2001 춘계학술발표회 논문집
한국원자력학회

위험도 기준 기술지침서 의사결정체계 연구

A Decision-making Framework for Risk-Informed Technical Specifications

김범석, 김인석
한양대학교
서울특별시 성동구 행당동 17번지

제무성
한성대학교
서울특별시 성북구 삼선동 2-389번지

성계용
한국원자력안전기술원
대전광역시 유성구 구성동 19번지

요 약

국내외 위험도 반영 기술지침서 관련규제 및 연구현황 조사 분석을 통해 사업자와 규제기관의 입장에서 위험도 반영 기술지침서 의사결정체제를 제시하였다. 기술지침서 변경을 위해 사업자가 수행해야 할 문서 준비 및 제출과정을 단계적 접근방법으로 제시하였고, 제출된 문서를 평가하기위한 규제기관의 의사결정과정을 제시하였다.

Abstract

The RITS literature survey on regulatory requirements and current TS research status in Korea as well as in foreign countries has been performed. Based on this survey, the RITS decision-making framework for the licensee and regulator point-of-view, respectively, is introduced in this paper. The required documents for the licensee to prepare are suggested in a systematic approach; the decision-making process of regulators for evaluating the documents is recommended.

1. 서론

기술지침서를 원전의 안전성을 유지하고 향상시킬 수 있도록 개선하기 위해서는 허용정지시간(Allowed Outage Time: AOT)과 감시시험주기(Surveillance Test Interval: STI) 등과 같은 기술지침서의 여러 요구 사항들이 원전의 안전성에 미치는 영향을 가급적 상세히 분석하여야 한다. 이와 관련하여 많은 기술 및 경험이 축적되어 있는 확률론적 위험도분석(Probabilistic Risk Assessments: PRAs)을 이용하여 위험도 또는 안전성의 관점에서 원전을 더욱 효율적으로 규제하기 위해, 미국 NRC를 중심으로 위험도 기준 규제(Risk Informed Regulation: RIR)가 도입되었다. 이러한 국제적 추세에 따라 국내에서도 기술지침서의 여러 가지 비효율적인 요구 사항들을 PSA 결과 및 리스크 정보를 이용하여 개선하기 위한 연구를 간헐적으로 수행하여 왔다[1-7]. 그러나 규제기관에서 이러한 기술지침서의 개선안을 검토하기 위한 지침이 아직 마련되어 있지 않은 상태여서 위험도를 반영한 기술지침서의 개선안을 체계적이며 합리적으로 검토하기 위한 검토지침서의 개발이 필요한 상황이다. 이를 위해 기술지침서 관련 국내 규제환경을 조사하고, 해외 선진 원전 보유국들의 원전 규제 동향, 위험도 기준 기술지침서 개발 연구동향, 기술지침서 개선사항 수집 및 비교 분석을 통하여 국내외 위험도 기준 기술지침서 관련규제 및 연구현황을 조사 분석하였다.

본 논문은 국내외 RITS 관련규제 및 연구현황 조사 분석을 통해 국내 RITS 검토지침서 개발을 위한 의사결정체제를 사업자와 규제기관입장에서 정성적으로 제시하였다.

2. RITS 연구현황

TMI사고 이후, 미국에서는 PRA 및 그 이용에 대해서 분야별로 오랜 연구와 시험적용이 이행되어 왔으며, PRA 등의 기법에 의한 위험도분석 결과를 원전에 직접 적용하여 규제의 안전성과 효율성을 도모하기 위해 위험도 기준 규제가 기본정책으로 자리매김하고 있다. 결정적 분석 및 공학적 판단에만 근간을 두고 있는 기존의 기술지침서를 리스크 정보를 사용하여 합리적으로 개선하기 위한 연구를 BNL, ABB-CE 및 Westinghouse 등의 기관에서 수행하였다[8-19]. 그러나 이들 연구는 대부분 기술지침서의 보조급수계통 또는 잔열제거계통과 같은 몇 가지 개별 계통들에 대한 허용정지시간의 최적화 등 국부적인 연구들이었다. 그리고 이러한 경향은 프랑스나 일본 등의 다른 선진 원전보유국에서도 마찬가지이며 위험도 분석 결과를 활용하여 기술지침서를 개선하기 위한 산발적인 연구만 수행되었을 뿐이다[19].

