

RI-ISI WOG 방법론을 이용한 배관파손에 따른 사고결말 분석

Evaluation of Consequence from the Postulated Piping failure to apply Risk-informed ISI using WOG RI-ISI Method

정백순, 오해철

한전전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

원자력 기기의 가동중검사는 ASME Section XI의 요건에 따라 수행하고 있으나, 지난 20년 동안 미국에서의 배관 가동중검사 경험에 의하면 검사요건에 의한 검사부위와 실제 파손경험은 밀접한 관계가 없는 것으로 확인되었다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 위험도 정보를 이용한 배관 가동중검사 부위 선정기술(RI-ISI; Risk-Informed In-service Inspection)이 개발되었으며, 미국 규제기관에 의하여 승인되었다. 최근 미국에서는 RI-ISI 방법론의 발전소 적용이 증가하고 있으며, 국내에서도 울진4호기를 대상으로 시범연구가 2001년 1월에 착수되었다. 본 논문에서는 WOG RI-ISI 방법론을 소개하고 예시로 작성한 세그먼트 결정 및 대체 기기 선정을 포함한 사고결말분석 결과를 소개하였다.

Abstract

Inservice inspections of nuclear components are currently performed based on requirements in ASME Section XI. Operating experience over the past 20 years in U.S.A has shown that failures are not occurring at design-based locations. To reduce the those problems, risk-informed ISI methods has been developed and approved by U.S. NRC. The application of risk-informed ISI for piping has been increased recently in U.S.A and the project for the application of RI-ISI to piping ISI for Ulchin 4 was launched in January, 2001. This paper describes WOG method for RI-ISI for piping ISI and provides the consequence evaluation results including segment definition and surrogate component selection.

I. 서 론

현재 미국의 원자력산업계 및 규제기관을 중심으로 원자력발전소의 운영 및 정비에 위험도 정보를 이용하는 기술 (Risk-Informed Technology)을 폭넓게 적용하고 있고, 또한 국내에서도 기존에 수행된 몇몇 위험도기반 기술적용 사례를 비롯해서, 점차 활발해지는 경향에 있다. 현재 미국의 경향은 위험도 정보기반 응용기술을 배관 가동중검사 부위 선정에 적용하는 RI-ISI(Risk-Informed Inservice Inspection)가 가장 폭 넓게 적용되고 있고, 미국 규제기관의 승인을

받아 발전소에 적용하고 있다. 위험도정보를 이용한 배관 가동중검사(RI-ISI)는 발전소 안전성을 그대로 유지하면서 인적 및 기술자원을 효과적으로 이용함으로써 비용을 절약하는 방법으로 각광 받고 있다. 이 방법은 배관의 검사부위를 선정하는 데 있어서 배관부위의 위험도를 평가해서 High Safety Significant Location에 검사를 집중함으로써 기존의 ASME Section XI 코드 요건 중 검사부위 선정 방법을 대체하는 방안이다. 본 논문에서는 현재 미국에서 NRC의 승인을 받은 RI-ISI 방법론 중 WOG RI-ISI 방법론을 국내 원전에 적용할 경우, 점검부위 선정에 대한 방법론을 고찰하고, 한가지 예시를 들어서 가동중 배관점검 부위 선정을 위한 사고 결말분석(Consequence Evaluation) 방법의 기술적 논의를 해보고자 한다.

II. 배관부위 선정을 위한 Risk-Informed ISI 방법론

현재 ASME Section XI, Code Case N-577과 WCAP-14572에 기술된 RI-ISI 프로그램은 그림 1에서 보여지는 것과 같이 전체적으로 다음 과정을 단계별로 수행하게 되어있다.

- 범위 정의 (Scope Definition)
- 부위 선정 (Segment Definition)
- 사고결말 평가 (Consequence Evaluation)
- 손상 평가 (Failure Probability Assessment)
- 위험도 평가 (Risk Evaluation)
- 전문가 위원회에서의 분류 (Expert Panel Categorization)
- 비파괴 검사부위 선정 (Element/NDE Selection)
- 이행 프로그램 (Implement Program)
- Feedback Loop

본 논문에서는 분석범위를 결정하는 (Scope Definition), 배관과손 시 예상되는 사고결말이 같은 배관을 그룹화 하는 배관부위 선정(Segment Definition) 및 사고결말 평가(Consequence Evaluation)에 대해서 논의하였다.

