



# 국내외 신재생에너지 계통연계기준과 절차

- 최준호 / 전남대학교 전기공학과 교수
- 김태훈 / 한국전력거래소 계통계획팀 과장
- 권석기 / 한국전력거래소 계통계획팀 팀장
- 배주천 / 한국전력거래소 계통기술팀 팀장

## 서론

신재생에너지원은 기존의 전력계통에 연계하여 운전하는 것이 경제성 및 자원의 효율적 이용, 수용가의 공급안정성 확보면 등에서 유리하므로 계통연계운전이 필수적이다. 그러나 대체에너지전원의 계통연계시 발생하는 기술적 문제 즉, 전압변동, 주파수, 고조파 등의 전력품질과 계통 및 대체에너지시스템의 설비보호, 단독운전방지, 기존계통 보호체제와의 연동 등의 보호협조에 관한 문제점의 해결이 선행되어야 한다.

이러한 문제가 해결되지 않고는 신재생에너지원의 연계에 의해서 공급신뢰도(정전 등), 전력품질(전압, 주파수, 역률 등)의 면에서 기존 전력계통 및 전기수용가에 악영향을 미친다. 따라서 전력회사는 신재생에너지원의 본격적인 전력계통 도입 시에 대체에너지전원 시스템의 신뢰성(제어 및 안정성)을 검증해야 하고, 기존의 배전계통 운용체제하에서 연계가 가능한 대체에너지전원에 대한 기술적 가이드라인의 정립하고 검토 및 계통연계 절차를 확립하여야 한다. 본 고에서는 국, 내외의 신재생에너지원의 계통연계기준 및 절차를 검토하고 이를 비교, 검토하였다.

신재생에너지원의 계통연계에 관한 국내·외의 기준을 전압변동, 고조파, 역률, 플리커, 주파수 등의 검토해야 할 항목별로 비교 분석 해 보았다. 국내 기준으로는 주로 “분산형전원 저압배전선로 연계기준

(안)[1]”, “분산형전원 계통연계 기술기준(안)[2]” 등을 국외 기준으로는 주로 미국의 “IEEE Standard 1547[3]”, 일본의 “계통연계 기술요건 가이드라인[4]”을 조사하였다. 또한 신재생에너지원의 계통연계 절차를 국내의 연계절차, 미국의 미국 텍사스 공익사업위원회 (PUCT: Public Utilities Commission of Texas) 및 메사추세츠주의 연계절차를 비교하여 조사하였다[5].

## 국내외 연계기준

신재생에너지원을 분산형 전원의 형태로 전력계통에 연계할 때 관련된 규정으로 국내기준, 미국기준, 일본기준을 조사하여 비교 검토 하였다. 각 기준항목에 대하여 정리하면 다음과 같다.

### 적용범위 및 연계구분

표 1 적용범위 및 연계구분 비교

구분	신재생에너지원	(1수용가당) 제한용량	연계 구분
국내 기준	태양광, 풍력, 열병합발전 등 모든 신재생 에너지원 적용가능	100 kW미만	저압배전선로
		10,000 kW이하	특고압배전 전용선로
미국 기준		10,000 kW이하	배전계통
일본 기준		50 kW미만	저압배전선로
		2,000 kW이하	고압배전선로
		10,000 kW이하	스팟네트워크 수전의 경우



모든 기준들에서 전체 신재생에너지원이 적용가능 하였으며, 국가별로 제한용량과 용량에 따른 연계 선로 구분의 내용은 각각 상이 하였다.

### 전압변동

적정 전압 범위는 미국의 기준이 가장 자세하게 규정하였으나, 국내 기준의 경우에는 저압 배전선로 연계 시와 특고압 배전선로 연계 시로 구분하여 상시 전압변동과 순시 전압변동에 관한 내용이 유일하게 규정되어 있었다. 기준 전압의 %전압 변동으로 비교해 보았는데, 국내 기준의 전압 변동 허용 범위 폭이 가장 컸다.