국내에서 고리 3,4 및 영광 1,2호기의 원자로보호계통(Reactor Protection System: RPS)과 공학적안전설비작동계통(Engineering Safety Feature Actuation System: ESFAS)에 대해 PSA 방법을 이용하여 정기점검 시험주기(STI) 및 허용정지시간(AOT)의 개선에 관한 연구를 수행하였으며 규제기관인 안전기술원으로부터 연구결과에 근거하여 이들에 대한 연장을 승인 받았다[1].

또한 위험도 정보를 이용한 의사결정에 관한 기본 원칙을 발표한바 있으며, 보조급수계통과 비상디젤발전기에 대해 계통 이용불능도의 차원에서 STI와 AOT를 평가하였다[7]. 최근 원자력연구소에서는 위험도 정보를 이용해 국내 원전의 주요 안전계통에 대해 허용정지시간을 변경하고 이들 계통의 전출력 운전 중 예방정비의 가능성을 파악하기 위해서 예방정비에 대한 위험도를 평가하였다.[2] 이밖에 전력연구원에서는 위험도정보를 반영하여 국내원전의 격납건물 종합누설률 시험주기(Integrated Leakage Rate Test: ILRT)에 관하여 미국 NRC가 1998년 7월에 발표한 Regulatory Guide 1.174에 기술된 Acceptance Guideline에 따라 공학적평가를 수행 중에 있다.[3]

3. RITS 의사결정체제

1980년대 중반이후 NRC에서는 부분적으로 PRA에 근거한 기술지침서의 개선을 검토하여 승인하였으며 기술지침서 개선내용의 대부분은 AOT나 STI 완화와 관련한 내용이다. NRC는 SECY 97-059에서 규제절차범위 내에서 PRA 기법을 적용하는 수행계획을 발표하였고 이 수행계획서에는 관련 규제 지침서를 지속적으로 개발하는 내용도 포함되어 있다. 또한 NRC는 다수의 규제지침서(Regulatory Guides) 및 표준심사지침(Standard Review Plan)을 통해 새로운 지침을 발행하였으며 특히 Regulatory Guide 1.177은 위험도 기준 기술지침서(Risk-Informed Technical Specification: RITS) 변경을 위한 규제내용의 체계를 기술하였다. 이 지침서는 공학적인 문제점을 고려하고 위험도를 적용하여 제안된 기술지침서의 AOT나 STI 변경의 특성 및 영향을 평가하는 방안을 제시하였다. 그러나 사업자와 규제기관의 수행과 검토관계에서 정보의 불일치가 효과적인 이행에 커다란 장애요인이 되어왔기 때문에 본 논문에서는 각각 사업자와 규제기관입장에서 RITS의사결정체제에 대하여 정성적으로 그 특징을 제시하였다.

3.1 사업자측면

위험도반영 기술지침서의 변경을 위한 의사결정과정에서 현재 규제요건과의 부합성, 심층방어, 충분한 안전여유도의 유지, 위험도 증가치가 작고 NRC의 안전목표와의 일치성, 변경을 감시하기 위한 성능측정방안의 사용과 같은 5가지 요소를 고려해야 한다. <그림 1>은 위의 5가지 의사결정 요소간의 인과관계를 영향도로 표시한 것이다. 기술지침서 변경을 위해 사업자가 수행해야 할 보고서를 제출하여야 한다. 사업자는 제안된 기술지침서의 변경과 관련된 이용 가능한 공학적 평가방법과 PRA 연구 등을 확인하여야 한다. 또한 제안된 변경을 기술하고 PRA에서 모델링 되어진 계통, 기기, 변수들이 기술지침서의 변경에 어떠한 영향을 받는지 결정하고, 기술지침서 변경이 영향을 주는 모든 PRA 요소를 확인하여야 한다[8]. 한편 사업자는 제안된 기술지침서를 평가하는데 있어, 현 규제사항과 일치여부를 확신 시켜야 하고, 심층방어 원칙을 만족하는가를 평가해야 한다. 그리고 제안된 기술지침서 변경 후에도 충분한 안전여유도 유지를 공학적으로 평가하여야 한다. 또한 PRA에 근거한 위험도 평가, 위험도가 큰 배열(Configuration)의 제한, 위험도 정보를 이용한 배열위험도 관리를 통해서 공학적인 평가를 수행하여야 한다. 사업자는 현재의 허가기준 변경을 정당화하기 위해 수행된 가정과 분석을 확인시키고, 기술지침서 변경으로 인해 안전에 어떠한 역효과도 초래하지 않는다는 것과 발전소 운전 안전성이 PRA 분석의 가정과 일치하게 유지될 수 있으며, 절차가 감시결과에 근거해 취한 조치들에 대한 기준을 제공한다는 것을 보증하며 이행과 감시 프로그램을 개발해야 한다. 그리고 제한된 기술지침서 변경에 대한 근거를 제시하기 위해