1. 범위 선정 (Scope Definition)

RI-ISI 프로그램의 첫 번째 단계는 평가하여야 할 계통을 결정하는 것이다. 미국 NRC에서는 Full Scope 뿐만 아니라 Partial Scope에 대해서도 Reg. Guide 1.174의 판정기준을 만족할 시 승인해 주고 있으며, 범위의 선정은 수명연장을 위한 기기 건전성 평가 필요성 등을 고려하여 발전소에서 경제성 측면에서 결정하고 있다. 미국의 대부분의 발전소는 경제적인 측면에서 partial scope를 선호하고 있으며, 유럽에서도 마찬가지이다. 확률론적 안전성분석 (PSA)에서 고려하고 있는 계통의 배관경계 (Piping Boundary)와 현재의 ASME Section XI 가동중검사 프로그램의 Class 1,2,3 검사 범위에 포함되어 있는 배관경계를 대상으로 RI-ISI 프로그램에 포함해야 할지 여부를 검토해야 한다. PSA에만 고려되어 있고, ASME Section XI에는 포함되어 있지 않는 배관경계도 또한 검사부위로의 포함여부를 검토해야 한다. 범위 선정은 다음의 세 가지 기준을 근거로 결정된다.

- Full Scope 적용 시 ASME Class 1,2,3, Non-Nuclear Code Case (Partial Scope 적용 시 Class 1 또는 Class 1&2 배관 대상)
- PSA에 모델되어 있는 배관 경계
- 중요한 BOP 유체계통 배관

위의 기준을 근거로 해서 안전관련 구조물,계통,기기(SSC)를 구성하는 배관, 사고완화 기능에 기여하는 비안전관련 배관, 그 배관이 파손되었을 경우 원자로 트립이나 안전관련계통의 작동신호를 발생시킬 수 있는 배관 등을 RI-ISI 분석 범위로 결정한다.

2. 배관부위 선정 (Segment Definition)

각 계통에 포함된 배관에 중요성을 평가하기 위해 배관부위를 선정해야 한다. 배관부위를 결정하는 주요기준은 다음과 같다.

- 배관이 파손되었을 경우 PSA와 다른 고려사항들(예를 들면, 정지냉각계통의 1 계열 상실, 재장전수조의 상실, 격납건물 내부 혹은 외부에서의 사고결말 등)에서 같은 사고결말을 갖는 배관부위
- 흐름이 분기되거나 합쳐지는 배관부위
- 배관 크기가 변경되는 배관부위
- 배관이 파손되었을 경우 격리될 수 있는 배관부위(예를 들면, Check 밸브, 전기구동밸브, 공기구동밸브 등- 그러나 일반적으로 수동밸브(Manual Valve)는 배관이 파손되었을 경우의 접근이 곤란하기 때문에 격리할 수 없다고 가정된다).

Check 밸브나 전기/공기 구동밸브 등은 자동적으로 혹은 주제어실에서 운전원에 의해 파손부위를 격리할 수 있으므로 배관파손으로 인한 사고결말을 줄일 수 있다. 주제어실에서 운전원에 의한 격리는 배관부위의 사고결말평가 시에 "운전원 조치없음(Without Operator Action)"의 순위결정에서는 Credit을 주지 않는다. 자동격리밸브들은 배관파손 발생 시 밸브를 닫기 위한 신호를 생성하는 경우에는 격리되는 것으로 가정된다.

위의 기준을 근거해서 정리하면 배관부위(Piping Segment)는 주로 어떤 지점에서 파손이 똑같은 사고결과를 야기하는 배관의 부분으로 주로 정의되고, 부위 경계는 사고결말의 정도에서 크게 변화가 있는 지점 즉, 배관 크기가 변하거나 배관이 분기되는 지점이나 배관 재질 때문에 배관파손 확률이 현저하게 달라지는 지점에서 다른 Segment로 구분된다. 선정된 배관부위에 대한 파손모드효과분석(FMEA)을 "운전원 조치있음(With Operator Action)"과 "운전원 조치없음 ("Without Operator Action)" 두 가지의 경우에 대해서 수행한다. 배관부위 선정작업은 한번에 결정되지 않고 사고결말과 가능한 운전원 회복조치의 식별을 반복하는 과정을 통해서 결정된다.