표 2 적정 전압 범위 비교

구분	적정 전압 범위	% 전압 변동 범위
국내 기준	202±13V	± 6.45%
	380±38V	± 10%
	22.4~23.5kV	-2.18 ~ +2.62 %
	22.7~23.8kV	-0.87 ~ +3.93 %
미국 기준	88~110%	-12 ~ +10%
일본 기준	101±6V	± 5.94%
	202±20V	± 9.9%

### 주파수

주파수의 경우 기준 전력계통의 운영규정을 따르는 것이 관련 규정이었으며 각 연계기준이 대동소이 하였다.

표 3 적정 주파수 허용치 비교

구분	주파수 허용치(Hz)	%주파수 변동 범위
한국	59.8~60.2	99.67~100.33
	59.3~60.5	98.83~100.83
미국	59.8~60.5	99.67~100.83

### 동기운전

동기운전 관련 연계접속점에서의 전압 변동 제한 국내 기준이 가장 엄격하였으며, 미국 기준과 국내 기준에서만 동기화에 필요한 적정 주파수, 전압, 위상각 범위를 규정하였다. 동기운전 관련 국내 규정은 IEEE Standard 1547을 참조한 것으로 보인다.

표 4 동기화 관련 주파수, 전압, 위상각 범위 제한 기준

발전용량 합계 (kVA)	주파수 차 ( $\Delta f$ , Hz)	전압 차 ( $\Delta V$ , %)	위상각 차 ( $\Delta \theta$ , °)
0-500	0.3	10	20
> 500-1500	0.2	5	15
> 1500-10000	0.1	3	10

표 5 동기화 관련 기준 비교

구분	전압 변동 제한	동기화 파라미터 제한 기준
한국	± 4 %	표 4
미국	± 5 %	표 4
일본	± 10 %	-

### 고조파

국내의 경우 기준이 2가지가 있었는데, 신재생에너지원에 관련된 기준인 분산형전원 계통연계 기술기준(안)의 경우에는 IEEE Standard 1547과 그 내용이 같았다.

표 6 고조파 적정 왜형률 제한 비교

구분	종합 왜형률	각 차수 왜형률	비고
국내 기준	3% 이하 <sup>1)</sup>	-	154kV 이상 1.5%
	5% 이하 <sup>2)</sup>	표 7 참조	짝수 고조파는 홀수 고조파의 25%
미국 기준	5% 이하	표 7 참조	짝수 고조파는 홀수 고조파의 25%
일본 기준	5% 이하	3% 이하	

1) 한국전력공사 기본공급약관 시행세칙 2) 분산형전원 계통연계기술기준(안)

표 7 전류(I)에 대한 백분율로 나타낸 고조파전류 최대 왜형률<sup>3)</sup>

고조파 차수(출수)	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
백분율(%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

3) 발전설비를 제외한 국부 연계 계통의 1년 중 15분 최대 부하전류, 또는 (발전설비와 계통 연계점 사이의 변압기가 있을 경우 이 변압기를 통과하는) 발전설비 정격 전류용량 중 큰 값에 대한 고조파 전류의 비율이 위 표의 값 이하여야 한다. 짝수 고조파는 위의 각 구간에 홀수 고조파의 25% 이하로 한다.

### 플리커

기존의 국내기준인 한국전력공사 기본공급 약관 시행 세칙은 일본의 기준인 V10 방법을 사용하고 있으나, 새로운 국내기준안인 분산형전원 계통연계 기술기준(안)과 미국기준은 국제적인 추세인 플리커 가혹도 지수를 이용한 IEC 규격을 따르고 있다.

### 역률

역률에 관한 규정은 각 국가의 기준 모두 대동소이 하였다.

표 8 적정 전압 범위 비교

구분	수용가 수전점 역률	진상역률 허용	비고
한국	85%	불가	역조류 없는 경우 95%
미국	85%	불가	-
일본	85%	불가	역조류 없는 경우 95%

**직류유입방지**

일반기준의 경우에만 직류 유입 방지 기준을 규정하지 않고, 원칙적으로 방지하기 위한 변압기 설치를 규정하였다.

