

《기술보고》

고리 1호기 ASME 펌프 가동중 시험주기 요건완화

최해운, 민경성, 김영보, 손갑헌

한국전력기술주식회사
대전광역시 유성구 덕진동 150

(1995. 11. 7)

요 약

원자력발전소에서 사용하는 ASME 코드펌프는 관련법규 및 기술기준에 따라 주기적으로 가동중 시험을 수행함으로써 펌프의 운전가능성(operability)을 확인하도록 되어 있으며, 이러한 내용이 최종 안전성분석보고서의 기술지침서에 명시되어 있다. 고리 1호기의 경우, ASME Sec. XI의 관련 규정이 1979년 Winter Addenda에서 변경되어 이를 따를 경우 매 3개월마다 가동중 시험을 수행하면 되도록 되어 있으나, 이러한 사항이 기술지침서에 명시적으로 반영 되어있지 않아 현재까지 종전 규정에 따라 매월 가동중 시험을 수행하고 있다. 따라서 본 보고서는 고리 1호기 ASME 펌프의 가동중 시험 주기를 1개월에서 3개월로 완화시키기 위한 기술적인 근거를 확보하기 위하여 10 CFR 50, ASME 코드 Sec.XI 및 III등 관련 법규 및 기술기준과 고리 1호기를 비롯한 유사발전소의 기술지침서, 표준 기술지침서 및 지침서 개선연구결과등과 고리 1호기 현장에서의 시험기록을 조사검토하였다. 이러한 검토를 통하여 가동중시험주기를 매 3개월 마다로 완화하는 것이 타당하다는 결론을 얻었으며, 그 근거로는 법규 및 기술기준에의 적합성, 유사발전소 및 표준기술지침서에서의 3개월 주기 적용 사례, NRC의 개선연구결과와 권고사항 및 현장시험기록자료의 안정성 등을 들 수 있다.

1. 서 론

원자력발전소에 사용하는 주요기기는 필요시 제 기능을 수행할 수 있어야 하며 이러한 기기에 대한 운전가능성(operability)은 관련 법규 및 기술기준에 따라 정기적으로 가동중시험(in-service test)을 수행함으로써 확인하도록 되어있다. ASME 코드 등급의 펌프와 밸브는 이러한 가동중시험의 대상이 되는 주요기기로서, 10 CFR 50, Section 50.55(g)(4)와 ASME Sec.XI이 적용된다. 각 발전소에 있어서 시험에 대한 구체적인 사항은 해당 발전소의 최종안전성분석보고서 16장 기술지침서(Technical Specifications)에 점검요건(Surveillance Requirements)으로서 규정된다.

ASME 코드 펌프의 가동중 시험주기를 규정하고 있는 ASME Sec.XI, IWP-3400이 1979 Winter Addenda에서 변경되어, 종전 최소한 매 1개월로 되

어있던 시험주기가 3개월로 완화되었다. 본연구에서는 ASME Sec.XI의 시험주기요건의 변경과 관련하여, 현재까지 매월 가동중시험을 실시하고 있는 고리 1호기 해당 펌프들의 시험주기를 ASME Sec.XI의 변경을 반영하여 매 3개월로 완화하기 위한 타당한 근거를 마련하고자 한다.

고리 1호기의 상업운전이 1978년에 시작되었기 때문에 10 CFR 50, Section 50.55a (g)(4) (iv)에 의하면 ASME Sec.XI의 1979 Winter Addenda의 변경사항이 적용되어 3개월로의 시험주기 완화가 가능하리라고 판단되는데, 기술지침서에 ASME 코드의 적용년도가 명시적으로 나타나있지 않기 때문에 아직까지 1개월 주기로 시험을 실시하고 있는 것으로 추측된다. 또한 1개월 주기로 가동중 시험을 자주함으로써 펌프의 운전가능성에 대한 신뢰도는 높일 수 있는 이점이 있으나, 빈번한 시험으로 인한 운전원의 부담 및 방사선 피폭량 증가와 시험과도상태(transients) 증가로 인한

표 1. 고리 1호기 ASME 코드 펌프

펌프명	대수	코드 등급	내진 등급
충전펌프	3	ASME III 등급 2	I
안전주입펌프(HPSI 펌프)	2	ASME III 등급 2	I
잔열제거펌프(LPSI 펌프)	2	ASME III 등급 2	I
격납용기살수펌프	2	ASME III 등급 2*	I
보조급수펌프	3	ASME III 등급 3*	I
- 모터구동	2		
- 터빈구동	1		
기기냉각수펌프	4	ASME III 등급 3*	I
기기냉각해수펌프	4	ASME III 등급 3*	I

주 : * 로 표시한 펌프의 등급은 고리 1호기 자료에서 확인이 불가능한 것으로서 고리 2호기 및 기타 발전소의 자료로 부터 추정한 것임.

펌프의 노후화 촉진등 불리한 점들이 지적되고 있다. 따라서 운전가능성에 대한 신뢰도를 유지하고 관련 법규나 기술기준에 위배됨이 없이 앞에서 언급한 불리한 점을 완화하기 위하여 가동중시험주기를 3개월로 변경하는것이 바람직하다고 판단된다. 이를 위하여 본 보고서에서는 관련 법규 및 기술기준의 타당한 적용을 위한 관련자료를 검사 및 검토하였다.

2. 대상 ASME 코드 펌프

본 보고서에서 검토대상으로 하는 것은 고리 1호기의 ASME 코드 등급 1,2 및 3 펌프로서, 충전펌프, 안전주입펌프, 잔열제거펌프, 격납용기살수펌프, 보조급수펌프, 기기냉각수펌프 및 기기냉각해수펌프 등 이상 7종의 펌프가 이에 해당되는 것으로 판단된다 [1]. 이들 ASME 코드 펌프들은 관련 법규 및 기술기준인 10 CFR 50, Section 50.55 a(g)와 ASME Sec.XI의 적용대상이며, 고리 1호기 기술지침서(Technical Specification)에는 이들 각각에 대한 점검요구사항(surveillance requirements)이 규정되어 있다 [1].