배관부위 선정과 관련해서 임의의 단순화된 공학적안전주입계통을 가지고 배관부위가 어떻게 선정되는 지 그림 2에 나타냈다. 이 예에서 공학적안전주입계통의 배관부위들은 ECCS-1에서 ECCS-5까지 5개의 배관부위로 구분된다. ECCS-1은 탱크에서부터 MOV-1, 2까지의 배관으로 정의되고, ECCS-2는 MOV-1에서 Check 밸브 CV-1까지의 배관으로, ECCS-3은 MOV-2에서 Check 밸브 CV-2까지의 배관으로, ECCS-4는 Check 밸브 CV-1, CV-2에서 Check 밸브 CV-3까지의 배관으로, 마지막으로 ECCS-5는 Check 밸브 CV-3에서 원자로 냉각재 배관 주입구까지의 배관으로 정의된다.

3. 사고결말 평가 (Consequence Evaluation)

다른 Risk-Informed 적용분야와 마찬가지로 배관 압력경계파손으로 인한 안전성 관련 사고결말은 노심손상빈도(CDF : Core Damage Frequency)와 대량조기방출(LERF : Large Early Release Frequency)로 측정된다. 배관 압력경계 파손으로 인해서 노심손상에 미치는 영향은 직접 (Direct) 및 간접(Indirect)효과를 고려해야 한다. 직접적 사고결말은 파손된 배관으로 인해

발전소 안전정지에 필수적인 유체의 유동을 더 이상 공급할 수 없는 계통상실 같은 것이고, 간접 효과의 예는 파손된 배관으로 인해 야기된 내부침수, Pipe Whip, Jet Impingement로 중요한 전기 기기 등의 기능상실로 야기되는 사고결말이다.

1) 직접효과 (Direct Effect)

PSA를 사용해서 압력경계 파손의 결말에 대해 CDF 또는 LERF로 정량화 할 수 있다. PSA는 배관파손이 발생했을 경우 아래의 어느 경우에 해당되는 지를 결정하기 위해 사용되어진다..

- 그 배관부위가 파손되었을 경우 LOCA 또는 원자로 트립 같은 초기사건을 일으키는 파손
- 그 배관부위가 파손되었을 경우 단일 계열 또는 시스템을 이용불능으로 만드는 파손
- 그 배관부위가 파손되었을 경우 다중 계열 또는 시스템을 이용불능으로 만드는 파손
- 그 배관부위가 파손되었을 경우 위의 어떤 조합을 일으킬 수 파손

즉, 직접효과 평가는 배관파손으로 인해서 PSA에서 고려하는 초기사건 (Initiating Event)만 일으키는 지, 또는 완화설비 (Mitigating System)의 이용불능을 초래하는 지, 또는 위의 두 경우를 같이 일으키는 지를 결정하는 것이다. 이렇게 해서 선정된 배관부위의 운전원 조치유무에 대한 사고결말이 정해지면, 사고결말의 정량화를 위해 PSA 모델에서 사고결말에 해당하는 대체사건 또는 대체 기기 (Surrogate Event or Component)를 정하게 된다. 단지 발전소 정지를 야기하는 배관파손에 대해서는 관련 초기사건에 대한 조건부 노심손상확률 (Conditional Core Damage Probability)이 적용된다. 대체 기기가 운전중인 기기일 경우 기기 고장확률은 식 (1)이 적용되고, 대기중인 기기로 선정될 경우에 대한 고장확률은 식 (2)를 적용해서 평가한다.

$$FP_{\text{배관파손}} = (FR_{\text{배관파손}}) \times T_m \quad (1)$$

$$FP_{\text{배관파손}} = 0.5 \times (FR_{\text{배관파손}}) \times T_s + (FR_{\text{배관파손}}) \times T_m \quad (2)$$

$$FR_{\text{배관파손}} = FP_{\text{발전소}} \times \text{수명기간(년)} / (\text{수명기간(년)} \times 8760 \text{ 시간/년}) \quad (3)$$