**표 9 직류 유입 방지 기준 비교**

구분	직류 유입 방지 기준	비고
한국	정격 최대 전류의 0.5%	-
미국	정격 최대 전류의 0.5%	-
일본	-	변압기 설치

**보호협조**

비정상 전압 및 주파수 발생 시 고장제거시간에 관한 내용은 국내 기준과 미국 기준에서만 규정(국내, 미국 기준 일치)하였다.

**표 10 비정상상태 전압 범위와 고장제거시간**

% 전압 범위	고장제거시간 <sup>4)</sup>
V<50	0.16
50≤V<88	2.00
110<V<120	1.00
V≥120	0.16

4) 분산형 전원≤30kW, 최대 고장제거시간, 분산형 전원>30kW, 초기 고장제거시간

**표 11 비정상상태 주파수 범위와 고장제거시간**

신재생에너지 용량	주파수 범위 (Hz)	고장제거시간 <sup>5)</sup>
≤ 30 kW	> 60.5	0.16
	< 59.3	0.16
> 30 kW	> 60.5	0.16
	< (59.8-57.0) (조정가능)	0.16 to 3.00 (조정가능)
	< 57.0	0.16

5) 분산형 전원≤30kW, 최대 고장제거시간, 분산형 전원>30kW, 초기 고장제거시간

설치해야 하는 보호기기의 경우 국내 기준과 일본 기준에서만 규정하였으며, 국내 기준의 경우가 더 세부적이었다. 국내 기준에 의해 필요한 계전기는 과전압계전기, 부족전압계전기, 과전류계전기, 지락과전류계전기, 과주파수계전기, 저주파수계전기, 단락방향계전기, 단락방향거리계전기, 전류차동계전기이다. 단 상황에 따라 위의 계전기 중에서 선택적으로 설치할 수 있다.

**단독운전**

단독운전의 발생 시 분산형 전원을 계통에서 분리해야 하는 시간이 미국의 경우 2초이나 국내 기준은 0.5초에서 1초이며, 설치해야 하는 보호기기의 경우 국내 기준과 일본 기준이 같았다.

**표 12 단독운전상태 방지를 위해 설치해야 하는 보호계전기**

사고 발생 지점	사고형태	보호계전기	
		역조류 없음	역조류 있음
전력 계통	계통사고 및 작동정전 등에 의한 단독운전상태	RPR, UFR 역충전 검출기능	OVR, UVR OFR, UFR 단독운전 검출기능

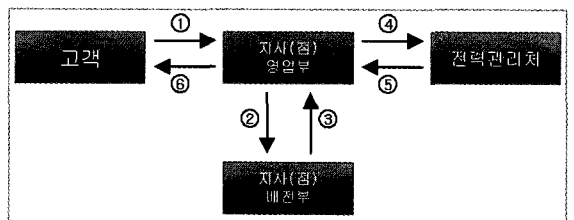
OVR: 과전압 계전기, UVR: 부족전압 계전기 OFR: 과주파수 계전기, UFR: 저주파수 계전기, RPR: 역전력계전기

**국, 내외 연계검토절차**

**국내의 연계검토절차**

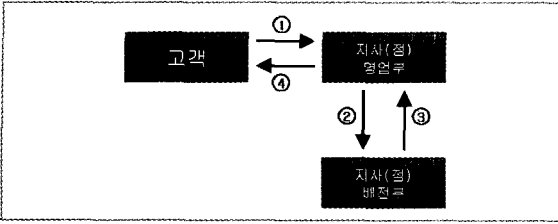
국내의 신재생에너지원의 계통연계 절차를 살펴보면, 소수력 및 풍력 등의 분산전원을 특고압 전력계통에 연계하는 경우는 아래의 그림1과 같은 절차를 따른다 (계통연계기준, 타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침, 1996).

