

도매경쟁 전력시장에서의 주파수 및 예비력 신뢰도 기준(안)

윤재영*, 김호용*, 오태규*
한국전기연구원*

옥기열**, 김성수**, 김용완**
한국전력거래소**

System Frequency and Reserve Standards for Korean Wholesale Electricity Market

Jae-Young Yoon*, Ho-Yong Kim*, Tae-Kyoo Oh*
KERI*

Ki-Youl Ok**, Sung-soo Kim**, Yong-Wan Kim**
KPX**

Abstract - This paper presents the application draft of system frequency and reserve criteria for Korean Wholesale Electricity Market. This application draft of system frequency and reserve criteria is based on frequency, voltage control rules and technical rules for ancillary services agreements prepared by KEMA and the present conditions of KEPCO system operations and future directions.

기술되어 있는 계통 주파수 기준은 아래와 같이 정상 상태 및 예외상황에서의 주파수 유지범위만 제시되어 있다. 즉, 계통주파수 기준에 포함되어야 하는 상정사고 범위 및 고장이후 정상상태로의 회복시간 등에 대해서는 별도의 언급이 없다. 또한, 예외상황에 대한 명확한 정의가 없다.

- 정상상태 주파수 범위 : 60 ± 0.2 [Hz]
- 예외상황 주파수 범위 : 62.0 이하, 57.5 [Hz] 이상

1. 서 론

전력계통 신뢰도 기준은 전력 수용자에게 일정수준 이상의 전기품질을 제공하는 동시에 전력계통의 물리적 안전성(security)을 유지하기 위한 최소한의 기준이다. 이러한 신뢰도 기준은 일반적으로 전력계통의 주파수와 전압 유지기준, 계통 예비력 확보기준, 부하관리 기준 및 상정사고 계획과 자체기동 기준 등으로 구성되어 있다.

2.1.2 KEMA 계통주파수 기준(안)

TWBP 전력시장 설계를 위한 KEMA의 계통 주파수 기준(안)을 나타내면 표 2.1과 같다. 표 2.1의 KEMA 기준(안)은 기본적으로 현행 CBP 시장단계 운영규칙에 나타나 있는 상정사고 규모와 주파수 유지범위를 준용하였으며, 여기에 호주 NEMMCO와 유사한 정상상태 주파수 범위로의 회복시간을 정의하고 있다.

TWBP 전력시장 설계를 위한 KEMA 기본(안)에서는 아래와 같은 4대 신뢰도 기준을 제시하고 있으며, 각각의 기준에 대하여 세부사항을 기술하고 있다. 하지만, KEMA 기본(안)에서는 위와 같은 개별 신뢰도기준을 통합하고 이를 종국적으로 보조서비스 기본(안)과 연관시키는 과정에 대해서는 전혀 언급이 없다.

표 2.1에서 문제점은 Exceptional Event 및 Major Multiple Contingency에 대한 정확한 정의와 상정사고 규모가 명확하지 않다는 점이다. CBP 전력시장 계통 운영기준에 따르면 이중고장 및 다중고장에 대한 종류는 기술되어 있으나 실제 계통 신뢰도 기준을 수립할 때 어떤 상정사고 기준을 적용할 것인가에 대해서는 언급이 없다.

- 주파수제어 규칙 (Frequency Control Rule)
- 전압제어 규칙 (Voltage Control Rule)
- 상정사고 계획규칙 (Contingency Planning Rule)
- 부하관리 규칙 (Demand Control Rule)

따라서, KEMA 계통주파수 기준(안)을 적용하기 위해서는 개별 계통 조건별 상정사고 규모와 그에 따른 주파수 유지범위에 대한 상호 매칭이 필요할 것으로 생각된다. 또한, 정상상태 계통주파수 범위로의 회복시간은 기본적으로 계통 예비력 확보량과 관련되어 있으므로 이와 연관지어 검토되어야 할 사항으로 판단된다.

따라서, 본 논문에서는 TWBP 시장단계의 신뢰도 기준 중에서도 가장 기본이 되는 계통 주파수 및 예비력 유지기준에 대한 KEMA 기본(안)의 기본 개요를 기술하고 이를 국내 계통 현실에 부합되도록 보완 수정하기 위한 방향에 대하여 검토하고자 한다. 이러한 실 계통에 대한 보조서비스 적용은 고도의 기술적 측면의 내용을 포함하고 있으므로 적용대상 계통의 고유특성에 따라서 세부 내용이 달라져야 한다. 즉, 해당 계통의 현실을 반영하여 보조서비스의 세부내용과 적용방안이 결정되어야 하므로 본 연구에서 국내 계통 특성을 반영한 계통 주파수 및 예비력 기준(안)을 제안하고자 한다.