여기서 $FR_{\text{배관파손}}$ 은 배관 파손율(단위시간당 고장횟수)을 나타내고, T_s 는 점검기간, T_m 은 임무수행시간 (24시간)을 나타낸다. RI-ISI 프로그램에서 계산은 연간 CCDF/P로 표시되므로 FP는 연간 기준으로 표시한다. 배관파손으로 인한 노심손상빈도는 식 (4)에서와 같이 계산된다.

$$CDF_{\text{배관파손}} = FP_{\text{배관파손}} \times CDDP_{\text{배관파손}} \quad (4)$$

2) 간접효과 (Indirect Effect)

PSA 모델 외부사건의 침수(Flooding) 및 Hazard Evaluation Report 등을 활용해서 배관 파손으로 인해 영향받는 발전소 계통이나 기기들의 간접적 혹은 공간적 사고결말을 정한다. 간접효과로 인한 사고결말은 직접효과와 마찬가지로 초기사건 또는 완화계통의 기능상실, 또는 초기사건과 완화계통 기능상실의 조합으로 나타낸다. 간접효과 평가는 배관파손으로 인해서 야기될 수 있는 아래의 평가하는 것이다.

- Flooding
- Water Spray
- Pipe Whip
- Jet Impingement

III. Risk-Informed ISI 배관부위선정 적용 예

RI-ISI 프로그램에서 배관부위 선정에 대한 보기를 그림 2와 같이 단순화된 공학적 안전주입 계통의 예를 가지고 적용해서 논의해 보고자 한다. 선정된 배관 부위(Segment)들은 그림 2에서 구분 표시하였다.

1. 가정 및 조건 사항

- Train A는 정상운전 중이다 (MOV-1 개방, Pump-A 운전 중, Check 밸브 CV-1과 CV-3은 개방)
- Train B는 대기상태이다. (점검주기는 3개월)
- MOV는 주제어실에서 격리할 수 있다.
- 중형 냉각재 상실은 2" 이상 6" 이하의 냉각재 배관 파손으로 정해진다.
- 각 Segment에 대한 배관크기 및 배관 파손확률은 표 1과 같다.

배관부위 (Segment)	배관 크기	배관 파손확률 (40년 운전기준)
ECCS-1	6"	1.0E-4
ECCS-2	8"	4.0E-4
ECCS-3	8"	4.0E-4
ECCS-4	6"	4.0E-3
ECCS-5	5"	5.0E-5

표 1. 배관부위별 배관 크기 및 파손확률

- 사고결말에 대한 조건부 노심손상확률은 표 2와 같다.

사고결말	노심손상확률(Δ CDF/CCDP)
중형 냉각재 상실 (Train A&B 상실고려)	5E-3(Prob)
소형 냉각재 상실 (Train A&B 상실고려)	4E-2(Prob)
Train A의 안전주입기능 상실	3E-4(per year)
Train A의 안전주입기능 상실	3E-3(per year)
Train A&B의 안전주입기능 상실	5E-2(per year)
탱크 파단	5E-2(per year)

표 2. 사고결말별 조건부 노심손상확률

2. 선정된 배관부위 및 사고결말

앞에서 주어진 가정사항을 전제로 RI-ISI 방법론을 적용해서 배관부위 경계로 선정된 사유에 대해서 논의해 보고 각 배관부위가 갖는 사고결말을 운전원 조치가 있는 경우와 없는 경우를 가정해서 기술해 보았다. RI-ISI 방법론에는 배관부위 경계를 정하는 주요 기준 중에 하나로 MOV나 Check 밸브와 같은 유동을 격리할 수 있는 기기를 들고 있으며, 그 기기들의 전후로 배관부위(Segment)가 달라진다. 배관부위 ECCS-1은 탱크로부터 MOV-1과 MOV-2까지의 배관으로 MOV에서 격리될 수 있으므로 경계로 정해진다. 이 배관부위가 파손되면 운전원 조치여부에 상관없이 Train A&B 모두 사용불가가 된다. ECCS-2는 MOV-1에서부터 Check 밸브 CV-1까지의 배관부위가 된다. 이 배관부위 파손으로 인한 사고결말은 운전원 조치가 없는 경우는 양쪽

