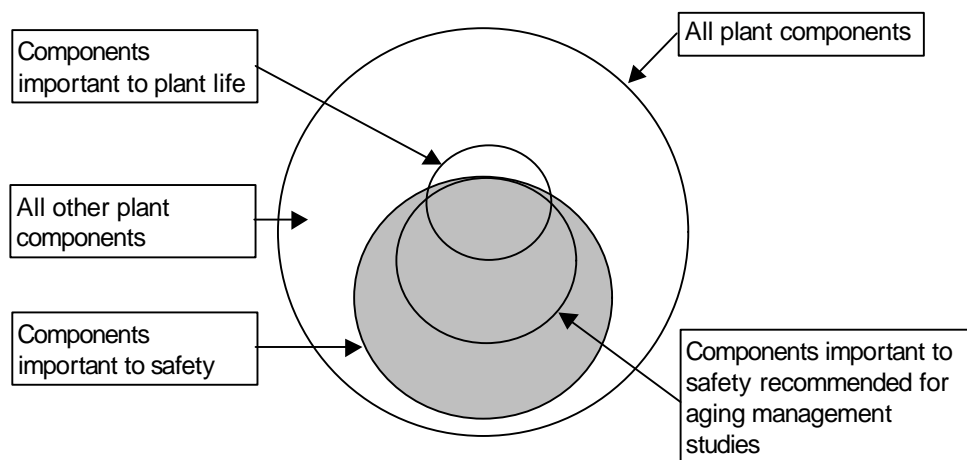


그림 1 경년열화평가 대상 설비 범위

나. 주기적안전성평가 시행지침

원자력법 시행규칙 제 19조의 3(주기적 안전성평가의 기준)에서 주기적안전성평가 기술기준으로는 “원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙[3]”을 따를 것을 언급하고 있으나 경년열화평가 대상 계통·기기·구조물의 선정기준에 관한 내용이 동 규칙에는 기술되어 있지 않다. 주기적안전성평가 제도가 법제화되기 이전에 시행지침으로 발간된 공문서[4]가 이와 관련한 내용을 언급하고 있는 유일한 문서이며 그 내용은 다음과 같다. 주기적안전성평가 제도는 2001년에 법제화 되었으므로 이 지침은 더 이상 유효하지 않으며 단지 참고 자료로서 의미가 있는 상태이다.

2.3.2 경년열화 평가기술기준의 적용

217. 원자로의 안전정지와 안전정지조건의 유지능력, 원자로 압력경계의 건전성 확보, 잠재적인 방사선 소외누출을 유발할 수 있는 사고의 방지 및 완화 등 원전의 안전기능을 보장하기 위한 계통·기기·구조물이 평가대상에 포함되어야 한다.

218. 원전의 안전기능에 영향을 미치는 비안전 관련 계통·기기·구조물이 평가대상에 포함되어야 한다.

219. 해당원전에 대해 규제기관이 특별히 요구한 사항과 관련된 계통·기기·구조물이 평가대상에 포함되어야 한다.

다. 미국 인허가갱신규정(LR)

미국에서 원자력발전소 인허가 갱신 시에 적용되는 규정인 10 CFR 54(LR, License Renewal Rule)에서는 경년열화평가 대상범위 및 내용에 대해 비교적 상세히 다루고 있다. 이 규정에서는 인허가 갱신 서류 작성 시에 경년열화평가를 수행해야 하는 계통·기기·구조물의 범위를 다음과 같이 명시하고 있다 [10].

§54.4 범위

(a) 이 규정이 적용되는 발전소 계통·기기·구조물 범위는 다음과 같다.

