

KEPIC 가이드

원전 기계기기 성능검증(MF)

김 안 섭

대한전기협회 전력기준처 전력기준개발실 부장

1. 제정배경

원자력발전소의 안전성관련 기기(Safety-related Equipment)는 정상운전 상태는 물론 설계기준사고(DBA : Design Basis Accident) 등 가장 가혹한 환경조건에서도 소정의 안전성관련 기능을 충분히 수행할 수 있도록 설계 및 제작되었음을 입증하여야 하며, 이를 보증하는 과정으로서 기기의 성능검증이 요구된다.

성능검증과 관련한 기술기준인 IEEE 323, 344, 627 등은 이미 번안되어 전력산업기술기준(KEPIC-END)으로 발간되었으나 능동 기계기기에 대해서는 포괄적인 내용만이 기술되어 있어 실제로 원전의 능동 기계기기의 성능검증에 확대하여 적용하기에는 문제점이 많다.

따라서, 능동 기계기기를 포함한 안전성관련 기기에 대한 성능검증 기술기준을 제정함으로써 국내 성능검증 체계정립의 근간을 제공하여, 원자력발전소 운전기간 중 구조적 건전성이 보장되고 방사선에 대한 안전성이 확보될 수 있는 품질을 달성하기 위한 것이다. 또한, 우리 나라의 기술기준을 확보함으로써, 관련 기술에 대한 국내산업의

기술능력을 배양하여 해외 성능검증기관에의 의존을 탈피하고, 국제경쟁력을 확보케 하여 개방화 대비 국내산업을 보호 육성하기 위한 것이다.

2. 제정방향

현재 국내에서는 원자력발전소의 능동 기계기기의 성능검증에 관한 구체적인 법적 요건이 제정되어 있지 않고, 웨스팅하우스, 프라마툼, 컴버스천-엔지니어링 사 등 다양한 원자로 설계공급자가 속하는 외국의 기술기준을 준용하고 있는 실정이다.

따라서, 능동 기계기기의 성능검증 관련 기술기준으로 널리 통용되는 ASME QME-1-1997을 기술적인 근간으로 하고, IEEE 627 등 관련 기술기준을 참고자료로 적절히 반영하되 방법과 절차는 국내 실정에 맞게 제정한다.

또한, 기계분야 기술기준 개발이 표준화에 역점을 두고 있는 상황을 고려하여 한국표준형 원자력발전소인 울진 3, 4호기 안전성관련 기기를 본 기준개발의 근간으로 설정하되 현재 가동중인 원자력발전소에도 포괄적으로 적

용할 수 있는 수준의 일반요건, 펌프 및 밸브 분야를 기본 작성 대상으로 설정한다.

3. 구성체계

본 기준은 능동 기계기기 성능검증 관련 기술기준으로 널리 알려진 ASME QME-1-1997을 주 참조기준으로 적용하여 개발하였다.

사용자의 편의를 위하여 기술사항은 주 참조기준인 ASME QME-1-1997을 준용하여 한글로 번안하되 방법과 절차는 국내실정에 맞게 제정하였다. 또한 대한전기협회의 전력기술기준 작성지침을 준수하고 타 기술기준

과의 균형을 맞추기 위하여 목차 및 번호체계 등 구성체계는 주 참조기준을 따르지 않고 별도로 조정하였다.

본 기준과 참조 기술기준과의 구성체계 대비표는 표 1에 기술되어 있다.

4. 적용방법

가. 적용범위

본 기준은 가압경수로형 원자력발전소의 안전성관련 능동 기계기기의 성능검증에 관한 사항에 적용하며 가압중수로형 원자력발전소는 본 기술기준의 적용범위에 포함되지 않는다.