Train A&B 모두 사용불가가 되고, 운전원 조치가 있는 경우는 MOV-1의 격리조치를 통해서 Train B는 사용 가능하다. ECCS-3는 MOV-2에서부터 Check 밸브 CV-2까지의 배관부위가 된다. 이 배관부위 파손으로 인한 사고결말은 운전원 조치가 없는 경우는 ECCS-2 Segment와 마찬가지로 양쪽 Train A&B 모두 사용불가가 되고, 운전원 조치가 있는 경우는 MOV-2의 격리조치를 통해서 Train A가 사용 가능하다. ECCS-4는 Train A의 Check 밸브 CV-1과 Train B의 CV-2에서부터 공통헤더의 Check 밸브 CV-3까지의 배관부위가 된다. 이 배관부위 파손으로 인한 사고결말은 MOV를 격리하는 운전원 조치의 유무에 관계없이 양쪽 Train A&B 모두 사용불가가 된다. ECCS-5는 Check 밸브 CV-3에서 RCS 배관까지의 배관부위가 된다. 이 배관부위 파손으로 인한 사고결말은 배관파손의 크기에 따라 중형 또는 소형냉각재 상실 초기사건을 야기하고, 또한 운전원 조치유무에 상관없이 양쪽 Train A&B 모두 사용불가가 된다.

3. 대체 기기 선정

각 배관부위의 사고결말 평가를 위해 운전원 조치 유무에 따라 PSA에 모델 되어있는 대체 기기를 선정해야 한다. 각 배관부위에 대한 대체 기기를 선정해 보았다. ECCS-1에서의 파손은 운전원 조치의 유무에 관계없이 탱크에 저장되어 있는 안전주입수를 고갈시키므로 대체 기기로는 탱크(TK-0)파단을 들 수 있으며, ECCS-2와 ECCS-3는 운전원 조치가 없는 경우, ECCS-1과 마찬가지로 안전주입수 고갈을 야기하므로 탱크(TK-0) 파단으로 정해지며, 운전원 조치가 있는 경우는 1 Train의 고장을 대체할 수 있는 Pump-A 손상(ECCS-3의 경우는 Pump-B)으로 정해진다.

ECCS-4는 운전원 조치의 유무에 관계없이 양쪽 Train의 기능상실을 야기하는 탱크(TK-0)파단 또는 CV-3의 고장으로 정해진다. ECCS-5는 운전원 조치에 상관없이 중형냉각재 상실 사건 또는 소형냉각재 상실 사건이 대체 사건으로 정해지고 또한 양쪽 Train의 기능상실을 야기하는 탱크(TK-0)파단 또는 CV-3의 고장으로 정해진다.

4. 사고결말 평가결과

각 배관부위에 대한 사고결말 평가는 앞에서 주어진 배관파손확률에 대한 가정사항 및 식 (1) ~ (3)을 이용해서 평가하였다.

1) ECCS-1 Segment

- 배관파손확률 ($FP_{\text{배관파손}}$) = $[FP_{\text{발전소}} \text{ 수명기간(년)} / (\text{수명기간(년)} \times 8760 \text{ 시간/년})] \times T_m$
 $= [1E-4 / 40\text{년} \times 8760\text{시간/년}] \times 24 \text{ 시간} = 6.85E-9$
- $CDF_{\text{배관파손}} = FP_{\text{배관파손}} \times CDDP_{\text{배관파손}}$
 $= 6.85E-9 \times 5E-2/\text{년} = 3.42E-10/\text{년}$

2) ECCS-2 Segment

- 배관파손확률 ($FP_{\text{배관파손}}$) = $[FP_{\text{발전소}} \text{ 수명기간(년)} / (\text{수명기간(년)} \times 8760 \text{ 시간/년})] \times T_m$
 $= [4E-4 / 40\text{년} \times 8760\text{시간/년}] \times 24 \text{ 시간} = 2.74E-8$
- 운전원 조치없는 경우의 $CDF_{\text{배관파손}} = FP_{\text{배관파손}} \times CDDP_{\text{배관파손}}$
 $= 2.74E-8 \times 5E-2/\text{년} = 1.37E-9/\text{년}$
- 운전원 조치있는 경우의 $CDF_{\text{배관파손}} = FP_{\text{배관파손}} \times CDDP_{\text{배관파손}}$
 $= 2.74E-8 \times 3E-4/\text{년} = 8.22E-12/\text{년}$