100kW 미만의 분산형발전(풍력, 태양광 등)을 저압 배전계통에 연계하는 경우는 아래의 그림2와 같은 절차를 따른다 (계통연계기준, 저압배전계통 연계 업무절차서(잠정), 2002년). 그러나 현재는 저압 배전계통 연계 합의에 대한 업무처리절차가 미정립되어 특고압 연계 준용하며 저압계통 연계업무관련 병렬운전 합의 절차 간소화하고 있다.



① 병렬운전 요청 ② 합의서 검토의뢰 ③ 검토의견 통보 ④ 합의서 검토 및 체결요청 ⑤ 합의서 체결결과 통보 ⑥ 합의서 송부

그림 1 22.9kV 특고압 계통연계 절차



- ① 병렬운전 요청
- ② 합의서 검토의뢰
- ③ 합의서 검토 및 체결요청
- ④ 합의서 송부

그림 2 저압 계통연계 절차

### 국외의 연계검토절차

국외의 사례로는 미국 텍사스 공익사업위원회 (Public Utilities Commission of Texas : PUCT)에서 제정한 전기사업규칙 중 분산전원의 계통연계 관련 조항과, 분산전원 계통연계 협회가 메사추세스의 통신 및 에너지 성에 제안한 분산전원 계통연계 기준에서 분산전원 계통연계 절차에 대하여 조사하였다.

### 텍사스주의 연계절차

미국 텍사스 공익사업위원회(PUCT: Public Utilities Commission of Texas)에서 제정한 분산전원의 계통연계는 아래의 그림3~그림5와 같은 절차를 따른다 (PUCT RULE §25.211 - 분산전원 계통연계 규칙, PUCT RULE §25.212 - 분산전원 계통연계 기술 요구조건 규칙). 분산전원 계통연계에 대한 전력회사의 검토는 신청서를 접수하고 나서 해당 신청서를 처리하기 위하여 4주에서 6주의 기간을 가지며, 다음과 같은 사항을 제공하여야 한다.

- (1) 계통연계 승인
- (2) 지정된 분산전원 설계 변경 후 계통연계 승인
- (3) 송배전회사의 계통 변경에 대한 정당한 사유와 추정비용
- (4) 신청기각과 해당 사유

그림4와 5는 비망사형 계통과 망사형 2차 계통에 대하여, 분산전원 연계 요구조건이 어떻게 상호작용을 하고, 송배전회사는 분산전원 연계신청 처리 시 무엇

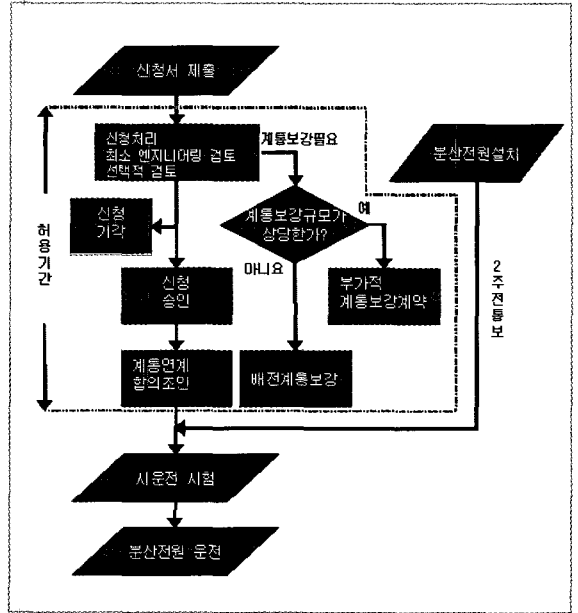


그림 3 텍사스주 계통연계 신청처리절차

을 고려해야 하는지를 보여준다. 신청서는 정확하게 요구사항을 기재하여 처리 시 시간지연이 생기지 않도록 하는 것이 중요하다.