3. 관련 법규 및 기술기준

ASME 코드 펌프의 운전가능성시험은 최종안전성 분석보고서의 기술지침서에 따라 수행되어야 하는데, 이 기술지침서는 관련 법규 및 기술기준의 요건을 충족시켜야 한다. 기술지침서에서 인용하고 있는 법규

는 10 CFR 50 Sec. 50.55 a(g)로서, 이것은 ASME 코드 Sec.XI에 따라 운전가능성시험을 실시할 것을 요구하고 있다. 고리 1호기 ASME 코드 펌프의 시험주기와 관련하여, 상업운전개시(1978. 4. 29)시점과 비교할 때 중요한 변경사항은 ASME 코드 Sec.XI의 1979 Winter Addenda에서 시험주기를 1개월에서 3개월로 완화한 것이다. 이 변경사항은 시험주기를 명시적으로 완화시켜주고 있지만, 이를 적용하는데 대한 타당성을 확보하기 위해서는 관련 법규 및 설계요건과의 상호연관성에 대한 검토가 필요하다고 판단된다. 따라서, 10 CFR 50 및 ASME 코드 Sec.XI과 함께 설계코드인 ASME 코드 Sec.III의 내용중 시험관련부분에 대해서 상업운전 개시시점과 시험주기 변경 전후에서 기술적 요건의 변경사항을 조사하였다.

3.1. 10 CFR 50 Sec. 50

3.1.1. 상업운전개시 당시의 10 CFR 50 Sec. 50.55 a-1977

10 CFR 50 Sec. 50.55 a(g)의 가동중검사 요건에 따르면, 고리 1호기의 경우 착공일이 1970년 9월로서, 1971년 1월 1일 이전에 건설허가를 받은 경우에 해당되기 때문에 Section 50.55 a(g)(4)(iii)을 따른다, 즉 최초 20개월간의 펌프와 밸브의 운전가능성에 대한 가동중시험 및 계통압력시험에 적용되는 코드 및 추록에 따르면, 고리 1호기의 최초 20개월동안에는 상업운전 개시 6개월전에 유효한 1977년 판 코드가 적

용됨을 알 수 있으며, 그 후 매 20개월에 대해서는 (4)(iv)항을 따르면 되므로, 현시점(1995. 12. 현재)에서는 1994년 판 코드가 적용될 것으로 판단된다. 한편, 우리나라 과거 고시에서는 1995년 3월 1일 현재 기준으로 1986년도 판으로 규정하고 있다. 또한 ASME 코드 Sec.XI의 시험주기에요건이 1979년 Winter Addenda에서 변경되었으므로 3번째 20개월이 시작하는 1981년 8월 이후 부터는 완화된 시험주기를 적용해도 될 것으로 보인다. Inservice Inspection Program의 개정에 대해서 규정에 의하면 이러한 개정은 (g)(4)의 요건을 충족시켜야 한다. 개정내용이 기술 지침서의 내용과 상충될 경우에는 개정된 Program에 맞도록 기술지침서의 개정을 규제기관에 신청하여야 하는데 이것은 Inservice Inspection Program의 시행 6개월전에 이루어져야 한다. 펌프의 가동중 시험의 경우에는 20개월을 주기로 적용코드가 바뀌므로 실질적인 내용변경을 반영하여 Test Program을 개정하고, 이에 따라 기술 지침서의 개정신청을 하여야 한다.

3.1.2. 현시점의 10 CFR 50 Sec. 50.55a

상업운전개시 당시의 요건과 비교하여 현재의 요건을 검토함으로써 10 CFR 50의 가동중시험 관련 조항의 변경사항을 파악하였다. 주요 변경내용은 적용범위에 있어 Class 1 펌프 이외의 것이 분명치 않았으나, 이를 명확하게 하기위해 약간의 문장을 수정하였으며, 1992년판에서 적용기준일은 상업운전개시일에서 운전허가서 발행일로 변경하였다. 이상과 같은 변경내용은 펌프의 운전가능성 시험관련 요건에는 영향을 미치지 않는다. 따라서 거의 동일한 내용의 규정이 적용된다고 볼 수 있으므로 ASME 코드 Sec.XI-1979 Winter Addenda의 적용에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

3.2. ASME 코드 Sec.XI, Rules for Inservice Inspection of NPP Components

펌프의 가동중 시험주기 완화 타당성 평가의 일환으로 이에 직접적으로 적용되는 ASME 코드 Sec.XI을 검토하였다. 상업운전개시 당시 적용판인 1977년 판, 시험주기에요건 변경이 처음으로 반영된 1980년 판과 현시점에서 적용되는 1992년 판을 상호 비교, 검

토하였다. ASME 코드 펌프의 가동중 운전가능성 시험에 대한 사항은 Sec.XI의 Subsection IWP(Inservice Testing of Pumps in Nuclear Power Plants)에 규정되어 있다. IWP의 주요내용으로는 적용범위를 비롯하여, 용어정의,가동중시험절차(시험주기포함), 측정방법과 시험결과와 기록 및 분석 등이 포함되어 있다.

1980년 판에 따르면 적용대상 펌프의 범위는 경수형 원전에서의 등급 1,2 및 3의 원심 및 왕복동형 펌프로서,원자로정지 또는 사고결과와 완화에 있어 특정한 기능을 수행하며, 비상전원이 공급되는 펌프로 정의된다. 단, 이때 운전의 편의만을 위해서 비상전원이 공급되는 경우는 제외된다. 한편, 시험에서 대상이 되는 주요한 물리적인 변수(quantity)로서는, 속도(speed : 측정), 입구압력(inlet pressure : 측정), 차압(differential pressure : 측정), 유량(flow rate : 측정), 진폭(vibration amplitude : 측정), 윤활유 수위 또는 압력(관찰) 및 베어링온도(측정)등이 있다. 본 연구의 주요 관심사항인 시험주기는 IWP-3400(Frequency of Inservice Testing)에 규정되어 있다.

3.2.1. ASME 코드 Sec.XI-1977년 판과 1980년 판의 비교

1977년 판과 1980년 판(1979년 Winter Addenda)사이의 가동중시험 관련 변경내용을 파악하였다. 변경내용으로는 시험주기뿐만 아니라 이에 영향을 미칠지도 모르는 시험방법 및 기타 기술적 요건도 포함된다. 표 2에서 1977년 판과 1980년 판의 내용을 비교하였다. 주요 변경사항은 적용대상펌프의 범위, 데이터 측정단위 및 관리방법, 시험주기, 사용계기의 눈금과 측정부위 및 기록의 관리 등에 관한 것으로서, 전반적으로 요건들을 완화하는 방향으로 개정되었으며, 이들은 펌프의 시험 및 성능자체에 직접적으로 기술적인 영향을 미치는 것은 아니라고 판단된다.