3) ECCS-3 Segment

- 배관파손확률 ($FP_{\text{배관파손}}$) = $[0.5 \times (FR_{\text{배관파손}}) \times T_s + (FR) \times T_m]$
 $= [0.5 \times (4.0E-4/40\text{년}) \times (0.25\text{년}) + [4.0E-4 / 40\text{년} \times 8760\text{시간/년}] \times 24 \text{ 시간}]$
 $= 1.28E-6$

- 운전원 조치없는 경우의 $CDF_{\text{배관파손}} = FP_{\text{배관파손}} \times CDP_{\text{배관파손}}$
 $= 1.28E-6 \times 5E-2/\text{년} = 6.40E-8/\text{년}$
- 운전원 조치있는 경우의 $CDF_{\text{배관파손}} = FP_{\text{배관파손}} \times CDP_{\text{배관파손}}$
 $= 1.28E-6 \times 3E-3/\text{년} = 3.84E-9/\text{년}$

4) ECCS-4 Segment

- 배관파손확률 ($FP_{\text{배관파손}}$) = $[FP_{\text{발전소 수명기간(년)}} / (\text{수명기간(년)} \times 8760 \text{ 시간/년})] \times T_m$
 $= [4.0E-3 / 40\text{년} \times 8760\text{시간/년}] \times 24 \text{ 시간} = 2.74E-7$
- $CDF_{\text{배관파손}} = FP_{\text{배관파손}} \times CDP_{\text{배관파손}}$
 $= 2.74E-7 \times 5.0E-2/\text{년} = 1.37E-8/\text{년}$

5) ECCS-5 Segment

- 배관파손확률 ($FP_{\text{배관파손}}$) = $[FP_{\text{발전소 수명기간(년)}} / \text{수명기간(년)}]$
 $= [5.0E-5 / 40\text{년}] = 1.25E-6/\text{년}$
- $CDF_{\text{배관파손}} = FP_{\text{배관파손}} \times MLOCA CDP_{\text{배관파손}} + FP_{\text{배관파손}} \times SLOCA CDP_{\text{배관파손}}$
 $= 1.25E-6/\text{년} \times 5.0E-3 + 1.25E-6/\text{년} \times 4.0E-2 = 5.62E-8/\text{년}$

5. 검사배관 우선 순위 결정

검사배관부위의 우선 순위 결정을 위해 운전원 조치가 있을 경우와 없을 경우 각각에 대해 계산된 전체 조건부 노심 손상빈도에 대한 각 배관부위의 조건부 노심손상 빈도의 기여도를 백분율로 계산하여 중요도 순위를 표 3에 나타냈다.

배관부위	운전원조치 없는 경우 $CDF_{\text{배관파손}} (/\text{년})$	전체 CDF에 대한 기여도(%)	운전원 조치 있는 경우 $CDF_{\text{배관파손}} (/\text{년})$	전체 CDF에 대한 기여도(%)
ECCS-1	3.42E-10	0.25	3.42E-10	0.46
ECCS-2	1.37E-9	1.01	8.22E-12	0.01
ECCS-3	6.40E-8	47.2	3.84E-9	5.2
ECCS-4	1.37E-8	10.1	1.37E-8	18.5
ECCS-5	5.62E-8	41.4	5.62E-8	75.9
Total	1.36E-7	100	7.41E-8	100

표 3. 각 배관부위가 차지하는 중요도

위 표에서 보여지는 것처럼 운전원 조치를 고려하지 않는 경우에 제일 중요한 Segment로는 ECCS-3을 들 수 있고, 운전원 조치를 고려할 경우에는 ECCS-5 Segment 가 절대적으로 중요하게 나타났다. 이렇게 계산된 배관부위의 중요도 순위로 HSSC(High Safety Significant Component)를 식별하고 이를 전문가 위원회에서 결정하게 된다.