〈표 1〉 원전 기계기기 성능검증 기술기준과 주 참조 기술기준과의 관계

기술기준 번호	기술기준 제목	주 참조 기술기준	기술기준 번호	기술기준 제목	주 참조 기술기준
		ASME QME-1			ASME QME-1
MFA	일반요건		MFB	능동 펌프 조립품의 성능검증	
MFA-1000	일반사항	QR-1000~4000	MFB 1000	일반사항	QP-1000~4000
MFA-2000	성능검증의 원칙과 원리	QR-5000	MFB 2000	성능검증의 원칙과 원리	QP-5000
MFA-3000	성능검증 시방서	QR-6000	MFB 3000	성능검증 시방서	QP-6000
MFA-4000	성능검증 프로그램	QR-7000	MFB 4000	성능검증 프로그램	QP-7000
MFA-5000	문서화	QR-8000	MFB 5000	문서화	QP-8000
부록 A A1000	일반사항	QR-A1000~A4000	부록 A	펌프시방서 점검사항	Appendix QP-A
부록 A A2000	지진환경과 기기응답 일반	QR-A5000	부록 B	펌프 축밀봉계통 시방서 점검사항	Appendix QP-B
부록 A A3000	지진에 대한 성능검증의 일반요건	QR-A6000	부록 C	펌프 터빈 구동자 시방서 점검사항	Appendix QP-C
부록 A A4000	성능검증	QR-A7000	부록 D	펌프 상사성 점검사항	Appendix QP-D
부록 A A5000	문서화	QR-A8000	부록 E	축-밀봉계통 재질 및 설계 고려 사항에 관한 지침	Appendix QP-E
부록 A 첨부1	상사성에 의한 성능검증 지침(간접방법)	Attachment A	MFC	능동 밸브 조립품의 성능검증	
부록 A 첨부2	해석에 의한 펌프 및 밸브의 성능 검증 예	Attachment B	MFC-1000	일반사항	QV-1000~4000
			MFC-2000	검증요건	QV-5000
부록 A 첨부3	자연지진 경험자료를 이용한 펌프 및 밸브의 성능검증	Attachment C	MFC-3000	성능검증 시방서	QV-6000
부록 B B1000	일반사항	QR-B1000~B4000	MFC-4000	원형밸브 검증	QVP-7000
부록 B B2000	요건	QR-B5000	MFC-5000	원형밸브 검증의 확장적용	QVC-7000
부록 B B3000	검증방법	QR-B6000	MFC-6000	문서요건	QV-8000
부록 B B4000	문서화	QR-B7000	부록 A	능동밸브의 기능 시방서	Appendix QV-A

나. 용어

본 기준에서 사용되는 용어는 가능한 한 법규 등의 규제요건상의 용어를 우선하되 불가피한 경우 아래의 기준에 따라 선택한다. 우리 말로 번역이 곤란한 용어의 경우 원음을 한글 맞춤법에 따라 표시하고 원어를 필요에 따라 괄호 안에 병기한다.

●용어선택기준

- (1) 법규용어(법, 시행령, 시행규칙, 기술규칙, 고시, 조례, 규칙의 순서)
- (2) 정부추천기준 용어(KS)
- (3) 관련 학회, 협회용어(원자력학회, 대한기계학회 등)
- (4) 전력산업 기술기준 용어
- (5) 전문분과 위원회에서 작성한 용어
- (6) 기타 관련 산업계에서 통용되는 용어

다. 단위

사용하는 단위는 참조기준의 단위를 그대로 사용한다.

라. 관련법규 및 기준

본 기준의 작성근거, 참고규정, 인용기준, 규격은 본 기준의 요건에 상치되지 않는 한 적용 시점에서 최신판을 적용한다.

5. 기술기준 주요내용

가. MFA : 일반요건

▶MFA 1000 일반사항

일반사항에서는 MFA 기술기준의 적용범위, 목적, 참고문헌 그리고 용어의 정의에 대하여 규정하였다. 적용범위는 가압경수로형 원자력발전소에 사용되는 능동 기계기기로 규정하였다. 목적은 원자력발전소에 사용되는 능

동 기계기기의 성능검증에 필요한 기본원칙과 지침을 제공하는데 있다.

▶MFA 2000 성능검증 원칙과 원리

· MFA 2200 성능검증 기본요건

해당 기기는 기기 성능검증시방서에 따라 운전 및 환경조건이 부과된 경우 요구된 기능을 수행할 수 있음이 입증되도록 규정하였다.

· MFA 2300 성능검증 방법

기기는 성능검증 요건이 만족되었음을 확인하기 위하여 MFA 4000에 명시된 방법중 하나 이상 혹은 조합된 방법으로 성능검증되어야 하도록 규정하였다. 또한 성능검증 확장의 일반적 사항을 언급하였다.

· MFA 2400 성능검증 프로그램에 관한 일반요건

원자력발전소에 사용된 능동 기계기기에 대한 성능검증 프로그램에 포함되어야 할 사항을 규정하였다. 또한 고려하여야 할 대상인 경년열화, 성능검증된 기기 수명, 여유도 등에 대하여서도 언급하였다.

▶MFA 3000 성능검증시방서

능동기계기기의 의도된 성능을 검증하기 위해 성능검증시방서에 기술되어야 하는 요건들을 규정하였다.

▶MFA 4000 성능검증 프로그램

· MFA 4100 일반사항

성능검증 프로그램은 해당 기기의 성능검증시방서에 기초하여 수립되어야 함을 규정하였고 성능검증 프로그램에 포함되어야 할 사항에 대한 요건 및 보증하는 요건들을 규정하였다.