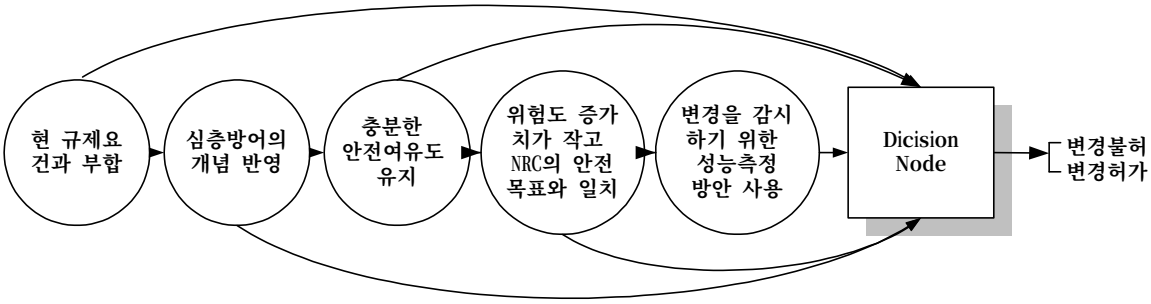

그림 1. STI/AOT 변경허가를 위한 의사결정 영향도

수행된 평가 내용들은 문서화되고 인허가변경 신청을 위한 제출서류에 포함되어야 하는데 최종문서에 포함되어야 할 사항을 정리하면 <그림 2>와 같다.