IV. 결론

울진4호기 RI-ISI 시범적용연구에 적용할 WOG RI-ISI 방법론을 고찰하고, WOG 방법론을 이용하여 예시를 들어 사고결말분석(Consequence Evaluation)을 수행하였다. 배관파손에 따른 사고결말을 분석하고, 배관파손확률을 평가하여 이를 동시에 고려하여 배관 세그먼트의 중요도를 판단하는 WOG 방법론은 정량적인 결과를 얻을 수 있어 배관 가동중검사 프로그램의 변경에 따른 위험도 변화를 수치적으로 보여줄 수 있어 효율적인 것으로 판단되며, RI-ISI 적용을 통해 얻은 핵심기술은 위험도정보 기술(Risk-Informed Technology)의 다른 분야 확대 적용에 기반이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] WCAP-14572, Revision 1-NP-A "Westinghouse Owners Group Application of Risk-Informed Methods to Piping Inservice Inspection Topical Report". Feb. 1999
- [2] Regulatory Guide 1.178 "An Approach for Plant-Specific Risk-informed Decision-making : Inservice Inspection of Piping" Sep. 1998
- [3] Regulatory Guide 1.174 "An Approach for Plant-Specific Risk-informed Decision-making : General Guidance". Sep. 1998
- [4] Nuclear Energy Institute Draft "Industry Guideline for Risk-Based Inservice Inspection ". Apr. 1996

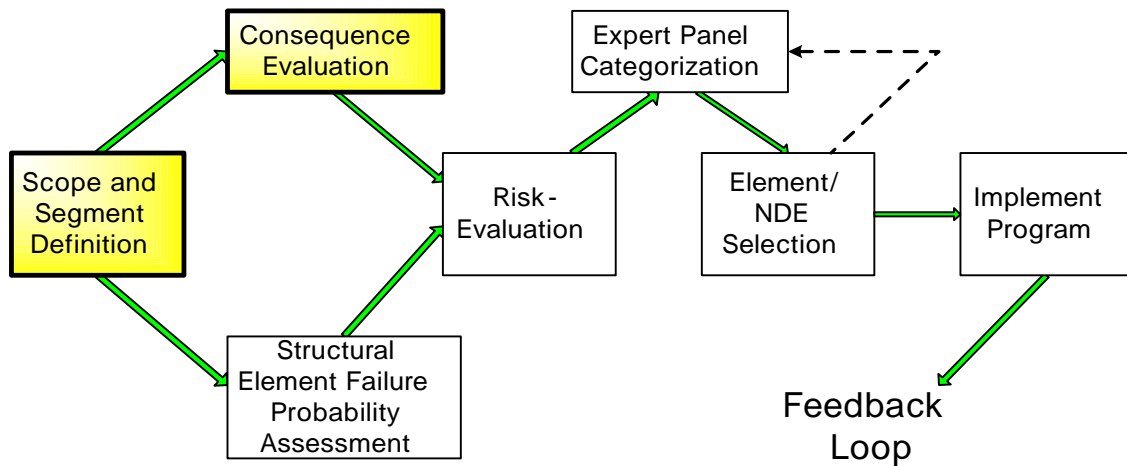


그림 1 WOG Risk-Informed ISI Process

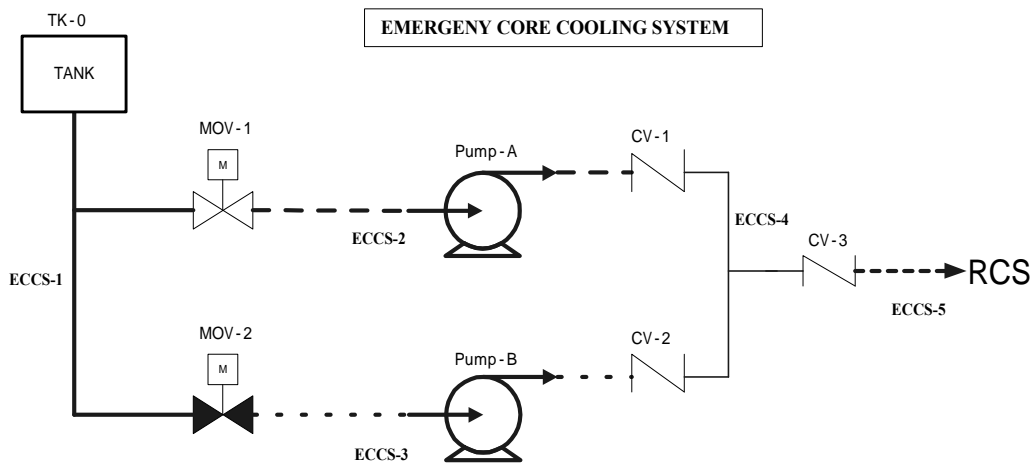


그림 2 단순화된 비상노심냉각계통의 Piping Segment