· MFA 4200 잠재적 고장 검토

잠재적 오동작에 대해 규정하고 있다.

• MFA 4300 성능검증 방법의 선정

성능검증 방법 선정시 고려하는 사항과 대안에 대하여 규정하고 있다. 성능검증의 방법에 상관없이 해당 기기가 그 규정된 기능을 수행할 수 없을 정도로 운전성이 저하되지 않을 것이라는 것을 보여주는 이론적 근거를 제시할 것도 요구하고 있다. 또한 시험에 의한 방법, 해석에 의한 방법, 경험에 의한 방법 그리고 상기의 방법이 조합된 방법에 대한 요건을 주고 있다.

▶ MFA 5000 문서화

• MFA 5100 일반사항

능동 기계기기의 성능이 검증되고 검증시방서의 요건이 만족되었음을 확립하기 위한 문서화의 필요성을 언급하고 문서화시 확인되어야 할 사항을 언급하고 있다.

• MFA 5200 문서철

문서철에 포함되어야 하는 문서들에 대하여 언급하고 있다.

부록 A 기계기기의 동적검증

• A 1000 일반사항

일반사항에는 MFA 부록 A 기술기준의 적용범위, 목적, 참고문헌 및 본 부록에서 사용하는 용어의 정의에 대하여 기술하였다. 적용범위로는 지진에 의한 동적하중을 받는 KEPIC-MN 등급 1, 2 및 3인 펌프와 밸브이며, 목적은 이들이 설계기준지진(DBE : Design Basis Earthquake) 발생 동안 및 그 이후에 규정된 기능 또는 운전성 요구조건을 만족할 수 있음을 보여주기 위해 권고하고 있는 내진 성능검증 절차 및 지침을 규정하는 것이다.

• A 2000 지진환경과 기기응답 일반

지진 발생시 지반운동의 특성, 검증하여야 하는 기기가 설치되는 위치 또는 계통에 따른 기기응답의 특성, 지진

운동의 모의방법에 대한 배경을 기술하였다.

• A 3000 지진에 대한 성능검증의 일반요건

KEPIC-MN 등급 1, 2, 3 기기의 내진 성능검증이란 안전정지지진(SSE : Safe Shutdown Earthquake)이 발생할 경우 발전소의 안전정지가 가능하고 그 후에도 발전소의 안전정지가 지속될 수 있도록 기기의 기능을 입증하는 것이다. 운전기준지진에 대하여서는 탄성한계 내에서 KEPIC-MN의 해석요건을 만족하여야 한다. 이러한 성능검증을 위한 방법으로 다음 4가지를 규정하였다.

- 해석에 의한 기기의 수행능력의 예측과 평가
- 모의된 지진환경 하에서의 기기의 시험
- 경험자료 이용에 의한 기기의 성능검증
- 해석, 시험 및/또는 경험자료의 조합에 의한 평가

• A 4000 성능검증

기계기기의 내진 성능검증 방법에는 직접법과 간접법 두 가지가 있으며, 직접법은 해석이나 시험에 의한 실제 기기나 모형기기의 성능검증을 행하는 것이고, 간접법은 해석이나 시험 또는 경험자료에 의하여 이전에 성능검증되었던 기기와의 상사성에 의하여 기기를 성능검증하는 것임을 기술하였다.

• A 5000 문서화

일반적으로 내진 성능검증을 입증하기 위한 2가지 문서로서 지진입력 시방서와 내진검증보고서를 규정하였으며, 각 문서를 작성하는 주체를 규정하였다. 또한 각 문서에는 명확한 요건, 시험방법, 해석/시험/경험자료 또는 이들의 조합방법의 절차, 시험 결과 등이 정확히 기록되어야 할 것을 규정하였다.

부록 A 첨부1 상사성에 의한 성능검증 지침(간접 방법)

내진 성능검증 방법중 간접 방법인 상사성에 의한 성능검증 지침을 명확하게 기술하기 위해 기능적 특성, 가진

특성, 물리적 특성, 가진과 물리적 특성의 일치 등의 항목으로 구분하여 자세하게 제시하였다.

부록 A 첨부2 해석에 의한 펌프 및 밸브의 성능검증 예

해석에 의한 내진 성능검증의 예를 제시함으로써 본 기술기준의 적용성에 대한 이해를 향상시키고자 하였다. 수직 펌프/모터 집합체와 4인치 버티플라이 밸브를 대상으로 해석에 의한 성능검증 절차를 예시하였다.

부록 A 첨부3 자연지진 경험자료를 이용한 펌프 및 밸브의 성능검증

경험자료에 의한 내진 성능검증의 예를 제시함으로써 본 기술기준의 적용성에 대한 이해를 향상시키고자 하였다. 펌프 및 밸브를 대상으로 자연지진 경험자료를 이용한 성능검증 절차를 예시하였다.

