
IST 계측기 요건 대체적용 기술기준 검토

중앙연구원 계전연구소 이광



- 1 검토배경
- 2 가동중시험(펌프) 계측기 요건
- 3 대체요청, 완화요청
- 4 계측기 범위의요건 초과 시 계속 사용
요건 검토
- 5 계측기 계속 사용 확인절차(Flow Chart)
- 6 계측기 범위와 정밀도 조합방법
- 7 펌프 입구 압력의 차압영향 검토 방법
- 8 결론

- 발전소 펌프 가동중시험(IST)시 펌프 출구압력 **기준값 설정(변경)**으로 인한 KEPIC MOB3612(측정범위)의 연속형 계측기(아날로그 압력계) 요건을 불만족 사례 발생
- NUREG-1482(Guidelines for Inservice testing at NPPs) 및 규제기관 지침(KINS/GT-N024)의 기존 설치 계측기 사용 판단기준 검토 필요

* 안전관련 펌프 및 밸브의 가동중 시험에 관한 규정, 제2016-14호

제3조(용어의 정의) 이 규정에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

4. "기준값"이란 펌프 및 밸브의 안전기능 수행능력 판정에 적용하기 위한 시험변수 설정치를 말한다.

제7조(기준값의 설정) ① 초기 기준값은 가동전 시험 또는 초기 가동중 시험의 결과로 결정하여야 한다.

② 펌프 또는 밸브의 교체, 수리 및 보수 등으로 기준값을 변경할 경우, 변경하고자 하는 기준값이 펌프나 밸브의 적절한 운전상태를 나타내는지와 안전해석, 설계, 제작, 운전 등에서 요구하는 성능에 부합하는지를 평가하여야 한다.

□ 전력산업기준 **KEPIC MOB(펌프 가동중시험)**

- 정밀도(Accuracy, MOB 3611)

A/B군 시험 및 종합/가동전 시험에 대하여 측정변수 따른 정밀도를 표시.

연속형(아날로그) 계측기의 경우 측정범위의 백분율로, 계수형(디지털) 계측기의 경우

교정	항 목	A, B군 시험	종합, 가동전시험
	압 력	± 2	± 1
	차 압	± 2	± 1
	유 량	± 2	± 2
	속 도	± 2	± 2
	진 동	± 5	± 5

* A군 : 정상운전, 저온정지 또는 연료 재장전시 연속적이거나 일상적으로 운전하는 펌프

* B군 : 시험때 외에는 일상적으로 운전하지 않는 운전대기계통의 펌프

□ 전력산업기준 **KEPIC MOB(펌프 가동중시험)**

- 측정범위(MOB 3612)

연속형 계측기 : 최대 눈금범위는 기준값의 3배 보다 크지 않아야 함

계수형 계측기 : 기준값이 교정범위의 90%를 넘지 않는 것을 사용하여야 함

* 진동측정 계측기는 위 항의 요구사항에서 제외

□ **NUREG-1482, 규제기관 지침(KINS/GT-N024)**

- 전력산업기준 KEPIC MOB와 동일한 요건을 제시하고 있으나, 계수형 계측기의 경우 기준값이 교정범위의 70%를 넘지 않아야 함.

□ 대체요청

- 정의

가동중시험 규정에서 정한 기준과 유사항 다른 기준 및 지침을 적용하거나 적절한

- 시험방법 및 절차를 개발하여 적용하는 것(승인사항)

KEPIC MO에서 개발된 일반요건을 적용할 수 없거나 준수하기 어려울 경우

- 1) 대체적용이 허용할 수 있는 수준의 품질과 안전성을 제공하는 경우
- 2) 특정 요건을 준수하는 것이 품질과 건전성의 증가 없이 어려움만 초래하는 경우.

어려움은 일반적으로 운전원의 방사선 피폭을 가능한 낮게 유지해야 하거나,

펌프

유량이 고정 또는 조정될 수 없는 계통과 관련

□ 완화요청

- 정의

가동중시험 규정에서 정한 기준의 일부에 대해 완화 또는 면제를 요청하는 것
(승인사항)