검토 결과에 의한 "권고안"의 경우 신청자에게 비용을 청구할 수 있으며 권고안의 내용은 다음의 하나이다.

- (1) 신청 그대로의 승인
- (2) 신청의 승인을 위하여 필요한 분산전원 시스템 또는 배전계통에 대한 변경사항 제시
- (3) 특정 사유로 인한 신청의 기각

방사상선로 연계의 경우, 분산전원이 사전인증된 설비이고, 용량이 500kW이하, 역송전력이 선로부하의 15%이하, 분산전원의 단락용량이 최대단락용량의 25%이하인 경우 연계검토 없이 연계 승인이 되며, 망사상선로 연계의 경우, 연계하려는 분산전원이 사전인증된 설비이고, 용량이 선로부하의 25%이하이고 또는 20kW이하, 보호기능이 있고 용량이 수용가 최소부하보다 작은 경우 연계검토 없이 연계 승인이 된다.

추가적 기술적 검토사항을 살펴보면, (1) 유도발전기형 신재생에너지원의 연계의 경우 기동시 전압강하를 분석하여 3% 플리커 요구조건을 만족하는지 점검

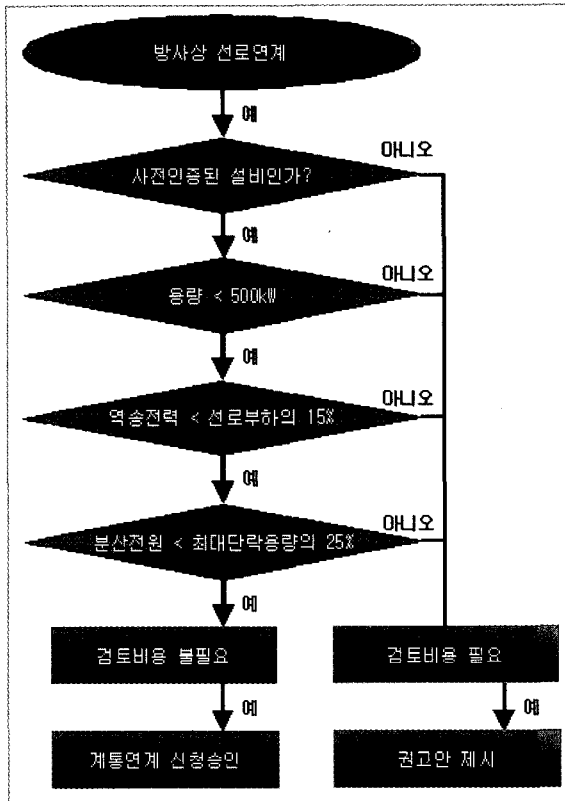


그림 4 방사상 선로연계 검토 절차

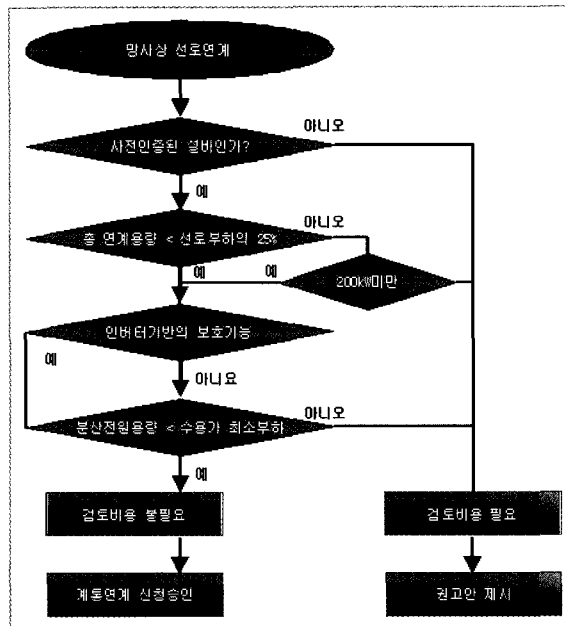


그림 5 망사상 선로연계 검토 절차

한다. (2) 3상4선식 선로의 연계의 경우, 신재생에너지원이 계통에서 이상 분리될 경우 상과전압 발생여부를 점검한다.