부록 B 비금속부품의 검증 지침

• B 1000 일반사항

이 부록에서는 발전사업자가 비금속 부품, 재료 혹은 운환체(비금속품)에 대한 성능검증결과를 어떻게 문서화하며, 어떤 문서들을 구비해야 하는지 그 방법과 비금속 부품의 성능검증에 대하여 기술한다. 그리고, 특정 비금속부품의 사용제한 설정 등의 활용을 위한 지침과 원전내 운전 목적으로 비금속부품을 사용하는 장비의 검증 과정에서 고려되어야 할 요인 등에 대한 지침을 제공한다.

또한, 이 부록에서는 기계 장비의 사용자들이 기계장비의 일부인 비금속부품에 대하여 검증하고 그 검증된 상태를 유지하는 절차들에 대해서 언급한다.

• B 2000 요건

이 조항은 기기가 기기의 고유한 안전기능을 수행할 수 있는지를 확인하기 위하여, 예상되는 운전 및 환경조건에서 비금속부품의 검증이 이루어지도록 하기 위한 일반적

인 요건을 언급한다.

비금속부품은 그것의 고유한 소재이름, 제작사, 제작사의 고유한 화합물, 형상 및 그것의 안전기능 등으로 구분하여야 한다. 시간-온도에 의한 기능저하 및 방사선에 의한 기능저하가 서로 조합되어 나타날 수 있는 영향도 고려하도록 한다. 또한 해석과정에서는 시간-온도 해석시 한계선량을 초과하는 방사선이 미치는 영향도 고려하도록 한다.

• B 3000 검증 방법

이 조항은 안전기능을 위해 사용되는 비금속부품을 검증하기 위하여 이의 시험, 경험자료 및 해석의 적용지침에 대한 일반적인 요건을 언급한다.

이들 각각의 방법은 장점들과 단점들을 가지고 있는데, 검증요원은 특정 성분에 대해 가장 적합한 방법 또는 병행해서 사용할 방법들을 선정하는데 있어서 이러한 장단점들을 고려하여야 한다. 검증요원의 임무는 비금속부품에 대하여 적용 가능한 범위 내에서, KEPIC-MFB 및 MFC 에서 요구하는 것과 동일한 여유도까지 검증이 이루어지도록 보증하는 것이다.

• B 4000 문서화

MFA 4000에 포함되어 있는 설계요건에 추가하여, 지금까지 언급된 방법들 중의 하나가 비금속부품을 검증하는데 사용될 때에는 B 4100부터 B 4400에 기술되어 있는 요건을 만족하여야 한다.

나. MFB : 능동펌프 조립품의 성능검증

▶MFB 1000 일반사항

• MFB 1100 개요

일반사항에서는 MFB 기술기준의 적용범위와 목적에 대하여 규정하고 있다. 기기가 적합하게 적용되었는지 여부와 그 기기가 설치된 계통의 운전요건을 확인하기 위해

특별히 고안한 기기 성능검증프로그램 개발에 사용된다. 원자력발전소의 설계기준 사고시 설치된 펌프의 정상 기능 수행뿐만 아니라 설계, 엔지니어링, 시험, 설치, 운전 및 유지보수에 신뢰를 주는 것이 본 기술기준의 목적이다. 일반적인 성능검증지침을 제공하는 MFA(일반요건)의 보완에 대해서 규정하였다.

• MFB 1200 범위

원자력발전소에서 사용되며 설계기준사고시에 제기능을 수행하여야 하는 능동 펌프조립품을 위한 성능검증 요건과 지침에 대해서 규정하였다. 본 기술기준에 따라 성능검증되는 펌프조립품과 펌프조립품 품목은 MFA의 요건을 만족시켜야 한다. 본 기술기준의 요건과 MFA의 요건이 불일치할 경우에는 본 기술기준의 요건이 우선함을 규정하였다. 본 기술기준은 KEPIC MN에 정의된 것처럼 모든 펌프 형식에 적용할 수 있다. 특히, 배열에 관계없이 속도 또는 변위 원리에 의해 작동하는 펌프들이 포함된다. 뿐만 아니라, 축밀봉계통, 구동자, 동력전달장치들과 보조기기도 포함된다. 본 기술기준은 KEPIC END에 따라 적절히 성능검증된 전동기, 밸브 작동기, 계기, 그리고 제어 장치와 같은 전기 장치에는 적용되지 않는다. 하지만, 펌프조립품에 대한 전동기 구동자가 펌프조립품에 미치는 기계적 영향에 대한 성능검증은 본 기술기준에 포함된다.