- 적용

시험대상 기기의 설계, 형상 및 재질의 한계 등으로 코드요건에 따른 시험이 현실적

으로 불가능한 경우

KEPIC MO에 규정되어 있는 펌프 또는 밸브시험이 비현실적이고, 개정된 가동중 시험 계획에 포함되어 있지 않은 경우

□ NUREG-1482

5.5.1 Range and Accuracy of Analog Instruments

NRC Recommendation

When the range of a permanently installed analog instrument is greater than three times the reference value, but the accuracy of the instrument is more conservative than that required by the Code, the staff may grant relief when the combination of the range and accuracy yields a reading that is at least equivalent to that achieved using instruments that meet the Code requirements (i.e., up to ± 6 percent for Group A and B tests, and ± 1.5 percent for pressure and differential pressure instruments for Preservice and Comprehensive tests). The use of a test gauge (in lieu of a permanent instrument) is acceptable if the reading is at least equivalent to that required by the Code. When using temporary instruments, the staff recommends that the licensee's IST records should include an instrument number for use in tracing each instrument and a calibration data sheet for use in verifying that the instruments are accurately calibrated. The licensee need not obtain relief if the temporary instruments meet the range and accuracy requirements of the Code. If relief is requested, the licensee would typically describe the effect on each group of applicable pumps and would typically discuss adjustment of acceptance limits to account for the inaccuracies.

계측기 범위가 기준값의 3배를 초과하더라도 계측기 정밀도가 요구하는 코드보다
더

보수적인 경우 계측기 범위와 정밀도의 조합이 코드요건을 만족하는 계측기의 최소

□ KINS/GT-N024

○ 기준값의 3배 초과 시

영구 설치 계측기 정밀도가 코드에서 요구하는 것보다 높아 계측기 범위와 정밀도
의

조합이 최소한 코드에서 요구하는 오차범위와 동등하면(A군 및 B군 시험 : $\pm 6\%$ 이내,
가동전 및 종합시험의 차합 : $\pm 1.5\%$) 대체요청을 허용