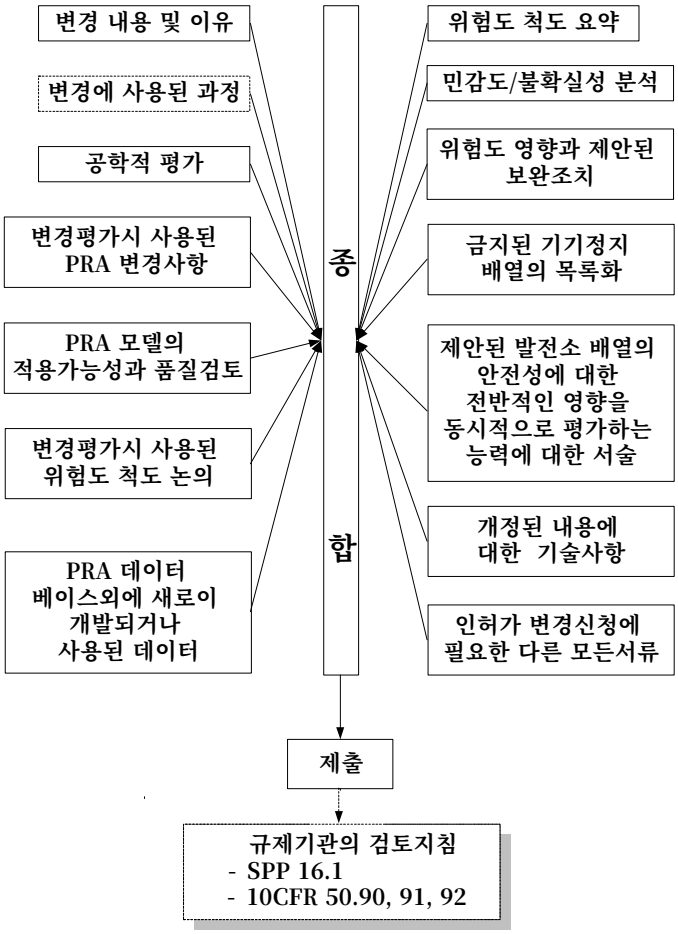

그림 2. 작성된 문서의 제출

3.2 규제기관측면

사업자가 제안한 기술지침서 변경은 규제기관에 의해서 평가되어야 한다. 규제기관은 제안된 변경을 평가하는데 있어 변경정의, 공학적 분석의 수행, 이행감시 프로그램 개발여부의 확인, 문서작성 및 제출 등 기술지침서 변경 항목에 대하여 단계적으로 검토하여야 한다. <그림 3>은 기술지침서 항목변경을 결정하기위한 규제기관의 의사결정과정을 정리한 것이다.