• MFB 1300 목적

펌프의 명시된 기능을 수행하기 위한 펌프조립품의 적합성을 보장하기 위해 펌프조립품에 대한 특정한 성능검증 요건과 지침에 대해서 규정하였다.

▶ MFB 2000 성능검증의 원칙과 원리

기기성능 성능검증에 관련된 기본적인 원칙과 원리는 MFA 2000에서 제공하며, 일반적으로 기계 기기 적용에 대해서 규정하였다. MFA 4000은 상사성 해석에 의한

성능검증을 기술한다. 임의요건인 MFB 부록 D는 상사성 원리로 성능검증이 이루어질 때 고려해야 하는 대표적 인 변수(Parameter)에 대해서 규정하였다.

▶ MFB 3000 성능검증시방서

펌프조립품과 펌프조립품 품목을 위한 성능검증시방서는 MFA 3000과 본 기술기준의 추가 요건에 따라 제공되어야 함에 대해서 규정하였다. 임의요건인 MFB 부록 A, B 및 C는 성능검증시방서의 작성에 필요한 지침에 대한 점검 사항을 기술하였다. 성능검증시방서를 제공하고 성능검증시방서에서 설정한 허용기준이 만족되는지를 입증하기 위해 사용되는 성능검증프로그램을 승인하는 것은 발전사업자 또는 그 대리인의 책임에 대해서 규정하였다. 일반적인 환경에서 성능검증된 펌프조립품에 대해 생산자는 성능검증시방서와 성능검증프로그램 모두를 작성할 책임이 있다고 규정하였다.

▶ MFB 4000 성능검증 프로그램

펌프조립품의 성능검증프로그램은 MFA 4000의 요건과 MFB 4200 잠재적 고장검토, MFB 4300 성능검증 방법의 선택, MFB 4400 경년열화 및 MFB 4500 동하중과 관련한 변경사항에 따라 수립되어야 한다.

▶ MFB 5000 문서화

문서화 요건은 MFA 5000과 본 조항의 추가요건에 따라야 한다. 성능검증 문서 원본 외에도 검증된 상태를 유지하기 위해 특별한 설치요건 및 유지보수사항의 문서화에 대하여 규정하였다.

부록 A 펌프시방서 점검사항

이 부록은 반드시 준수해야 할 의무사항은 아니지만 펌프 성능검증시방서 작성자가 펌프조립품에 대한 성능검

증 시방서를 작성할 때 고려해야 할 항목들에 대해서 규정하였다.

부록 B 펌프 축밀봉계통 시방서 점검사항

이 부록은 반드시 준수해야 할 의무사항은 아니지만 펌프 성능검증시방서 작성자가 펌프의 축밀봉계통 품목에 대한 성능검증 시방서를 작성할 때 고려해야 할 항목들에 대해서 규정하였다.

부록 C 펌프 터빈 구동자 시방서 점검사항

이 부록은 반드시 준수해야 할 의무사항은 아니지만 펌프 성능검증시방서 작성자가 펌프 터빈구동자의 성능검증 시방서를 작성할 때 고려해야 할 항목들에 대해서 규정하였다.

부록 D 펌프 상사성 점검사항

이 부록은 반드시 준수해야 할 의무사항은 아니지만 펌프 성능검증시방서 작성자가 펌프설계와 계통조건 사이의 상사성 법칙을 결정할 때 고려해야 할 항목들이다.

이 부록에 규정된 항목이나, 기타 별도로 요구되는 요건중 적용할 항목의 선정은 구매자의 선택 사항임을 설명하고 있다.

부록 E 축밀봉계통재질 및 설계고려사항에 관한 지침

본 부록은 MFB의 요건에 의하여 성능검증될 축밀봉계통의 특수재료의 선택과 설계에 관한 지침을 제공하고 성능검증시방서 작성자에게 재료선택과 설계의 지침을 제공하는데 그 목적이 있음을 규정하고 있다.

다. MFC : 능동밸브 조립품의 성능검증

▶MFC 1000 일반사항

본 기술기준은 능동밸브 조립품의 기능 작동성을 보증하는 허용수준을 제공할 검증방법을 제시한다. 이 검증은

밸브 조립품이 압력, 기계적 하중, 유체동력, 온도 및 진동 등이 극도로 불리한 조건에서 제 기능을 수행할 수 있는 능력을 입증하는 시험과 해석을 기초로 한다. 이 시험은 이러한 조건들이 운전중 예상되는 최대 수준 이상의 모든 조합으로 작용하는 것과 각기 별개로 작용하는 것을 포함한다. 어떤 발전소에서 발생한 밸브의 작동을 필요로 하는 극히 위험한 비상상태로 인하여 본 검증기술기준에 의해 특별히 명시되지 않은 하중조합이 밸브에 작용될 수 있다. 여러 크기의 밸브 중 대표적인 크기의 밸브가 성공적으로 시험되었다면, 상사성 해석에 의해 설계 허용성에 대한 검증이 상사 설계된 다른 크기의 밸브들에 확대 적용될 수 있다고 추론하는 것이 가능하다. 본 기술기준은 포괄적인 검증이 설계 검증과정의 비용효과를 최대화시키는 실제적인 방법이 될 것이라는 기대를 가지고 원형밸브 검증을 상사밸브에 적용시키는 해석적으로 확대 적용하는데 관한 요건을 제시하고 있다.