표 2.1 KEMA 계통주파수 기준(안)

계통조건	상정사고 규모 (발전력 손실 혹은 부하 증가)	주파수 유지범위 (Hz)	정상상태 회복시간 (min)
Operational Limit	300MW	60 ± 0.2 Hz	-
Significant Event	1000MW	60 ± 0.5 Hz	[5]분
Exceptional Event	1000MW 및 타 설비 동시고장	60 ± 0.8 Hz	[5]분
Major Multiple Contingency	Multiple Losses	57.5Hz - 62.0Hz	[30]분

2. 본 론

2.1 계통주파수 기준(안) 제안

2.1.1 현행 주파수 기준

현행 CBP 전력시장 단계의 전력시장 운영규칙에

2.1.3 TWBP 계통주파수 기본(안) 잠정제안

위에서 기술한 현행 주파수 기준 및 KEMA 계통

주파수 기준(안)을 참조하여 향후 TWBP 전력시장에서 적용하기 위한 잠정적인 계통주파수 기준(안)을 제안하면 표 2.2와 같다.

표 2.2는 현행 CBP 단계 계통주파수 기준과 KEMA 기준(안)을 절충한 것으로서 계통조건을 정상상태, 발전력 1기 탈락 및 예외상황으로 분류하였다. 즉, 단일고장 (N-1) Criteria 1,000 MW를 최대 발전기 1기 탈락으로서 기술하였고, 예외상황도 CBP 단계 전력시장 운영규칙의 계통운영기준을 참조하여 최대 발전단지 탈락으로서 현재 관점에서는 4,000MW 상정사고 규모로 규정하였다. 단, 표 2.1의 KEMA 기본(안)에 나타나 있는 Exceptional Event(두개 설비의 동시고장, 이중고장)의 경우 상정사고 규모와 이에 따른 계통 주파수 유지범위를 전력시장 운영규칙의 계통운영기준에서 여러 가지 종류로 분류하고 있으며, 현 단계에서 특정 상정사고로 규정하기 곤란한 측면이 있다. 따라서, 표 2.2의 TWBP 전력시장의 계통주파수 유지기준에서는 배제하고 향후의 과제로서 남겨 놓았다.

표 2.2 TWBP 전력시장 주파수 유지기준 수립(안)

계통조건	상정사고 규모 (발전력 손실, 부하증가)	주파수 유지범위 (Hz)	정상상태 회복시간 (min)	비 고
정상상태	300MW	60±0.2Hz	-	순시부하 변동
발전력 1기 탈락	1,000MW	60±0.5Hz	[5]분	원전 1기 탈락
예외상황 (최대 발전단지 탈락)	4,000MW	62.0Hz 이하 57.5Hz 이상	-	상정사고 규모는 향후 검토요망

2.2 계통예비력 기본(안) 제안

2.2.1 현행 계통예비력 기준

현행 CBP 단계 시장운영규칙에 나타나 있는 계통예비력 관련규정의 세부 항목과 요구량(MW) 및 응답시간을 나타내면 표 2.3과 같다.

표 2.3에서 주파수조정 예비력은 정상상태에서의 미소 주파수 변동을 조정하는 것과 상정사고가 발생할 때의 급격한 주파수 변동을 억제하는 두 가지 목적을 동시에 가지고 있으며 조속기응답(GFR)과 자동발전제어(AGC)와 같이 긴급하게 투입될 수 있는 발전력으로 구성되어 있다. 또한, 대기예비력은 10분 운전상태 및 20분 정지상태(수력기동 및 G/T 기동) 예비력으로 구분되는데, 순순하게 상정사고 발생에 대비한 예비력이다. 즉, 발전력 1기 탈락 이하 규모의 상정사고에 대해서는 주파수조정 예비력을 대신하는 역할을 하며 그보다 큰 상정사고에서는 주파수조정 예비력과 더불어 계통주파수 하락을 억제하는 역할을 한다. 마지막으로, 대체예비력은 주파수조정 혹은 대기예비력의 예비력으로서의 기능을 회복하기 위하여 120분 이내에 활용할 수 있는 발전력으로 구성되어 있다. 이러한 대체예비력은 G/T 기동 혹은 Hot-standby 과정을 거쳐야 하는 S/T 기동을 통하여 확보된다.