3.2.2. ASME 코드 Sec.XI-1980년 판과 1994년 판의 관련 부분 비교

1994년 판의 IWA-2410에서는 가동전검사 및 가동중검사의 주기와 관련하여 적용코드의 발행년도를 10 CFR 50, Sec. 50.55a에 따라 결정하도록 하였다. 한편,

표 2. ASME Sec.XI, IWP-1977년 판과 1980년 판의 비교

변 경 조 항	1977년 판	1980년 판
o IWP-1100 Scope	o Class 1, 2 및 3이고 비상전원이 공급되는 펌프	o 추가요건 : 원자로정지 또는 사고 결과의 완화를 위해 특정기능을 하는데 필요한 펌프
o IWP-1200 Exclusions	o Pump Driver는 제외	o 추가요건 : Class 1, 2 및 3 펌프로서 단지 운전편의 목적만으로 비상전원이 공급되는 경우는 제외
o IWP-1600 Detection of Hydraulic Change	o 펌프의 수력학적 특성(회전속도, 유량 및 차압)에 미치는 부품의 변경탐지에 관한 사항	o 삭제됨
o IWP-1700 Detection of Mechanical Change	o 펌프의 기계적 특성(진동 및 베어링온도)에 영향을 미치는 부품의 변경탐지에 관한 사항	o 삭제됨
o Table IWP-2100-1	o 기호, 물리량 설명 및 단위	o 삭제됨
o IWP-3400 Frequency of Inservice Tests	o 매 1개월 마다 o 기준값(reference)의 4배	o 매 3개월 마다로 완화됨 o 3배로 완화
o IWP-4120 Full Scale Range of Instrument	o 윤편유온도측정위치 : cooler에 들어가기 전에 측정	o 베어링 통과후 cooler에 들어가기전으로 분명히 함
o IWP-4310 Bearings	o 계통의 정해진 점에서 유체온도 측정요구	o 삭제됨
o IWP-4320 Pumped Liquid	o 시험기록의 현장보관 및 열람요건	o 삭제됨

펌프의 운전가능성시험에 대해서 규정하고 있는 Subsection IWP는 코드체계의 변경으로 1990년 부터 원전의 유지보수 코드인 ASME/ANSI OM Part 6의 Subsection ISTB로 대체되어 현재에 이르고 있다. ASME 코드 펌프의 가동중시험과 관련하여 ASME Sec. XI-1980의 IWP와 ASME/ANSI OM ISTB를 비교하여 본 결과, ISTB에서는 시험의 합격여부를 판정하는 기준을 각 펌프종류별로 규정함으로써 보다 현실적으로 바뀐 점이 있으나 대부분의 사항은 Sec.XI IWP와 대동소이하다. 따라서 1992년 판을 적용하

더라도 IWP-1980 적용시와 비교하여 시험주기변경에 미치는 영향은 거의 없으며, 단지 일반 사항으로서 10 CFR 50.55a를 명시적으로 인용함으로써 ASME 코드의 적용년도가 분명해졌다.

3.3. ASME 코드 Sec.III, Rules for Construction of NPP Components

Sec.XI에서와 마찬가지로 펌프의 시험주기가 변경된 시기 전후인 1977년과 1980년의 ASME 코드

Sec.III NC-3400 Pump Design 부분을 비교 검토하였다. 여기서 Subsection NC(Class 2 Components)를 대상으로 한 것은 표 1에서 보는 바와 같이 대상 펌프들이 대부분 등급 2이고 일부 등급 3이 있지만, Subsection ND(Class 3 Components)는 NC와 내용상 별 차이가 없기 때문이다. 이상의 내용으로 볼때, 펌프의 설계요건에 있어서, 특히 가동중시험주기의 완화와 관련이 있거나, 서로 영향을 미칠만한 변경사항은 없었다고 판단된다. 따라서 고리 1호기의 펌프설계요건도 운전가능성시험주기와는 별개의 요건으로서 서로 상관관계가 없다고 판단된다.

3.4. 법규 및 기술기준 검토결과

이상과 같이 10 CFR 50, Sec. 50.55a, ASME 코드 Sec.XI 및 Sec.III를 검토한 결과, 현시점에서 고리 1호기 ASME 코드 펌프의 가동중 운전가능성시험에는 Sec.XI-1992년 판이 적용되고, 또한 시험주기로건의 적용에 있어, 설계요건과 관련한 제한조건이 없다. 또한, 과학기술처고시 제95-1호, 제12조 2항에서 ASME Section XI(1986년도판)을 적용하도록 규정하고 있으며, 본 고시의적용을 1995년 3월1일 부터 시행하도록 [17] 확정하였으므로, ASME Section XI상의 요건에 따라 시험주기를 매 3개월로 완화하여 시행하는 것이 타당하다.

4. 기술지침서상의 점검요구사항 (Technical Specification Surveillance Requirements)

4.1 발전소별 기술지침서상의 점검요구사항

앞에서 언급한 바대로 ASME 코드 펌프의 가동중 시험에 대한 사항은 최종안전성분석보고서 제 16장 기술지침서에 점검요구사항으로 주어져 있다. 여기서는 고리 1호기를 비롯하여 이와 비교가 될만한 국내의 발전소의 기술지침서 점검요구사항들을 검토하였다.

4.1.1 고리 1호기

최근의 개정판(1987. 9. 20, 개정번호 10)에 의하면, 공통으로 적용되는 일반사항과 각 펌프별 점검요구사

항이 규정되어있다[1].

가. 일반사항 (기술지침서 16.4.0.5절)

ASME 코드 등급 1,2 및 3 펌프 및 밸브의 가동중 시험은 10 CFR 50, Sec. 50.55a(g)에 따라 ASME 코드 Sec.XI과 addenda에 따라 수행되어야 한다. 이것은 각각의 펌프에 대해서 규정된 점검요구사항에 추가하여 수행되어야 하며, ASME 코드의 내용이 기술지침서의 어떠한 요건을 우선하는 것으로 해석될 수는 없다.

나. 각 펌프별 점검요구사항

앞에서 기술한 일반사항외에 각 펌프별 점검사항이 규정되어있다.