(1) 설계기준사고[10 CFR 50.49(b)(1)에 정의] 동안 및 이후에 다음과 같은 기능을 유지하는데 필요한 안전성관련(safety-related) 계통·기기·구조물

(i) 원자로냉각재 압력경계의 건전성 유지

(ii) 원자로 정지 및 안전정지 유지

(iii) 10 CFR 100 기준에 필적하는 잠재적 소외 피폭을 유발할 수 있는 사고를 방지하거나 완화

(2) 고장 발생시에 위의 기능(i, ii 또는 iii) 수행에 지장을 초래할 수 있는 모든 비안전성(non-safety related) 계통·기기·구조물

(3) 화재방호(10 CFR 50.48), 내환경검증(10 CFR 50.48), 가압열충격(10 CFR 50.61), 정지없는과도상태(10 CFR 50.62), 소내정전(10 CFR 50.63) 규정에 부합됨을 입증하는 안전분석 또는 발전소 평가에 관련된 모든 계통·기기·구조물

라. PSR의 경년열화평가 대상 범위

위 두 규정에서 PSR시행지침 217, 218항은 각각 LR 규정 (a)(1), (2)와 동일하나 219항과 같은 내용

은 LR 규정에는 존재하지 않는다. LR 규정 (a)(3)에서 명시하고 있는 5개 소급규정은 국내 의무요건은 아니나 규제기관 및 발전사업자 모두 관심을 가지고 있는 사항이며 관련 요건을 만족하기 위한 분석 또는 설비개선이 이미 선별적으로 진행중이므로 대상범위에 포함시키는 것이 바람직하다. 이를 종합하면 PSR 경년열화평가 대상 범위는 표 1과 같이 안전성, 비안전성, 규제기관 요구 및 기타 계통·기기·구조물로 정하는 것이 적절하다. 이는 PSR시행지침 범위와 미국 인허가갱신 규정 범위를 모두 수용하고 있으므로 향후 평가자와 심사자의 의견 차이를 예방할 수 있는 이점이 있다.

표 1 경년열화평가 대상 범위 및 정의

적용 규정 경년열화평가 범위	PSR시행지침	인허가갱신 규정	비고
1. 안전성(safety related) 계통·기기·구조물	217 항	(a)(1)	두 규정 내용 동일
2. 안전에 영향을 주는 비안전(non-safety related) 계통·기기·구조물	218 항	(a)(2)	두 규정 내용 동일
3. 규제기관 요구 계통·기기·구조물	219 항	없음	시행지침 219 적용
4. 기타 계통·기기·구조물	없음	(a)(3)	인허가갱신 규정 (a)(3) 적용

### 3. 선정 절차

표 1과 같이 경년열화평가 대상 범위가 확정되면 이 범위에 해당하는 계통·기기·구조물을 선정하여야 한다. 그림 2는 대상 계통·기기·구조물 선정 과정을 나타낸 것이다.

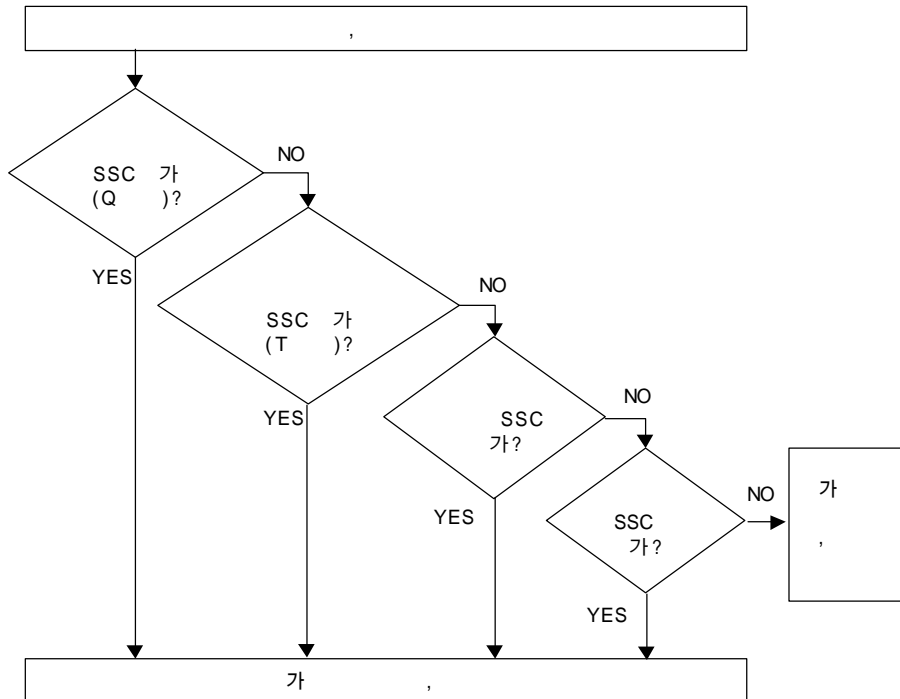


그림 2 평가대상 계통·기기·구조물 선정 흐름

### 가. 계통·기기·구조물의 등급분류

원자력발전소의 계통·기기·구조물이 안전성관련 설비인지, 안전성에 영향을 주는 비안전 설비인지 등을 판단하는데 활용될 수 있는 설계/운영 자료로는 다음과 같은 것이 있다.