2.2.2 KEMA 계통예비력 기준(안)

TWBP 시장설계를 위한 KEMA 보고서에서 계통예비력은 보조서비스 합의서 기술규격 (Technical Rules for Ancillary Service Agreements)과 주파수제표 2.3 현행 CBP 시장단계 예비력 분류기준

예비력 항목	세부항목	용량(MW)	응답시간 혹은 배치시간(T _{DEF})
주파수조정 예비력	GF	500MW	-
	AGC	500MW	30초 이내
대기예비력	운전상태	500MW	10분 이내
	정지상태	1000MW	20분 이내
대체예비력		1500MW	120분 이내

어규칙(Frequency Control Rule)에 기술되어 있으나 각각 서로 상이한 점을 지니고 있다. 즉, KEMA 주파수 제어규칙상의 계통 예비력 규정은 앞의 현행 CBP 단계 예비력 규정과 체제 및 내용이 동일하다.

따라서, 본 절에서는 KEMA 보조서비스 합의서 기술규격을 기준으로 하여 계통예비력을 기술하고자 한다. 먼저, 표 2.4는 계통주파수 하락에 따라서 급전지령이 아니라 설비의 자체 특성으로 인하여 자동 응답하는 주파수 응답특성을 나타내면 표 2.4와 같다. KEMA 보조서비스 합의서에서 주파수 응답특성은 조속기응답(GFR)과 부하차단(ILS)으로 구분되며, 조속기응답은 1차응답, 2차응답 및 고주파 응답으로 분류할 수 있다. 여기서, 2차응답은 영국 NGC에서만 존재하는 조속기 응답특성으로서, 조속기의 응답출력 증가를 [30]분 대역까지 지속시킨다. 따라서, 발전소에 이를 위한 별도의 설비가 요구되며 영국에서는 AGC를 운용하지 않기 때문에 조속기 2차응답이 AGC를 대체하는 개념으로 생각할 수 있다.

표 2.4 KEMA 보조서비스 합의서 주파수응답 특성 분류

공급항목	세부항목	응답속도	지속시간
조속기 응답 (GFR)	1차응답 (PFR)	[10]초이내	추가적인 20초 (10~30초)
	2차응답 (SFR)	[30]초이내	추가적인 30초(30분 ⁽¹⁾) 주파수 미회복시는 응답 무한정 지속
	고주파응답 (HFR)	[10]초이내	추가적인 20초 (10~30초)
부하차단 (ILS)	UFR에 의한 자동 부하차단	UFR 동작 [1]초 이내	최소 15분

표 2.5는 주파수응답을 제외한 계통예비력을 표현한 것인데, 가장 큰 특징은 모든 계통예비력의 응답시간이 [5]분 이내라는 점이다. 즉, [5]분을 초과하는 계통예비력은 보조서비스 시장이 아니라 에너지 월물시장에서 확보한다는 개념이 포함되어 있다. 이러한 예비력 체계는 호주 NEMMCO와 유사하며, 기타 다른 전력시장과는 근본적으로 다른 개념이다. 따라서, 현행 CBP 시장과는 달리 대기예비력 성격을 가진 순시기동예비력(FSR)의 응답시간이 [5]분으로 규정되어 있으며, 대체예비력과 유사한 특성은 배제되어 있다.

2.2.3 TWBP 계통예비력 기본(안) 잠정제안

위의 CBP 단계 현행 계통예비력 기준과 국내계통의 고유특성 및 KEMA 기본(안)을 근간으로 하여 TWBP 시장단계의 계통예비력을 표 2.6과 같이 제안하였다.

표 2.6의 계통예비력 기본(안)의 기본 골격 및 요구량은 현행 CBP 단계와 동일하며, 부하조절(차단)을 정지상태 대기예비력으로 포함시켰다. 표 2.6의 계통예비력 기본(안)에서 각 공급 항목별로 눈점이 될 수 있는 사안과 선정사유를 정리하면 다음과 같다.

표 2.5 KEMA 보조서비스 합의를 예비력 특성분류

예비력 항목	세부항목	응답속도 혹은 배치시간(T_{DER})	지속시간(T_{DUR})
에너지시장 활용가능 예비력	부분부하운전 (Part-load) 동기조상기	에너지시장에서 조달할 수 있는 Spinning Reserve	
자동발전 제어(AGC)	주파수조정 (Regulating)	[5]분	주파수조정 상정사고용
순시기동 예비력(FSR)	정지상태 (Standstill) 무부하운전 동기조상기	UFR 동작 혹은 급전지령 [5]분 이내	미정의
부하차단 (ILS)	원격제어	제어지령 이후 즉시	최소 [15]분
	수동급전지령	급전지령 이후 [15]초 이내	최소 [15]분

표 2.6 TWBP 시장단계 계통 예비력 기본(안)