(1) 충전펌프

최소한 31일에 한번씩 제어실에서 펌프를 가동하여 15분 이상 운전하는 동안 유량을 확인

(2) 안전주입펌프 및 잔열제거펌프

최소한 31일에 한번씩 Staggered Test Basis*로 제어실에서 펌프를 가동하여 15분 이상 운전하는 동안 developed head를 확인

(3) 격납용기상수펌프

최소한 31일에 한번씩 Staggered Test Basis*로 제어실에서 펌프를 가동하여 15분 이상 운전하는 동안 펌프방출압력을 확인

(4) 보조급수펌프

최소한 31일에 한번씩 제어실에서 펌프를 가동하여 15분이상 운전하는 동안 developed head를 확인

(5) 기기냉각수펌프 및 기기냉각해수펌프

최소한 31일에 한번씩 Staggered Test Basis*로 제어실에서 펌프를 가동하여 15분 이상 운전하는 동안 developed head를 확인

*1. Staggered Test Basis는 다음과 같이 정의된다[2].
 "A staggered test basis shall consist of the testing of one of the systems, subsystems, channels, or other designated components during the interval specified by the Surveillance Frequency, so that all systems, subsystems, channels, or other designated components are tested during n Surveillance Frequency intervals, where n is the total number of systems, subsystems, channels, or other designated components in the

associated function”.

4.1.2. 고리 2호기[3]

가. 일반사항(4.05 절)

고리 2호기 기술지침서 4.05절에 기술된 일반사항에는 ASME Sec.XI의 적용이 명시적으로 나타나있지 않아서, 그 적용여부가 불분명하다. 그러나, 각 펌프에 대한 조항에서 4.05절을 인용하고 있으며, 서두에서 웨스팅하우스 표준기술지침서 NUREG-0452[4,5]를 언급하고 있는 점으로 봐서 Sec.XI이 적용되는 것으로 추측된다(NUREG-0452의 일반사항에서는 ASME Sec.XI을 적용하고 있다).

나. 각 펌프별 점검요구사항

보조급수펌프를 제외하고는 ASME Sec.XI을 따르도록 요구하고 있으며 기기냉각수펌프와 기기냉각해수펌프에 대한 규제요건은 규정되어있지 않다.

4.1.3. 고리 3,4호기/영광 1,2호기 [6,7]

이 발전소들은 비슷한 시기에 같은 설계로 건설되어 기술지침서상의 요건이 서로 같다. 보조급수 펌프를 제외하고 ASME Section XI을 따르도록 되어 있으며, 기기냉각수 및 해수 펌프에 대한 규정은 없다.

4.1.4. 미국내 웨스팅하우스 발전소

미국내 웨스팅하우스 발전소 사례로서는 자료입수가 가능했던 Zion 1,2 호기와 Surry 1,2호기의 경우를 검토하였다. Zion 1,2호기의 경우는 기술지침서 변경을 요청하기 위해 NRC에 제출한 자료[8]를 근거로 하였으며, Surry 1,2호기 경우에는 NRC로 제출한 자료[9]와 보조급수펌프에 대하여 NRC 로 제출한 자료[10] 및 최근에 개정한 자료[11]를 근거로 하였다. 이들 자료에 의하면 일부 펌프에 대한 정보부제로 판단이 어렵지만, 보조급수펌프를 제외한 모든 펌프의 가동중시험에 ASME Sec.XI을 적용하는 것으로 판단된다. 보조급수펌프의 경우, Zion 1,2호기에서는 1개월 주기를 적용하고 있으나, Surry 1,2호기에서는 93년 자료에 의하면 중전의 1개월 주기에서 ASME Sec.XI의 적용으로 변경되었다. 이상으로 고리1호기와 기타 국내의 웨스팅하우스 발전소의 ASME 코드 펌프의

가동중 시험관련 기술지침서와 기타 자료의 점검요구사항들을 살펴 보았으며, 이를 표 3에 요약하였다.

4.2. 표준기술지침서(Standard Technical Specification)의 점검요구사항

웨스팅하우스 발전소에 대한 초기의 표준기술지침서로는 NRC에 의해서 1980년 발행된 NUREG-0452[5]가 있으며 이것은 많은 발전소 기술지침서의 근간이 되어왔다. 최근 1992년에는 NRC의 기술지침서개선연구결과인 NUREG-1366[12]의 내용이 반영된 것으로 판단되는 새로운 표준기술지침서 NUREG-1431[2]이 발행되었다. 이것은 기존 발전소에 backfitting 되거나 앞으로 건설될 발전소에 적용될 것으로 보인다. 원자력 안전기술원에서는 “원자력연구개발사업”의 일환으로 국내 기존원전에 대한 한국형 표준기술지침서개발을 목표로 표준화작업을 수행하고 있다[13]. 여기서는 본연구 대상 펌프의 시험주기 완화와 관련하여 상기 웨스팅하우스 표준기술지침서의 관련 내용을 살펴보았다.

4.2.1. NUREG-0452

이 표준기술지침서는 고리 1호기 최신 개정 기술지침서와 고리 2,3,4호기와 영광 1,2호기등 국내 모든 웨스팅하우스 발전소 기술지침서의 근간이 되었다. 대부분의 대상펌프들의 점검요구사항들은 4.05절을 따르도록 하고 있으며, 4.05절에서는 ASME 코드 Sec.XI을 적용하고 있으므로 시험주기로 보아서 3개월이 적용된다고 볼 수 있다. 그러나, 보조급수펌프는 1개월 주기로 점검하도록 되어 있으며, 기기냉각수펌프에 대해서는 언급이 없다. 한편, 각 펌프들에 대한 추가 점검 요구사항이 규정되어 있으나 이들은 매우 짧거나(12시간) 또는 매우 긴(18개월)주기의 점검요구사항으로서 본 과제의 관심인 1개월 또는 3개월 주기의 점검과는 무관한 사항으로 판단된다.