▶MFC 2000 검증요건

능동 동력구동 밸브, 능동 자기구동 체크밸브 및 능동 압력방출 밸브 등의 밸브 종류에 따른 검증요건을 항목별로 규정하고 있다.

▶MFC 3000 성능검증 시방서

밸브 조립품의 기능요건을 확인하는 것은 발전사업자 또는 그 대리인의 책임이며, 이러한 요건들은 MFC의 부록 A에 따라 작성된 시방서에 제공되어야 한다.

▶MFC 4000 원형밸브 검증

•MFC 4200 검증개론

원형밸브 검증의 의도는 주어진 밸브 조립품 설계에 대한 일반적인 검증을 제공하기 위한 것이며, 특정 원자력 발전소에 사용하는 특정 밸브 조립품을 검증하는데 꼭 필

요한 것은 아니다. KEPIC-QAP의 품질보증 규정을 이행하는 것은 동일한 설계구조로 제작되는 모든 생산밸브에 대한 검증을 보증해준다. 모든 적용보고서에 각각의 생산밸브를 특정 원자력발전소에 적절하게 적용하기 위해 검증되었음을 문서화하여야 한다.

• MFC 4300 검증방법

원형밸브 검증의 확장에 있어서 해석이 원형밸브와 구조적으로 유사한 상사밸브에 대하여 폭넓게 이용되었더라도, 시험이 원형밸브 집합체의 검증방법에 대한 주된 방법이다. 그러나 일정한 제한된 해석은 허용 가능하다.

• MFC 4400 시험

○ 능동 동력구동 밸브

- 아래 항목에 기술된 허용변경을 제외하고, 모든 시험은 시험전 검사, 기본 진동수 결정, 환경과 경년 열화 모사, 중간검사, 주기시험, 중간검사, 단부하중 시험, 중간검사, 내진시험, 중간검사, 유동차단과 기능능력 입증, 시험후 검사 등으로 분류되며, 이와 같은 순서대로 같은 원형밸브 시험조립품에 대해 수행되어야 한다. 어떠한 다른 변경도 성능검증 보고서에서 타당성을 철저히 밝혀야 한다.

- 위의 시험순서에서 어떤 시험들을 그룹화하거나, 순서를 바꿀 수도 있으며, 기본 진동수 결정은 내진 시험과 조합될 수 있고, 단부하중시험은 내진시험과 조합될 수 있다. 또한 원형밸브 검증의 확장적용에 관한 규정의 만족을 요구하는 부가시험은 순서 중 어느 과정에서 수행해도 좋다.

○ 능동 자기구동 체크밸브

- 능동 자기구동 체크밸브에 요구되지 않는 기본 진동수 결정, 주기시험, 내진시험 등을 제외하고, 능동 동력구동 밸브에 대한 모든 시험 분류 및 방법을 따르며, 추가로 다음을 적용한다.

- 외부 추, 스프링, 또는 완전히 닫거나 닫음을 돕는 목적의 동력 구동기를 포함한 구동 수단을 가진 체

크밸브들과 목적이 단지 작동성에 대한 가동중 시험의 수단을 제공하기 위한 외부 구동장치를 가진 체크밸브들은 시험되거나, 또는 구동장치가 지진사고 중이나 후에 기능이나 작동성을 저하시킬 수 없다는 것을 입증하는 해석에 의해 검증되어도 좋다.

○ 능동 압력방출밸브

- 모든 시험은 그룹 1(시험전 검사, 성능 및 누설), 그룹 2(기본 진동수 결정, 내진시험, 배출관 및 반력하중 검증시험, 내진과 단부하중 조합시험, 외부 환경시험, 열영향 시험), 그룹 3(성능 및 누설, 시험 후 검사) 등으로 분류되며, 이와 같은 순서로 같은 원형밸브 조립품에 대해 수행되어야 한다.

- 그룹 2의 개별시험은 그 그룹내의 어떠한 순서나 그룹내 다른 시험과의 조합으로 수행해도 좋다. 어떠한 변경도 성능검증 보고서에서 타당성을 철저히 입증하여야 한다.