○ 펌프 입구압력계의 경우

펌프의 입구압이 출구압에 비해 현저하게 낮아 펌프 차압에 큰 영향을 주지 않음을

입증할

수 있다면 현재 설치된 입구 압력계를 사용 가능

* 별도의 대체요청 또는 완화요청 불필요하나 사업자의 문서화는 필요

□ KINS/GT-N024

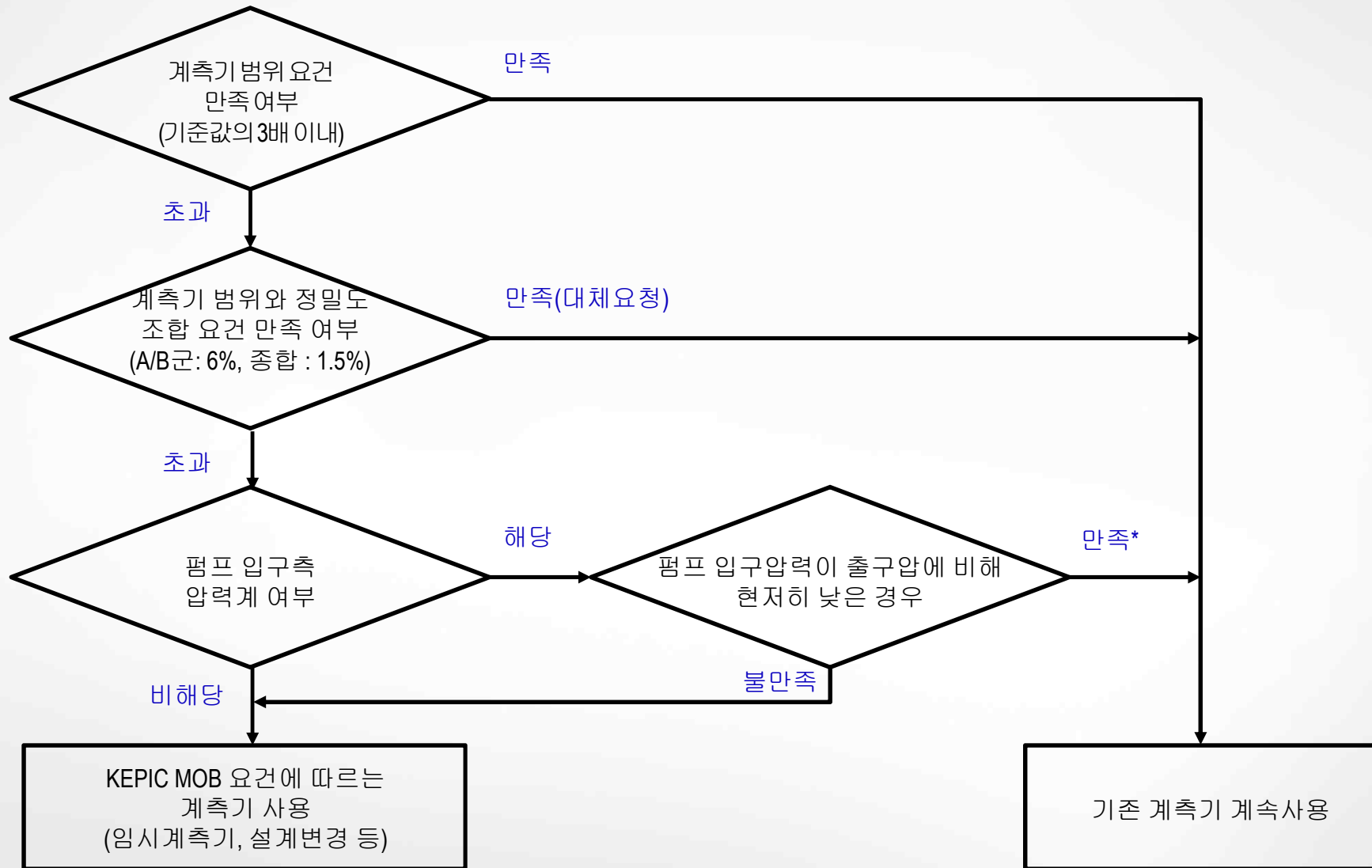
○ 임시 계측기 사용의 경우

계기번호 및 교정자료를 가동중시험 기록에 포함할 것을 권고하며, 코드에서 요구하는

계측기의 범위 및 정밀도를 만족하면 대체요청 불필요

※ NUREG-1482 및 KINS/GT-N024의 내용이 동일하며 KINS/GT-N024에서는 추가적으로 입구 압력계에 대한 계속 사용요건을 제시하고 있음.

계측기 계속 사용 확인절차(Flow Chart)



* 별도의 대체요청 또는 완화요청 불필요(문서화 필요)

□ 전제조건

코드요건 불만족 계측기의 계속사용을 위한 확인 방법 중 계측기 범위와 정밀도의 조합을 통하여 최소한 코드에서 요구하는 오차범위와 동등함을 확인할 수 있다. 이 방법을 적용하기 위해서는 먼저 발전소에 설치된 계측기의 정밀도가 코드(KEPIC MOB)에서 요구하는 것보다 높아야 적용이 가능

□ 계산방법(1)

현재 설치된 계측기의 범위와 정밀도(오차)의 곱(Multiplication)으로 구해진 계측기 정밀도(오차)의 범위의 3배의 값과 NUREG-1482 또는 KINS/GT-N024 (KEPIC MOB) 요건과 비교하여 현재의 설치된 계측기가 동등 이상의 정밀도를 가지고 있음을 확인

□ 계산방법(1)-계속

예시)

- 펌프 입구측 압력 기준값 : 2kg/cm^2
- ☞ KEPIC MOB에 따른 압력계 범위 : $0 \sim 6\text{kg/cm}^2$
- ☞ KEPIC MOB 요구 정밀도(A,B군 시험/가동전, 종합시험) : $\pm 2\% \text{ of FS} / \pm 0.5\% \text{ of FS}$
- 발전소 설치 압력계 범위/정밀도 : $0 \sim 10\text{kg/cm}^2 / \pm 0.5\% \text{ of FS}$

[조합계산]

- 현재 설치 계측기
 $(10\text{kg/cm}^2 \times 0.5\%) \times 3\text{배} = \underline{0.15\text{kg/cm}^2}$
- KEPIC MOB 계측기 요건
 - A/B군 : $(6\text{kg/cm}^2 \times 2\%) \times 3\text{배} = \underline{0.36\text{kg/cm}^2}$
 - 가동전, 종합 : $(6\text{kg/cm}^2 \times 0.5\%) \times 3\text{배} = \underline{0.09\text{kg/cm}^2}$



따라서 A/B군 시험에 경우 현재 설치 계측기의 조합계산 범위(0.15kg/cm^2)가 코드의 요구 조합계산 범위(0.36kg/cm^2)보다 정밀함으로 현재의 설치 계측기는 사용이 가능하나(대체요청) 가동전 및 종합시험의 경우는 사용이 불가능함

□ 계산방법(2)

기존의 설치된 계측기의 범위를 코드요건의 범위로 축소(Turn down)하였을 때 환산 정밀도를 구하여 코드요건과 비교

예시)