4.2.2. NUREG-1431

NUREG-1431은 기술지침서에 대한 미국 NRC의 새로운 정책표명(New Policy, 52 FR 3788)에 따라 웨

표 3. 고리 1호기와 국내외 웨스팅하우스 발전소의 사례비교(ASME 코드 펌프 가동중시험 요건에 관하여)

	고리 1호기	고리 2호기	고리 3,4/영광 1,2	Zion 1,2	Surry 1,2
발전용량(Mwe)	564	650	950	1050	813
Loop 수	2	2	3	4	3
상업운전개시	1978	1983	85/86/86/87	1973(1호기기준)	1973(1호기기준)
펌프의 시험요건					
o 충전펌프	ASME Sec.XI 적용 추가사항 : 1개월	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용	자료없음
o 안전주입펌프	ASME Sec.XI 적용 추가사항 : 1개월	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용
o 잔열제거펌프	ASME Sec.XI 적용 추가사항 : 1개월	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용
o 격납용기살수펌프	ASME Sec.XI 적용 추가사항 : 1개월	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용	ASME Sec.XI 적용
o 보조급수펌프	ASME Sec.XI 적용 추가사항 : 1개월	별도점검요구사항 : 31일	언급없음	1개월	80년자료 : 1개월 93년자료** : ASME Sec.XI 적용
o 기기냉각수펌프	ASME Sec.XI 적용 추가사항 : 1개월	언급없음	언급없음	ASME Sec.XI 적용	자료없음.
o 기기냉각해수펌프	ASME Sec.XI 적용 추가사항 : 1개월	언급없음	언급없음	자료없음	자료없음

* ASME Sec.XI의 적용은 IWP-3400에 따라 시험주기가 3개월임을 뜻한다.

** 93년 자료에서는 최근 NRC의 기술지침서개선 연구결과인 NUREG-1366(92, 12)과 GL93-05를 적용하였다.

스팅하우스가 최근 새로이 개발하여 승인받은 표준기 술지침서로서 다음사항에 착안하여 개선한 것이다.

- 운전자가 보다 사용하기 쉽게 한다.
 - 개선된 기술지침의 상세한 근거(Bases)를 제시한다.
 - 발전소 과도상태를 유발하는 조치사항들을 가능한 한 감소시킨다.
 - 운전상의 효율향상을 통하여 발전소의 안전성을 향상시킨다.
- 이 표준지침서에서 펌프의 가동중시험과 관련된 내용은 다음과 같다.
- 비상노심냉각펌프(안전주입펌프 및 잔열제거펌프) ASME Sec.XI에 의거한 가동중시험 계획에 따른다.
 - 격납용기살수펌프 ASME Sec.XI에 의거한 가동중시험 계획에 따른

다.

- 보조급수펌프 Staggered test basis로 매 31일 마다 점검하도록 되어있다. 보통 3개의 보조급수펌프가 있기 때문에 이 요건을 따르면, 각 펌프에 대해서는 매 3 개월 마다 점검하게 되므로 ASME Sec.XI의 요건과 일치한다고 볼 수 있다.
- 이외에 충전펌프, 기기냉각수펌프 및 기기냉각해수펌프에 대해서는 아무런 언급이 없다.

5. 미국 NRC의 기술지침서 개선연구

5.1. 기술지침서 개선연구 방향

미국 NRC는 기술지침서 개선방안의 일환으로 원전의 운전중 시험과 관련된 기술지침서상의 점검요구

사항을 포괄적으로 검토한 바 있다. 이러한 검토 결과, 비록 운전중 시험의 중요성에는 이론이 있을 수 없으나, 운전중 요구되는 기술지침서 상의 시험 횟수를 줄임으로써, 오히려 안전성이 향상되고, 기기의 노후화(degradation)를 감소시키며 운전원의 부담을 덜어주게 된다는 사실을 확인하였다. 이러한 사실을 근거로 NRC는 점검요구사항들을 평가하기 위한 다음과 같은 4가지 기준을 권고사항으로 제시하였다.

- 1) 점검활동 수행으로 인해 발전소 과도상태가 유발되지 않는가
- 2) 불필요한 점검활동수행으로 기기를 마모시키지 않는가
- 3) 안전관련 점검사항이 아닌 항목들에 대한 점검활동수행으로 운전원이 불필요하게 방사원에 노출되지 않는가
- 4) 안전관련 점검사항이 아닌 항목들에 대한 점검활동수행으로 운전원이 불필요하게 방사원에 노출되지 않는가

이러한 기준들과 NRC의 기술지침서 개선에 대한 새로운 정책[14,15]을 반영하여, 기술지침서상의 점검요구사항들에 대한 정성적 안전평가를 수행하였다 [12]. 이를 통하여 항목별 개선사항(line-item improvements)들이 도출되었으며 몇가지 점검요구사항에 대해서는 그 점검주기의 완화가 정당화되었다. 또한, NRC는 항목별 개선사항을 적용하여 기술지침서를 개정하고자 할 때 이를 위한 지침을 제시하였다.

5.2. ASME 코드 펌프 가동중시험 관련사항

NRC의 기술지침서 개선연구내용중 ASME 코드 펌프의 가동중시험 관련사항을 연구결과 보고서인 NUREG-1366에서 살펴보았다. 이는 크게 10 CFR 50 이나 ASME 코드 Sec.XI의 적용 등과 관련된 일반사항과 보조급수펌프에 대한 내용으로 나뉘 볼 수 있다.

1) 일반사항

상기의 연구내용중 펌프의 가동중시험과 관련된 법규 및 기술기준에 대한 사항을 요약하면 다음과 같다.

- 앞의 제 3절에서 설명한 바와 같이 기술지침서 4.05 절에서는 펌프의 가동중시험을 10 CFR 50.55a(g)에 의거, ASME Sec.XI 및 그 추록의 요건에 따라 수

행하도록 기술하고 있다. 따라서 법규나 기술기준의 변경에 따라 가동중시험계획이 영향을 받는다고 하더라도 기술지침서상의 문구를 수정할 필요는 없다.

- 유의할 점은 ASME 코드 Sec.XI의 시험요건은 펌프운전가능성에 대한 특정한 기능을 시험하기 위한 것이지, 관련 계통의 안전성능을 확인하기 위한 요건은 아니다. 따라서 ASME 코드상의 시험요건에 추가하여 기술지침서상의 시험요건을 충족해야 한다.
- ASME 코드 Sec.XI 1979년 Winter Addenda에서 펌프의 가동중시험주기가 1개월에서 3개월로 완화되었지만 여전히 1개월주기로 시험하고있는 발전소가 있음이 지적되고 있다. 물론 어떤 발전소들은 코드의 변경에 따라 점검주기를 3개월로 완화하였으며, 이러한 요청은 NRC에 의해서 계속적으로 승인되고 있다. 따라서 최신판의 ASME 코드 요건보다 더 자주 시험되고 있는 펌프들의 시험주기를 3개월로 할것을 권고하고 있다.

이상의 내용으로 볼때, 고리 1호기의 경우 현재의 기술지침서를 특별히 수정하지 않더라도 일부 별도의 점검요구사항을 제외한 가동중시험주기를 3개월로 완화할 수 있다고 판단된다.