• MFC 4500 원형밸브 검증시 해석의 이용

원형밸브의 시험은 원형밸브 조립품의 검증을 위한 근본적이기는 하지만 결정적인 방법은 아니다. 포함된 검증 조건에 대해 사용된 해석방법의 타당성을 시험으로 충분히 입증한다면, 해석이 허용될 수 있다. 최소한 사용된 해석의 확인은 해석절차 및 해석절차 확인의 모든 요건을 충족하여야 한다.

▶ MFC 5000 원형밸브 검증의 확장적용

• MFC 5200 일반원칙

○ 원형밸브 조립품과 구조(즉, 같은 제작자, 형식, 크기, 정격 등)가 동일한 상사밸브 조립품은 적용보고서를 작성하고, 해당 원형밸브 성능검증 보고서를 참조하여 검증될 수 있다.

○ 원형밸브 조립품과 구조가 동일하지 않은 상사밸브 조립품은 기술된 대로 적절한 해석 및/또는 시험을 통한 확장에 의해 검증될 수 있다.

- 이 조항은 독립적인 해석에 의한 검증기법이 아니다. 이는 해석에 의한 원형밸브 검증의 확장에 기초한 상사밸브 조립품의 성능검증을 입증하고자 하는 방법에 대한 지침을 포함하고 있다. 여기서의 해석기법과 절차는 원형시험 결과와 해석적 예측의 상호관계를 통해 유효하다. 따라서, 이 조항에 의한 상사밸브의 검증은 원형밸브 검증의 요건에 따라 시험된 원형밸브보다 범위가 더 넓을 수 없다.
- 절차는 상사밸브 조립품과 원형밸브 조립품 사이의 설계 상사성의 높은 정도에 기초한다. 충분한 설계 상사성이 존재할 경우 상사밸브의 검증은 엄격하고 시험-확인된 해석절차에 의해 입증될 수 있으며, 해석절차는 상사밸브의 기계적 강도, 강성도 및 주요 설계 간극 치수 등이 검증된 원형밸브와 알맞게 비교됨을 보증하는 것이어야 한다. 부적절한 설계상사성이 있을 경우 해석절차는 추가적 해석 평가나 시험에 의해 보충되어야 한다.
- 합리적인 유효성을 보증하기 위해 시험-확인된 해석절차는 2개 이상의 원형밸브와의 해석적인 예측의 비교를 토대로 한다.
- 이 조항은 해석적 방법을 이용한 원형밸브 검증을 상사밸브로 확장하기 위해 2가지 선택사항을 제공한다. 검증의 일반적 확장 요건을 충족하기 위해서는 매우 엄격한 해석절차가 요구된다. 그러나, 검증은 상당히 넓은 범위의 상사밸브에 확장될 수 있다. 이 기술기준의 사용자는 적용에 가장 적합한 방법을 자유롭게 선택할 수 있다.

▪ MFC 5300 설계 상사성

- 능동 동력구동밸브 및 능동 자기구동 체크밸브 시험-확인된 해석방법에 의한 상사밸브 조립품의 검증에 있어서 설계 상사성 및 차이점의 평가에 대한 요건은 해당되는 경우 다음 사항에 대한 타당성을 포

합하여야 하나, 이에 국한되지는 않는다.

○ 능동 압력방출밸브

능동 동력구동밸브 및 능동 자기구동 체크밸브에 대한 요건에 추가로 스프링 장착밸브의 경우, 스프링 계수 $[(\text{스프링률})/(\text{설정압력} \times \text{유로면적})]$ 가 같아야 한다.

▪ MFC 5400 해석절차

해석절차는 알고리즘, 유한요소 해석, 또는 수작업, 컴퓨터, 또는 양자의 조합으로 수행되는 다른 적절한 해석적 기법의 조합으로 정의된다. 해석절차가 한번 수립되면 적절한 개정관리가 이루어지는 형태로, 그리고 이 분야의 경험자가 이러한 적용에 대한 적합성을 검토, 점검 또는 확인할 수 있는 형태로 적용 보고서에 문서화되어야 한다. 상세한 해석모델이 해석절차의 각 부분을 다루기 위하여 준비되어야 하며, 밸브 조립품의 각각의 개별특성을 다루어야 한다. 또한 해석절차 모델은 충분히 상세하여야 한다.

▪ MFC 5500 해석절차 확인

해석절차의 확인은 해석적 결과와 시험으로부터 얻어진 데이터와의 상관관계로부터 이루어진다. 해석절차의 확인은 능동 동력구동밸브, 능동 자기구동 체크밸브, 능동 압력방출밸브 등의 각각의 최소 요건 및 절차에 따라 이루어져야 한다.