- 펌프 입구측 압력 기준값 : 2kg/cm^2
- ☞ KEPIC MOB에 따른 압력계 범위 : $0 \sim 6\text{kg/cm}^2$
- ☞ KEPIC MOB 요구 정밀도(A,B군 시험/가동전, 종합시험) : $\pm 2\% \text{ of FS} / \pm 0.5\% \text{ of FS}$
- 발전소 설치 압력계 범위/정밀도 : $0 \sim 10\text{kg/cm}^2 / \pm 0.5\% \text{ of FS}$

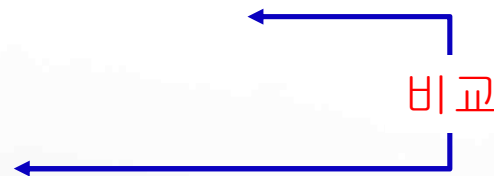
[환산 정밀도 계산]

- 환산(Turn down) 정밀도

$$\frac{10\text{kg/cm}^2(\text{기존 설치 계측기 범위})}{6\text{kg/cm}^2(\text{KEPIC MOB 요건})} \times 0.5\% = \pm 0.83\%$$

- KEPIC MOB 계측기 요건

A/B군 : $\pm 2\%$ / 가동전, 종합 : $\pm 0.5\%$



따라서 A/B군 시험에 경우 현재 설치 계측기의 환산 정밀도($\pm 0.83\%$)코드의 요구정밀도($\pm 2\%$)보다 정밀함으로 현재의 설치 계측기는 사용이 가능하나(대체요청) 가동전 및 종합시험의 경우는 사용이 불가능함


□ 계산방법(3)

기존의 설치된 계측기의 범위와 정밀도를 보수적인 기준값 범위를 적용하여 유효

예시) 계측기 정밀도(Effective Gauge Accuracy)로 환산하여 코드요건과 비교

McGuire Nuclear Station에서 계측기 범위 3배 요건을 초과하여 대체방법을 NRC에 제안하여 승인된 방법(2014.1)

Table 2: Pump and Gauge Information for Alternative Request MC-SRP-KC-01

Items	Component Cooling Water Pumps: Suction	Remark
Pump No.	1A1, 1A2, 1B1, 1B2, 2A1, 2A2, 2B1, 2B2	
Type of Inservice Test	Group A Test	
Suction Pressure Gauge(s) Range (psig)	0-60	
Suction Reference Value Range (psig)	15-20	
Three times the Reference Value	$(3 \times 15) = 45 \text{ psig}$	Note 1
Effective Gauge Accuracy of Installed Instrument	$(\pm 0.5 \%) \text{ of } (60/15) = \pm 2 \%$	
Actual Accuracy of Instruments that Meet ASME OM Code Requirements for Group A Testing	$(\pm 2 \%) \times (45/15) = \pm 6 \%$	
Acceptable Alternative to the ASME OM Code Requirement for Group A Testing	Yes	
Note 1: Actual reference value range is between 15 and 20 psig; 15 psig is used for conservative results.		

□ 지침(KINS/GT-N024) 내용

코드 요건에서 불만족 계측기를 계속 사용하기 위한 방법 중 펌프의 입구압이 출구압에 비해 현저히 낮아 펌프 차압에 큰 영향을 주지 않음을 입증할 수 있을 경우 가능하며 별도의 대체요청 또는 완화요청은 필요가 없으나 해당 발전소의 별도 문서화가 필요하다. KINS/GT-N024에서는 펌프의 입구압력 범위, 차압 등에 대한 정확한 기준을 제공 시 적용이 불가능한 대상(발전소)이 있을 수 있어 정확한 기준을 제공하고 있지 않다.

□ 입구압력이 출구압력 정밀도 범위인 경우

입구측 기준값이 출구측 계측기(압력계) 정밀도 범위 이내인 경우 펌프의 차압에 영향을 주지 않을 만큼(현저히)의 낮은 압력으로 볼 수 있음

예시)

- 펌프 입구측 압력 기준값 : 1.45kg/cm^2
- 발전소 설치 입구측 압력계 범위/정밀도 : $0 \sim 6\text{kg/cm}^2 / \pm 0.5\% \text{ of FS}$
- ☞ KEPIC MOB에 따른 압력계 범위 : $0 \sim 4.35\text{kg/cm}^2$
- 발전소 설치 출구측 압력계 범위/정밀도 : $0 \sim 40\text{kg/cm}^2 / \pm 0.5\% \text{ of FS}$

[차압영향 검토]