2) 보조급수펌프의 점검주기 완화

NRC의 연구에서 ASME 코드 펌프의 점검주기와 구체적으로 연관된 사항은 보조급수펌프의 점검주기에 관한 사항뿐이다. 1979년 부터 1982년 까지의 자료를 근거로 한 EPRI의 연구결과에 따르면, 보조급수펌프의 시험시에는 펌프의 온도상승을 감안하여 재순환유로를 best estimate point flow(BEPF)의 5%에서 15% 사이로 정하도록 하고 있으나, 펌프제작자는 펌프의 수력학적 불안정(hydraulic instability)을 이유로 BEPF의 25% 보다 작지 않도록 권장하고 있다². 따라서 적절하지 못한 최소유량유로를 통한 재순환유동에 의한 시험은 심각한 펌프의 파손을 초래할 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로 재순환유동을 변경하는 것을 생각할 수 있지만, 시험주기를 완화하여 시험빈도를 줄임으로써 마모를 감소시킬 수 있다.

이러한 이유로 보조급수펌프의 시험주기와 관련하여 특별히 상세한 검토를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

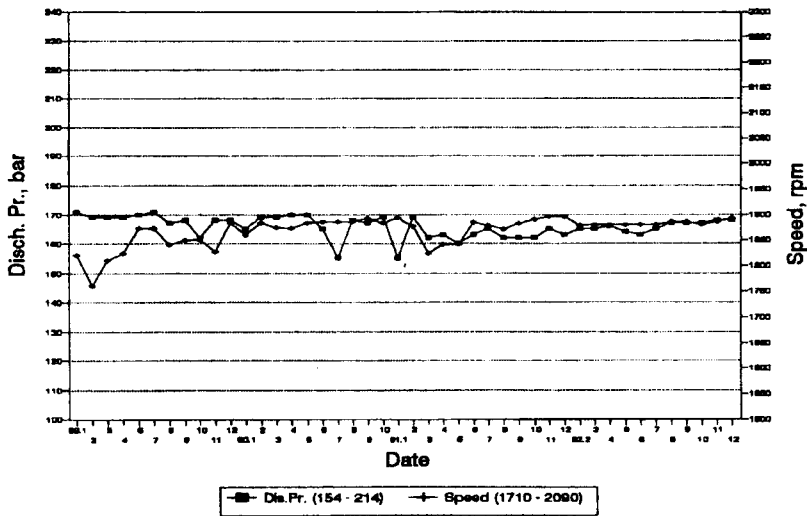


그림 1.1. Inservice Test Record for Kori-1, Charging Pump (Discharge Pressure & Speed)

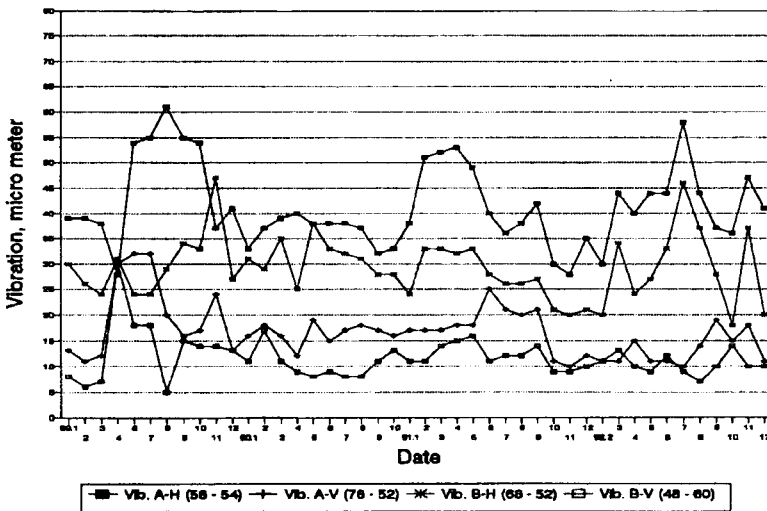


그림 1.2. Inservice Test Record for Kori-1, Charging Pump (Vibration)

보조급수펌프 파손에 대한 분석결과에 의하면, 1개월의 점검주기는 펌프의 파손 및 노후화로 인한 비유용성(unavailability)의 원인이 되는 것으로 밝혀졌다.

- 보조급수펌프가 가압경수로에서 ASME Sec.XI에 따라 시험하지 않고 더 자주(1개월주기) 시험하는 유일한 펌프로 밝혀졌으며, 이로 인해 마모 및 파손가능성과 운전원의 부담을 증가시켰다.

- 보조급수펌프는 ASME 코드 등급 2로서, ASME Sec.XI에 따라 3개월주기로 시험을 할 수 있다.
- 상기 사항들을 종합하여, 보조급수펌프의 가동중시험을 staggered test basis로 매 3개월 마다 수행하도록 권고하였다.

보조급수펌프의 가동중시험주기를 포함한 NU-REG-1366의 연구결과를 포함한 Generic Letter GL93-05

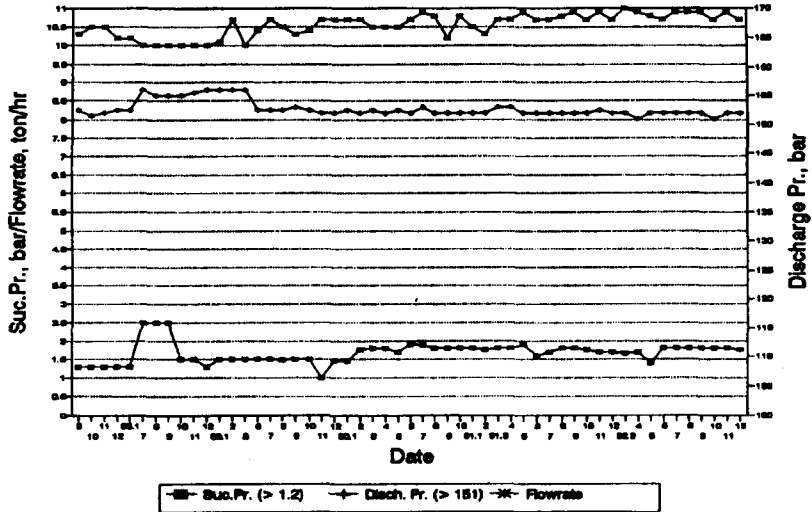


그림 2.1. Inservice Test Record for Kori-1, Safety In-jection Pump (Suction & Discharge Pressure, Flowrate)