- FSAR, P&ID, 발전소 배치도(General Arrangement Drawings), 전기회로도
- 설계기준문서(Design Basis Documents), 운전설명서
- 운전 및 정비 Database
- Q-Lists, Equipment List, Valve List, Instrument Index, EQ Master List
- 규제기관 지적/권고 목록, 인허가관련 문서

위와 같은 자료에는 발전소 설계시에 적용한 설비의 안전성, 내진등급, 품질등급 등과 관련한 등급 분류가 수록되어 있어 계통·기기·구조물의 특성과 안전성관련 여부 등을 판단하는 근거가 된다. 기계 설비에는 ANSI/ANS 51.1에 의한 안전등급이 적용되며 전기설비 분류에는 IEEE-308에 의한 안전 부하 관련 여부가 적용된다. 또한 토건설비를 포함한 모든 기기·구조물에는 Reg. Guide 1.29에 의한 내진등급 분류가 적용된다.

#### ○ 품질군(Quality Group)

Reg. Guide 1.26[11] 요건에 따라 계통·기기·구조물을 발전소 안전성 및 신뢰성에 미치는 중요도에 따라 설계시 A, B, C, D, N, R, T 등급으로 분류

#### ○ 안전등급(Safety Class)

ANSI/ANS 51.1[9] 분류기준에 따라 발전소 안전성에 미치는 중요도에 따라 안전등급(Safety Class) 1, 2, 3 및 비안전등급(Non Nuclear Safety)으로 분류한 것으로 적용대상은 다음과 같다. 과기부 고시 94-10(원자로 시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정)[3]은 이를 번역하여 제정.

- 압력이 작용하는 유체계통의 용기, 배관, 펌프, 밸브
- 원자로압력용기 내의 핵연료집합체를 지지하는 구조물
- 안전관련설비를 지지하거나 보호하는 구조물

#### ○ 내진등급(Seismic Category)

Reg. Guide 1.29[12] 요건에 따라 발생가능한 지진강도 및 해당품목의 기능을 고려하여 설계시 반영한 지진 설계값 정도를 분류한 것으로 Seismic Category I, II, SSE(Safe Shutdown Earthquake), OBE(Operating Basis Earthquake)으로 구분

#### ○ Class 1E 설비

IEEE-308[13]에서 정의하는 것으로 비상 원자로정지, 격납건물격리, 노심냉각, 격납건물 및 원자로 열제거 또는 방사선 물질의 외부방출 기능을 수행하는 필수 전기설비를 나타냄

### 나. 품질등급(Quality Class) 분류

설계목적에 따라 해당품질품목의 품질정도를 분류한 것으로 다음과 같이 안전성등급, 안전성 영향등급, 신뢰성등급, 일반산업등급으로 분류된다. 이 품질등급은 고리원자력 3, 4호기 발전소 설계 회사(A/E)였던 Bechtel 사에서 적용하던 분류체계를 한수원에서 수용한 것으로 현재 국내 모든 원전의 품질관리 절차에 적용되고 있다.