- 펌프 출구측 허용(오차) 압력 : $40\text{kg/cm}^2 \times 0.5\% = \pm 2\text{kg/cm}^2$

따라서 펌프 입구측의 압력 기준값(1.45kg/cm^2)이 출구측 허용(오차) 압력($\pm 2\text{kg/cm}^2$)범위 이내의 경우임으로 사용가능

비교



□ 펌프의 입구 및 출구 압력의 합산 정밀도를 요건과 비교

펌프의 입구 및 출구측 정밀도를 반영한 압력을 합산하여 코드요건의 펌프 입구 및 출구측의 정밀도를 반영한 압력과 비교

예시)

- 펌프 입구측 압력 기준값 : 1.45kg/cm^2
 - ☞ KEPIC MOB에 따른 압력계 범위 : $0 \sim 4.35\text{kg/cm}^2$
- 펌프 출구측 압력 기준값 : 20kg/cm^2
 - ☞ KEPIC MOB에 따른 압력계 범위 : $0 \sim 60\text{kg/cm}^2$
- 발전소 설치 입구측 압력계 범위/정밀도 : $0 \sim 6\text{kg/cm}^2 / \pm 0.5\% \text{ of FS}$
- 발전소 설치 출구측 압력계 범위/정밀도 : $0 \sim 40\text{kg/cm}^2 / \pm 0.5\% \text{ of FS}$

□ 펌프의 입구 및 출구 압력의 합산 정밀도를 요건과 비교

[차압영향 검토]

○ KEPIC MOB 요구하는 입출구 압력

- 입구측(A) : $4.35\text{kg/cm}^2 \times 0.5\% = 0.022\text{kg/cm}^2$

- 출구측(B) : $60\text{kg/cm}^2 \times 0.5\% = 0.3\text{kg/cm}^2$

☞ 입출구 통합 허용압 : $\sqrt{A^2+B^2} = 0.3\text{kg/cm}^2$

○ 실제 설치 계측기 압력

- 입구측(C) : $6\text{kg/cm}^2 \times 0.5\% = 0.03\text{kg/cm}^2$

- 출구측(D) : $4\text{kg/cm}^2 \times 0.5\% = 0.2\text{kg/cm}^2$

☞ 입출구 통합 오차압력 : $\sqrt{C^2+D^2} = 0.2\text{kg/cm}^2$

※ 입출구측 압력의 정밀도(오차)를 독립된 요소로 보고 통합압력을 SRSS(Square Root Sum of Square) 방법으로 합산(종속적인 요소일 경우 대수의 합)

□ 펌프의 입출구 오차범위 차압을 요건과 비교

실제 설치된 입출구 계측기의 오차범위의 차압과 코드요건의 차압을 비교하여 실제

예체된 입출구 계측기가 동등 이상임을 확인하는 방법

* Turkey Point Unit 3 and 4에서 3배 요건을 초과하여 대체방법을 NRC에 제안하여 승인된 방법(2015)

**Turkey Point Units 3 and 4
Inservice Testing Program Relief Request No. PR-02**

**Table 1
Comparison of Pressure Instrument (Gauge) Ranges and Accuracies**

Suction Pressure		Gauge Range	Accuracy	Suction Pressure Inaccuracy	
Turkey Point		0 – 600 psig	0.25 %	1.5 psig	
Group A		0 – 54psig	2.0 %	1.1 psig	
Discharge Pressure		Gauge Range	Accuracy	Discharge Pressure Inaccuracy	
Turkey Point		0 – 600 psig	0.25 %	1.5 psig	
Group A		0 – 480 psig	2.0 %	9.6 psig	
Combination – Differential Pressure					
	Suction Gauge Range	Suction Pressure Accuracy	Discharge Gauge Range	Discharge Pressure Accuracy	Total Inaccuracy
Turkey Point	0 – 600 psig	0.25 % (1.5 psig)	0 – 600 psig	0.25 % (1.5 psig)	3.0 psig
Group A	0 – 54 psig	2.0 % (1.1 psig)	0 – 480 psig	2.0 % (9.6 psig)	10.7 psig

KINS/GT-N024에서 ‘본 문서에서 소개되는 지침은 자발적인 적용사항으로서
가동중시험 고시에서 기술된 대체요청 및 완화요청의 승인을 위한 근거자료로
사용될
수 있다’ 라고 제시되어 있어 요건 불만족 계측기 발생 시 우선적으로 KINS/GT-
N024의 내용을 적용하고 이후 제시된 다른 방법적용을 검토하는 것이 올바른 방
법인
것으로 판단

THANK
YOU