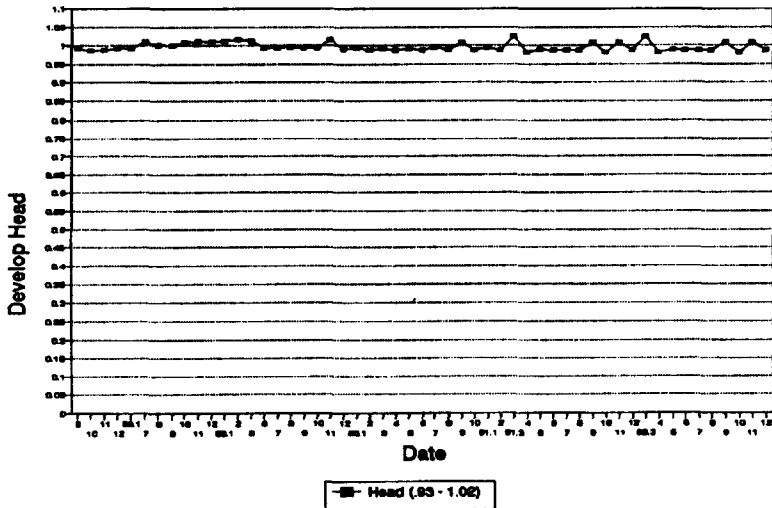


그림 2.2. Inservice Test Record for Kori-1, Safety In-jection Pump(Develop Head)

[16]로서 기술지침서 개정을 위한 권고사항으로 제시되었다.

*², NRC의 Nuclear Plant Aging Research(NPAR) Program(NUREG/CR-4597)으로 수행한 것이다.

6. 고리 1호기 대상펌프의 점검기록 평가

고리 1호기 대상펌프들의 시험주기완화에 대한 타

당성을 보이기 위한 방법의 하나로서 실제의 가동중 시험기록을 조사,평가 하였다. 1980년 이후부터 1994년 4월까지의 시험기록은 조사한 결과 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

조사기간동안 매월 1회씩 시험을 수행하여 기록을 유지하였다.

- 1987년 9월 이전에는 기술지침서에 기술된 기본적인 변수(압력, 유량 또는 developed head) 만 측정

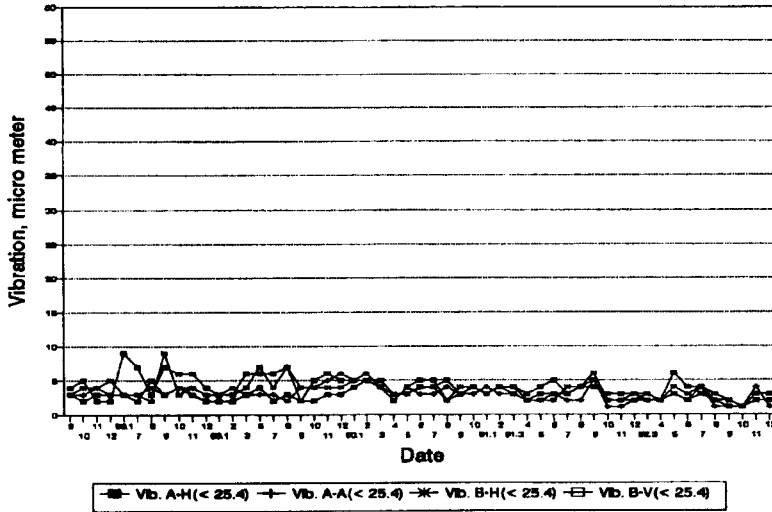


그림 2.3. Inservice Test Record for Kori-1, Safety Inj-ection Pump(Vibration)

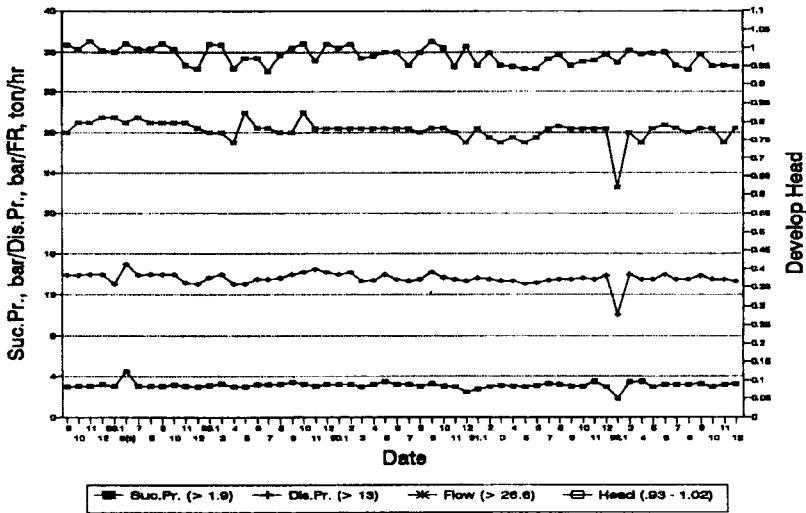


그림 3.1. Inservice Test Record for Kori-1, RHR Pump (Suction & Discharge Pressure, Flowrate)

하였다.

- 1987년 9월 이후 부터는 ASME Sec.XI, IWP에 따라서 시험을 수행하였다. 따라서 앞의 제 2절에서 설 명한 물리적인 변수들을 측정하였다. 단, 윤활 유수위(또는 압력)에 대한 기록이 나타나있지 않으나, 이는 기본적으로 점검하는 사항으로서 별 문제가 되지 않는다고 판단된다.
- 측정결과는 모두 ASME Sec.XI의 Table IWP-

3100-1에 명시된 각 변수의 허용범위내에 있는 것으로 나타 났다. Table IWP-3100-1에 제시되지 않은 변수에 대해서는 특별시방서의 허용범위를 사용하였다.

한편 측정결과가 짧은 기간 일시적으로 제한 범위를 벗어나는 경우 과도적인 상태로 보아 평가에서 무시 하였다.