- 안전성등급(safety-related class, Q등급)

원자로냉각재 압력경계의 건전성을 보증해야 하는 설비, 원자로를 안전정지 시킨 후 지속적인 안전 유지 기능을 가진 설비 및 10 CFR 100에 서술된 소의 주민 피폭선량 초과를 유발할 수 있는 심각한 사고를 완화, 방지하는 기능을 가진 설비의 등급

- 안전성영향등급(safety-impact class, T등급)  
원자로발전소의 안전정지 및 정상운전에 원자로 안전 및 전력생산에 직접적인 영향은 없으나 해당 설비 및 품목의 고장으로 인하여 안전성 설비의 기능을 안전기준 이하로 저하시킬 수 있는 품목의 등급
- 신뢰성등급(reliability-critical class, R등급)  
원자로발전소의 전력생산을 위해 필수적인 기능을 수행하는 설비로써 고장 또는 결함발생시 전력설비 운영에 영향을 주거나 대규모의 복구작업이 필요한 품목 또는 품질군 A, B, C에 해당되지 않으며 방사성물질을 함유하거나 함유 가능토록 설계된 품목의 등급
- 일반산업등급(industrial standard, IS등급)  
발전소의 효율적인 운영을 위해 필요한 중요 기기, 계통 및 구조물로서 일반산업규격(KS, JIS, ANSI 등)을 적용하는 품목의 등급

위 품질등급에서 정의하는 안전성등급과 안전성영향등급은 PSR시행지침 및 LR규정에서 언급하고 있는 안전성 및 비안전 계통·기기·구조물과 내용이 동일하며 표 2는 이러한 관계를 보여주고 있다. 그림 2에서 안전성 또는 비안전 계통·기기·구조물을 선정하는 것은 품질등급이 Q 또는 T에 해당하는 계통·기기·구조물을 선정하는 것과 내용상 동일하다. 따라서, 표 3에서 나타낸 품질등급 Q, T 범위가 경년열화평가 대상 계통·기기·구조물 범위가 된다.

표 2 PSR시행지침, 인허가갱신규정 및 품질등급간의 관계

적용 규정 경년열화평가 범위	PSR시행지침	인허가갱신규정	품질등급	비고
1. 안전성 계통·기기·구조물	217 항	(a)(1)	안전성등급(Q)	세 규정 내용 동일
2. 안전에 영향을 주는 비 안전 계통·기기·구조물	218 항	(a)(2)	안전성영향 등급(T)	세 규정 내용 동일

표 3 계통·기기·구조물의 등급분류 및 품질분류간의 관계

Quality Group (R.G 1.26)	Safety Class (ANSI/ANS 51.1)	Seismic Category (R.G. 1.29)	Q List(*)	품질등급
A,B,C	1,2,3	I	Y	Q
		NA	N	R
	NNS	II	N	
D	NA	I	Y	Q
	NNS	II 또는 NA	N	R
R	NNS 또는 NA	II 또는 NA	N	
T	1,2,3	I	Y	Q
		NA	I	N
	II	N		
N	NA	I	Y	Q
		II	N	I/S

		NA	Y	Q
			N	I/S
NA	2,3	I	Y	Q
	NA	I	Y	
		II	N	I/S
		NA	N	

\* 10 CFR 50 App. B 품질요건에 따라 설계, 제작 및 건설되어야하는 설비로 FSAR 표 3.2-1에 명시

#### 다. 계통·기기·구조물 선정방법

수많은 계통·기기·구조물에 대해 그림 2와 같은 과정을 거쳐 경년열화평가 대상을 선별하는 일에는 많은 시간과 노력이 수반된다. 표 2에서 나타낸 바와 같이 품질등급 Q, T 범위는 경년열화평가 대상 계통·기기·구조물 범위에 해당하므로 발전소 모든 설비에 대하여 품질등급 분류가 되어 있을 경우에는 이를 활용하면 비교적 용이하게 경년열화평가 대상 계통·기기·구조물을 선정할 수 있다. 주기적안전성평가 대상인 고리 1호기는 품질등급관리[2] 절차서에 따라 계통·기기·구조물의 품질등급을 분류하여 운영하고 있으며 설비별 품질등급분류에 대한 정보는 발전소 정비관리 전산프로그램인 PUMAS N-III에 입력되어 있다. 따라서 이를 활용하면 경년열화평가 대상 1(안전성), 2(안전에 영향을 주는 비안전성)를 비교적 용이하게 선정할 수 있다. 경년열화평가 대상 3(규제기관 요구), 4(기타)는 설계/운영 자료와 계통·기기·구조물의 등급분류를 활용하여 그림 2와 같이 선정하면 된다.