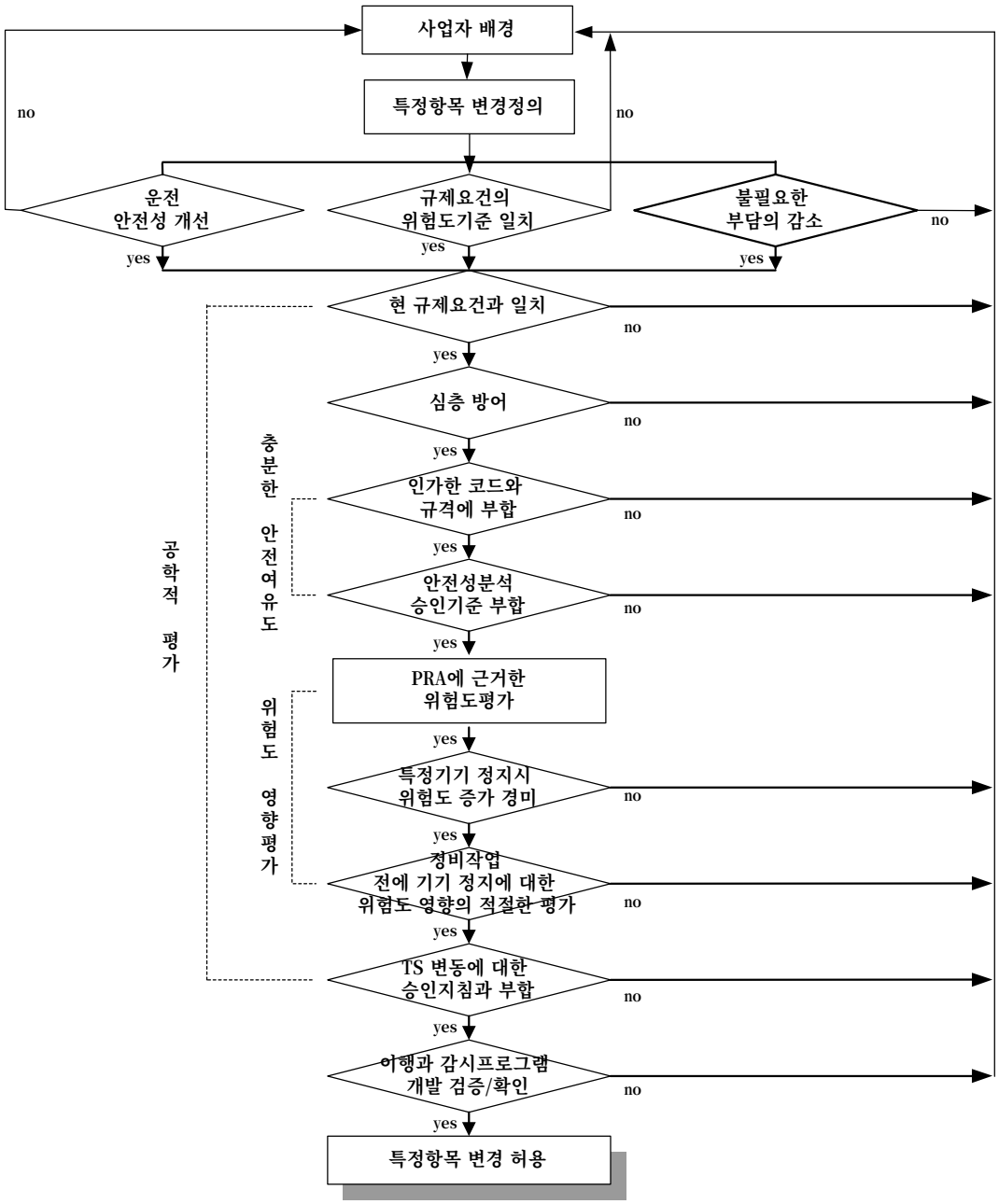

그림 3. TS 항목변경을 위한 의사결정과정

제안된 기술지침서 변경이유에 대한 승인기준은 위험도나 작업자의 피폭량이 감소하여 운전 안전성이 개선되었거나, 규제요건의 위험도기준에 일치하거나, 불필요한 부담을 감소시키는 경우이다. 그리고 10CFR 50.36, 원자력발전소 기술지침서 개선에 관한 NRC 최종정책성명, 10CFR 50.90, 10CFR 50.91, 19CFR 50.92 의 규정에 있는 허가기준을 만족하는지 평가한다. 또한 제안된 기술지침서 변경이 심층방어의 원칙을 만족하는지를 평가하여야 하며 심층방어는 다음의 경우에 대해서 유지되어야 한다.

- 노심손상과 격납용기 고장 방지 그리고 사고 결과 완화 사이의 균형이 타당성 있게 유지되어야 한다.
- 발전소의 취약한 설계를 보완하는 활동들에 대한 과신은 피해야 하며, 계획적인 배열관리로 기술지침서의 허용정지시간과 연관된 커다란 위험도 증가를 초래해서는 안된다.
- 계통다중성과 독립성, 그리고 다양성은 계통의 위협(Challenge) 예상주기와 결과에 맞추어 유지되어야 한다.
- 잠재적 공통원인고장(Common Cause Failure: CCF)에 대한 방어가 유지되고 새로운 공통원인고장 메커니즘에 대해 평가해야 한다.
- 인적오류 발생방지가 유지되어야 한다.
- 10CFR 50 부록 A 의 일반설계기준의 의도가 유지되어야 한다.

제안된 기술지침서 변경의 영향이 충분한 안전여유도가 확보되는지를 공학적으로 평가하여야 하며, NRC가 인가한 코드와 규격 또는 대체방안에 부합되는 경우와 현 허가를 토대로 한 안전성 분석 승인 기준에 부합되는 경우에는 충분한 안전여유도가 유지된다. 위험도영향 평가단계로서 제안된 기술지침서 변경과 관련된 위험도를 평가하기위해 PRA의 3가지 시행방안이 제시되었다.

사업자는 PRA에 근거한 위험도 평가, 위험도가 큰 배열(Configuration) 제한, 위험도 정보를 이용한 배열위험도 관리를 통해서 공학적인 평가를 수행하여야 하는데 규제기관은 위험도영향 평가가 적절히 수행되었는지를 평가하여야 한다. 그 다음 단계로는 기술지침서 변경에 대한 승인 절차이다. 이때 지침서의 영구변화와 변경으로 증가된 위험도가 경미해야 허용한다. 기술지침서 변경에 대한 일반적인 승인은 Regulatory Guide 1.174를 따른다[8]. 승인 가능한 기술지침서 변경을 결정하기위해 사용하는 수치적 지침과 함께 다른 공학적 평가와 운전 경험, 시험과 정비 활동과 관련된 이전의 변경과 실무가 고려되어야 한다. 마지막으로, 사업자가 현재의 허가기준 변경을 정당화하기 위해 수행한 가정과 분석을 확인하고, 기술지침서 변경으로 인한 안전에 대한 역효과를 평가한다. 또한 발전소 운전 안전성이 PRA 분석의 가정과 일치하게 유지되고, 감시 노력 결과에 근거해 취한 조치에 대한 기준 절차가 제공된다는 것을 보증하는 이행과 감시 프로그램을 평가하여야 한다.