충전펌프의 측정결과가 그림 1.1에서 그림 1.2, 안전

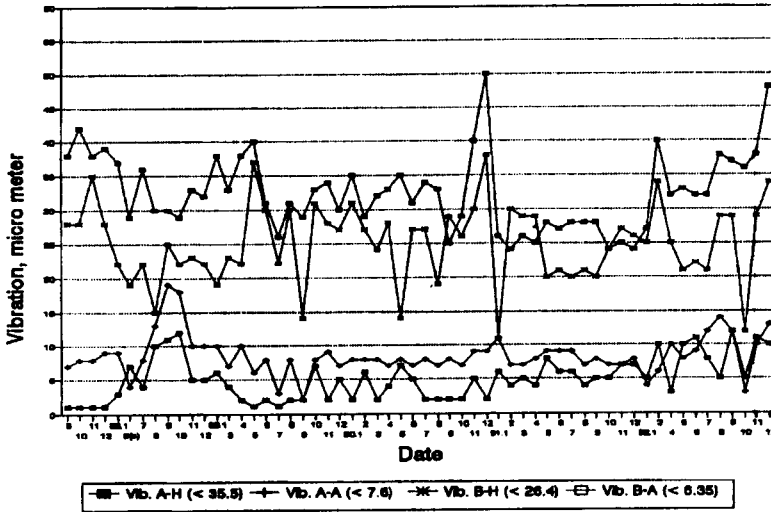


그림 3.2. Inservice Test Record for Kori-1, RHR Pump (Vibration)

주입펌프의 측정결과가 그림 2.1에서 그림 2.3, 그리고 잔열제거용 펌프의 측정결과가 그림 3.1에서 그림 3.2에 각각 예시되어 있다. 측정결과는 전반적으로 각각 측정변수들의 허용범위 안에서 시간이 지날수록 안정된 경향을 보여주고 있으며, 간헐적으로 다소 불규칙한 경향을 갖고 있으나 거의 허용범위(각 그림의 하단부 괄호속에 주어져 있는 값 참조) 이내에서 운전 되고 있으므로 펌프의 상태는 양호한 것으로 평가되었다[18].

7. 결 론

고리 1호기 ASME 코드 펌프의 가동중시험주기를 1개월에서 3개월로 완화하기 위한 근거를 마련하기 위하여, 관련 법규 및 기술기준, 고리 1호기를 비롯한 유사 발전소의 기술지침서와 표준기술지침서 및 최근 NRC의 기술지침서 개선연구결과 등과 고리 1호기 현장에서의 시험기록을 조사,검토하였다. 이러한 검토를 통하여 운전가능성확인을 위한 가동중시험주기를 매 3개월 마다로 완화하는 것이 타당하다는 결론을 얻었으며, 그 근거는 다음과 같다.

1) 관련 법규 및 기술기준상 위배되는 점이 없다고 판단된다. 특히 과학기술처고시 제95-1호, 제12조

2항에서 ASME Section XI의 1986년도판을 적용하도록 규정하고 있다[17].

2) 유사발전소의 기술지침서 및 표준기술지침서에 의하면 ASME Sec.XI에 따르도록 되어있으므로 3개월주기가 적용될 수 있다. 단, 보조급수펌프의 경우에는 최근의 표준기술지침서 및 특정발전소의 기술지침서 변경요청사례에 근거한다.

3) NRC의 연구결과도 ASME Sec.XI에 따른 3개월주기를 수용하고 있으며, 특히 보조급수펌프에 대해서는 펌프의 파손 및 노후화와 관련하여 3개월주기를 권고하고 있다.

4) 현장시험기록에 의하면 전반적으로 데이터는 안정되어 있다고 볼 수 있으므로 매달 시험을 실시할 필요가 없다고 판단된다.

5) 현재의 고리 1호기 기술지침서를 따르더라도, 각 펌프별 별도 점검요구사항을 제외한 나머지 ASME Sec.XI에 규정된 변수들에 대한 시험을 현행과 같이 매달 수행할 필요는 없다고 판단된다.

따라서 이상과 같은 사항을 근거로 하여 고리 1호기 기술지침서에 대한 구체적인 수정안을 마련하고, 이를 규제기관에 제출함으로써 기술지침서 변경에 대한 승인을 요청하여야 할것이다.

참 고 문 헌

1. Kori-1 Final Safety Analysis Report, Chap.16, Technical Specifications, Rev.0, April 1984 and Amendment 10, September (1987)
2. NUREG-1431, "Standard Technical Specification Westinghouse Plants", September (1992), USNRC,
3. Kori-2 Final Safety Analysis Report, Chap.16, Technical Specifications, Amendment 8, May (1985)
4. NUREG-0452, "Standard Technical Specifications for Westinghouse PWRs", Rev.02, June (1978), USNRC
5. NUREG-0452, "Standard Technical Specifications for Westinghouse PWRs", Rev.03, September (1980), USNRC
6. Kori-3&4 Final Safety Analysis Report, Chap.16, Technical Specifications, Amendment 3, August (1984)
7. Yonggwang-1&2 Final Safety Analysis Report, Chap.16, Technical Specifications, Amendment 1, June (1985)
8. USNRC 자료, Zion Nuclear Generating Station Proposed Changes to Appendix A, Technical Specifications of Facility Operating Licenses DRR-39 and DPR-48, (1991) 5. 15
9. USNRC 자료, Proposed Technical Specification Changes, Surry Power Station Units 1and2, (1989) 4. 6
10. USNRC 자료, Revised Pages 3.6-1 through 3.6-5 and 4.8-1 through 4.8-3 to Technical Specifications Surry Units 1 and 2, (1980) 2. 28
11. USNRC 자료, Proposed Technical Specifications Modifying Surveillance Frequency of Auxiliary Feedwater Pumps From Monthly to Quarterly per GL 93-05 & NUREG-1431, Surry Units 1 and 2, (1993) 12. 10
12. NUREG-1366, "Improvements to Technical Specifications Surveillance Requirements", Dec. (1992) USNRC
13. KINS/GR-095, 원자력안전규제기술개발, "국내원전 기술지침서 표준화 연구", 1993. 8. 한국원자력안전기술원/과학기술처
14. SECY-93-067, "Final Policy Statement on Technical Specifications Improvements", March. (1993)
15. NUREG/CR-5916, "Technical Findings Related to Resolution of Generic Safety Issue 120, Online Testability of Protection System", Dec. (1992), USNRC
16. GL 93-05, "Line-item Technical Specifications, Improvements to Reduce Surveillance Requirements for Testing during Power Operation", Sept. (1993), USNRC
17. 과학기술처고시 제95-1호, "원자로시설의 가동중 검사 및 가동중 시험에 관한 규정", 1995년 2월 10일, 과학기술처
18. KAERI/TR-465/94, "고리 1호기 ASME 펌프 가동중 시험 요건 완화," 1994년 8월, 한국원자력연구소