#### ○ 안전성 계통·기기·구조물

PUMAS N-III에 품질등급이 “Q”로 부여된 설비는 경년열화평가 대상인 안전성관련 계통·기기·구조물 범위에 해당된다. PUMAS N-III에 누락된 일부구조물은 FSAR을 참조하여 목록에 추가하였다.

#### ○ 안전에 영향을 주는 계통·기기·구조물

PUMAS N-III에 품질등급이 “T”로 부여된 설비는 경년열화평가 대상인 안전에 영향을 주는 비안전 계통·기기·구조물 범위에 해당된다.

#### ○ 규제기관 요구 계통·기기·구조물

신뢰성 품목인 품질등급 “R”에 해당하는 기기 중 발전소의 안전성 향상을 위해 과학기술부가 지적사항 또는 권고사항으로 발급한 계통, 구조물, 기기를 대상기기에 포함하였다.

#### ○ 기타 계통·기기·구조물

미국의 소급적용 규정은 가동중인 원전의 안전성 향상을 위해 초기 인허가 연도에 관계없이 의무적으로 적용해야 하는 규정이다. 현재 고리 1호기는 가압열충격평가를 완료하였고 화재방호, 기기 검증, 원자로정지불능사고, 소내정전사고 등은 현재 설비개선을 계획하고 있거나 진행중이므로 향후 수년 이내에 소급적용 규정을 모두 만족할 것으로 예상된다. 따라서 소급적용 규정을 적용받는 설비는 경년열화평가 대상에 포함하였다.

## 4. 결 론

경년열화평가 대상 계통·기기·구조물 선정기준을 수립하기 위해 국내외 주기적안전성평가 관련 자료와 미국의 인허가 갱신 규정을 비교하여 바람직한 경년열화평가 대상 범위를 선정하였다. 대상범위로

는 PSR 시행지침과 미국 인허가갱신규정 범위를 포함하는 1. 안전성관련 계통·기기·구조물, 2. 안전에 영향을 주는 비안전 계통·기기·구조물, 3. 규제기관에서 요구하는 계통·기기·구조물 및 4. 기타 계통·기기·구조물로 선정하였다. 경년열화평가 범위인 1과 2항은 발전소에서 적용하고 있는 품질등급 분류 Q, T등급과 각각 내용이 동일하므로 발전소에서 활용하고 있는 설비별 품질등급 분류를 활용하는 것이 바람직하다. 또한, 설비별 품질등급에 대한 정보는 발전소 정비관리 전산프로그램인 PUMAS N-III에 입력되어 있으므로 이를 활용하면 경년열화평가 대상 1, 2항에 해당하는 계통·기기·구조물을 비교적 용이하게 선정할 수 있다.

## 참고문헌

1. 고리 1호기 최종안전성분석보고서, 한수원(주), 2000
2. 품질등급관리, 품질-고리-2-1, 개정 3, 한수원(주) 고리원자력본부, 1996.9
3. 원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정, 과기부고시 94-10, 1994.4
4. 주기적안전성평가 시행 지침, 과기부, 2000.5
5. 주기적안전성평가의 경년열화평가 대상기기 선정을 위한 기준, 원자력학회 추계학술대회 논문집, 문호림 외, 2001
6. Periodic Safety Review of Operational Nuclear Power Plants, Safety Series 50-SG-012, IAEA, 1994.
7. Methodology for the Management of Aging of Nuclear Power Plant Components Important to Safety, Tech. Report Series 338, IAEA, 1992
8. EPRI, Guidelines for the Safety Classification of Systems, Components, and Parts Used in Nuclear Power Plant Application, EPRI NP-6895, 1991.
9. ANS, Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants, ANSI/ANS 51.1, 1983.
10. NEI 95-10, Industry Guidelines for Implementing the Requirements of 10 CFR 54 - The License Renewal Rule, Jan. 2000
11. Reg. Guide 1.26, Quality Group Classifications and Standards for Water-, Steam-, and Radioactive-waste-containing Components of Nuclear Power Plants, Feb. 1976
12. Reg. Guide 1.29, Seismic Design Classification, Sep. 1978
13. IEEE-308, IEEE Standard Criteria for Class 1E Power System