예비력 분류	공급항목	요구량 (MW)	응답시간 (T_{DER})	지속시간 (T_{DUR})	확보방안
주파수조정 예비력	GFR	[500]	[10]초	[30]초	AS 계약
	AGC	[500]	[5]분		
대기 예비력	운전상태 (10분)	운전상태 [10]분	[500]	[10]분	에너지급전
	정지상태 (10분)	정지상태 [10]분	[1000]	[10]분	AS 계약 수력 기동
		부하조절 [10]분			AS 계약 ILS
	정지상태 (30분)	정지상태 [30]분		[30]분	AS 계약 G/T 기동
부하조절 [30]분		AS 계약 ILS			
대체 예비력 [120]분		[1500]	[120]분		AS 계약 (G/T, HotStandby)

가. 조속기응답(GFR)

영국과 같은 조속기 2차 응답 및 호주와 같은 조속기 응답시간(6초, 60초)에 따른 분류는 현실적인 필요성이 낮으며 적용상에 어려움이 있으며 TWBP 전력시장 운영의 단순화를 위하여 배제한다. 또한, 조속기 응답에 따른 정산은 기본적으로 정태 및 과도 응답량을 모두 고려한 방식을 강구하는 것이 필요하다.

나. AGC

현행 AGC 응답시간이 [30]초로 규정되어 있으나 이를 국제적인 기준과 실 계통에서의 운영능력을 고려하여 [5]분으로 변경하는 것을 고려한다.

다. 부하조절(차단) 예비력(ILS)

부하조절 예비력(ILS)은 연속적인 제어기능이 없으므로 조속기 응답이 아닌 정지예비력의 범주로 고려한다. 그리고, 부하조절 예비력(ILS)을 북미지역의 예를 반영하여 [10]분 정지예비력(UFR 및 양수부하 차단 등) 및 [30]분 정지예비력으로 분류한다.

라. 정지상태 대기예비력 (발전)

정지상태 예비력을 수력 및 복합의 정지시부터 전 출력까지의 소요시간을 판단할 때 [10]분(수력) 및 [30]분(G/T) 예비력으로 분류하는 것이 타당하다. 이는 예비력 공급의 응답시간에 따른 수력과 복합의 차

별성을 둘 필요가 있음을 의미하며, 필요한 경우 전체 정지상태 대기예비력 중에서 [10]분 예비력을 일정 비율 이상으로 지정할 수도 있다. 그리고, No-Load Spinning에 의한 정지상태 예비력 제공은 배제한다.

마. 운전상태 대기예비력

운전상태 대기예비력은 보조서비스 공급항목이 아니며 에너지시장에서 시장원리에 따라서 확보된다. 즉, 운전상태 대기예비력은 운전중인 발전기의 감발 예비력으로서 [10]분 이내에 응동할 수 있는 용량으로 상정한다. 이와 같이 보조서비스 항목에서 배제하는 기본 이유는 운전예비력의 대기비용(Enabling)은 거의 없다고 볼 수 있으며 보상비용(Compensation)은 에너지시장의 제약발전(c/on) 및 제약발전(c/off)에 의하여 보상받기 때문이다.

바. 대체예비력

대체예비력은 계통의 안정적인 운용을 위하여 보조서비스 계약을 통하여 현행과 동일하게 상시적으로 확보하며, Hot-standby 등 세부 사항에 대한 급전 및 보상방안은 향후 검토의 필요성이 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 현행 CBP 시장단계의 계통 주파수 및 예비력 기준을 근간으로 하고 KEMA 기준(안)과 국내 계통특성 및 세계 각국의 적용예를 참고로하여 국내 TWBP 시장단계에서 적용하기 위한 계통 주파수 및 예비력 잠정 기본(안)을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 계통 주파수 및 예비력 기본(안)은 기본적으로 국내 계통특성과 계통 운영현실을 합리적으로 반영하였음에도 불구하고 다양한 관점에서 고찰하여볼 때 다른 대안을 도출할 여지도 있다고 판단된다.

따라서, 이러한 관점에 대해서는 향후 보조서비스 계약방안 및 실 계통 급전방안과 연관시켜 종합적으로 고찰할 필요성이 있다고 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1]KEMA Consulting, "Technical Advisor Wholesale Market Technical Rules For Ancillary Services Agreements", 2. 2001
- [2]KEMA Consulting, "Technical Advisor Wholesale Market Technical Rules : Frequency Control Rules", 2. 2001
- [3]윤재영, "KEMA 보조서비스 주파수 및 예비력 기준 분석", 2. 2001
- [4]한국전력공사 전력거래소, "급전운영규칙", 2000. 3
- [5]한국전력공사 계통운영처, "예비력 운영기준(안)", 2000. 6 (Ver. 0)
- [6]NEMMCO, "Frequency and Time error control" Procedures, 2001. 3