4. 결론

국내외 위험도 반영 기술지침서관련 규제 및 연구현황의 검토를 통하여 위험도 반영 기술지침서에 대하여 각각 사업자와 규제기관의 입장에서의 의사결정과정을 체계화시켰다. 기술지침서 변경을 위해 사업자가 수행해야 할 요소들을 제안된 기술지침서 변경의 정의, 공학적분석의 수행, 이행 감시 프로그램, 문서의 작성 및 제출의 단계적 접근방법으로 소개하였다. 규제기관의 측면에서는 변경이 제안된 기술지침의 변경이유에 대한 승인여부, 현 규제요건과의 일치여부, 그리고 제안된 변경이 심층방어를 만족하는지의 여부를 확인하고, 안전여유도를 공학적으로 평가하기 위한 절차의 적절성을 평가하는 체계를 제시하였다. 본 연구의 결과는 위험도반영 기술지침서 개선을 위한 검토지침서를 개발하는데 기반연구로서 활용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국원자력안전기술원의 “위험도 기준 기술지침서 개선기술 개발 ”과제수행의 일환으로 수행된 것이다.

참고문헌

[1] 홍승열 외, “고리 3,4/영광 1,2호기 원자로보호계통 및 공학적 안전설비작동계통 정기점검주기 및 허용정지시간 변경분석 보고서,”TM.95ZJ11.V1998.120, 전력연구원, 1998.3
[2] 강대일 외, “위험도 정보를 이용한 울진3,4호기의 허용정지시간 변경,”KAERI/TR-1667/2000, 한국원자력연구소, 2000.12

[3] 서미로, "위험도정보를 반영한 국내원전 ILRT 주기연장 허용기준 개발," 전력연구원, 1999.10
[4] 정창현 외, "점검주기 및 허용정지시간 평가방법 연구," KINS/HR-181, 한국원자력안전기술원, 1997. 7.
[5] 강대일 외, "울진 3,4호기의 허용정지시간 변경에 대한 연구," 한국원자력연구소, 1998. 11
[6] 강대일 외, "전이위험도 평가를 이용한 허용정지시간 결정," KAERI/TR-1669/2000, 한국원자력연구소, 2000. 12
[7] 최광희 외, "영광 3,4호기 비상디젤발전기 정기 시험주기 및 방법 개선 기술보고서," TM.97NJ27.P1990.70, 한국전력공사 전력연구원, 1999. 2
[8] "An approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis," Regulatory Guide 1.174, 1998.7
[9] "An Approach for Plant-Specific, Risk-Informed Decisionmaking: Technical Specifications," Regulatory Guide 1.177, 1998.8
[10] "Risk-Based Technical Specification Program," EPRI TR-101894, Electric Power Research Institute, 1993. 1
[11] "Risk Based Technical Specification Program Plan For EPRI," Pacific Gas & Electric Westinghouse Electric Corporation ABZ, 1989. 11.
[12] "The Regulatory Decision Process Involved In AOT and STI Risk Analyses," A-3230 12-17-85, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1985. 12.
[13] W.E. Vesely, "Procedures To Define Numerical To Assess Risks Associated With Specification Modifications," A-3230 6-5-86, U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1986. 6.
[14] P.K. Samanta. et al., "Handbook of Methods for Risk-Based Analyses of Technical Specifications,"NUREG/CR-6141, Nuclear Regulatory Commission, 1994. 11
[15] P.K. Samanta, et al., "Risk Methodology Guide for AOT and STI Modifications," Nuclear Regulatory Commission, 1986. 12
[16] B. Atefi, et al., "Feasibility Assessment of a Risk-Based Approach to Technical Specifications,"NUREG/CR-5742, Nuclear Regulatory Commission, 1991. 5
[17] P.K. Samanta, et al., "Evaluation of Uncertainties in Technical Specification Risk Evaluations," A-3859 11-3-88, Nuclear Regulatory Commission, 1988. 11
[18] W.E. Vesely, "Procedures for Evaluating Technical Specifications: Evaluation of Allowed Outage Times(AOTs) from a Risk and Reliability Standpoint,"A-3230 6-28-85, Nuclear Regulatory Commission, 1985. 6
[19] Sylvain, M., Derriot, "Methods Concerning Risk-Based Assessment of Technical Specifications,"5th Inter' Conference on Nuclear Engineering, 1997. 5