▪ MFC 5600 검증의 일반적 확장

시험 확인된 해석에 의한 예상 허용응력이 탄성 범위 안에 있으면, 해석절차는 더 이상의 확인 없이 전체적으로 일정한 요건을 만족하면, 상사밸브의 크기 및 정격압력에 적용 가능하다. 상사밸브에 계산절차를 적용하기 위해서는 해석확인 절차에 필요한 성능기준과의 적합성을 입증하여야 한다. 검증확장의 적합성과 검증확장요건을 만족하는 상사밸브는 완전히 검증된 밸브 조립품이고 더

이상의 시험 또는 해석이 요구되지 않는다. 이러한 밸브는 검증된 상사밸브 조립품으로 분류되거나 다른 상사밸브 조립품을 검증하기 위한 원형밸브로는 사용되지 않는다. 상사밸브 조립품에 대한 해석적 비교 또는 시험은 모든 상세한 해석절차 모델을 수행하는 대신에 다른 조합적 방법으로 수행될 수 있다. 또한 부가시험에 의하여 검증확장이 이루어질 수도 있다.

• MFC 5700 검증의 단순확장

상사밸브 조립품이 원형밸브 검증프로그램 요건에 따라 검증된 모든 동일한 일반형태의 구동기와 밸브 몸체의 크기가 다른 조합일 경우, 검증의 일반적 확장에서 요구되는 것보다 좀더 단순화된 해석방식이 효과적으로 검증을 확장하는데 사용될 수 있다. 원형밸브의 검증 확장으로 상사밸브를 검증할 때 검증의 단순확장 요건을 완전히 만족하면 원형밸브 검증의 확장적용 요건을 만족하게 된다. 그리고, MFC에 따른 이러한 밸브의 검증을 위해 더 이상 원형밸브 검증의 확장적용을 고려할 필요는 없다. 입증된 보수성에 근거를 두고, 좀더 제한적인 범위의 밸브 크기를 포함하는 검증의 단순확장 원리는 상당히 단순하다. 다양한 크기의 원형밸브 선정이 원형밸브 검증에 따라 검증된 것을 가정함으로써 간단한 방법으로 상사밸브에 대하여 검증을 확장할 수 있다.

▶ MFC 6000 문서요건

• MFC 6100 범위

검증문서는 원자력발전소에서 사용되는 각 밸브 조립품이 목적된 운전을 위해 사용될 때 지정된 기능을 수행할 것으로 검증된 사실을 확인하는데 이용된다. 검증은 사용요건과 검증프로그램에서 이루어진 시험 및/또는 해석간의 관계를 보여주고 설명함으로써 구체화된다. 검증계획은 기능시방서를 단계별 검증프로그램으로 변환하도록 요구되며, 성능검증보고서는 원형밸브가 MFC를 만

족함을 문서화하도록 요구된다. 또한 적용보고서는 특정 원자력발전소에 적용되는 특별한 상사밸브 조립품의 검증을 문서화하도록 요구된다.

• MFC 6200 검증계획

성능검증보고서의 일부가 될 수도 있는 검증계획은 시험목적, 시험유체, 시험계측설비, 시험조건, 방향, 허용 가능한 유지보수 또는 조정 및 합격기준 등을 기술하는 적절한 검사 및 시험기록 형태로 작성되어야 한다. 추가로 검증계획에는 원형밸브 검증의 확장적용을 이용하여 원형밸브 검증을 상사밸브로 확장시 사용되는 특정해석기법과 합격기준이 정의되어야 한다.

• MFC 6300 보고서

○ 성능검증보고서

본 기술기준에 따라 검증된 원형밸브 조립품 각각에 대해 성능검증보고서를 작성해야 한다. 이러한 성능검증보고서는 밸브형식, 밸브크기, 정격압력, 구동기 형식 및 크기 등과, 검증계획, 시험결과 및 검사 데이터 등을 포함하는 기타 적절한 데이터 등으로 밸브를 완전히 식별 가능하도록 작성되어야 한다. 또한 성능검증보고서에는 성능검증 시험과 해석에 의해 설정된 변수에 대한 요약이 수록되어야 한다. 검증을 제한하는 어떤 특정 제한사항도 기술되어야 한다.

○ 적용보고서

적용보고서는 어떤 상사밸브 조립품이 특정한 적용요건을 만족하는지에 대한 적합성을 입증하도록 요구된다. 적용보고서는 일련번호가 부여된 밸브 조립품 각각에 대하여 요구되지만, 구조와 사용조건이 동일하고 일련번호와 꼬리표 번호만 다른 밸브 조립품들은 예외적으로 하나의 적용보고서로 통합이 가능하다. ❌