### 메사추세츠주의 연계절차

메사추세츠주에서는 신재생에너지원의 계통연계 신청에 대하여 전력회사는 다음의 세 가지의 검토 방식에 따라 처리한다.

- (1) 약식 검토 - 특정조건에서 방사형 또는 스폿 네트워크 시스템에 10kW 이하의 정격을 갖는 인가된 (qualified) 인버터기반의 시설의 경우이다. 검토 최대 일정은 15일이다.
- (2) 신속 검토 - 방사형 계통에서 사전에 규정된 요건을 만족하는 인증된(certified) 시설의 경우이다. 검토 최대 일정은 60일이다.
- (3) 표준 검토 - 방사형 및 스폿 네트워크 시스템에서 약식 또는 신속 검토의 자격이 안되는 모든 시설과 지역 네트워크 시스템에서의 모든 시설의 경우이다. 검토 최대 일정은 150일이다.

검토일정은 한 업체를 제외한 모든 기관이 동의 하였으며 검토와 관련된 신청수수료와 비용에 관한 명확한 규격을 포함하고 있다. 그림 6은 메사추세츠주의 계통연계 절차에 대한 흐름도를 나타내었고, 그림 7은 방사형 선로에 대한 계통연계 절차에 대한 흐름도를 나타내었다.

대체에너지전원의 계통연계 신청을 받고 이에 대한 기술적 검토를 수행할 때, 각 단계에서 검토해야할 사항을 그림 8에 나타내었다. 텍사스의 경우와 마찬가지로 추가적 기술적 검토사항은 유도발전기형 대체에너지원의 3상 4선식 선로에 대하여 규정하고 있다. (1) 유도발전기형 대체에너지원 : 기동 시 전압강하 점검하여 플리커 요구조건 만족 여부 검토한다. (2) 3상 4선식 선로 연계 : 다음의 조건에 해당되지 않는 경우, 추가적인 검토 필요로 한다. 조건으로는 단상으로 연계된 경우, 대체에너지전원 용량이 피더 용량에 비해

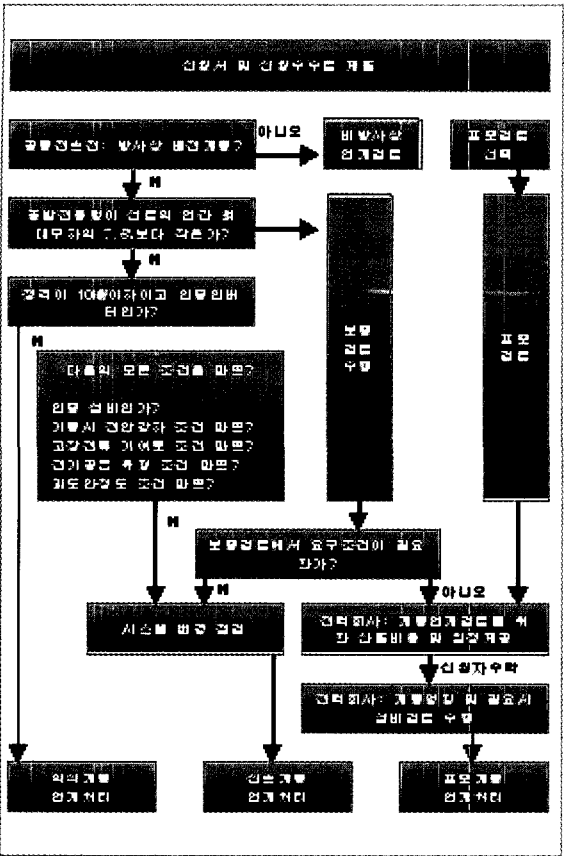


그림 6 계통연계 절차: 배사추세스주

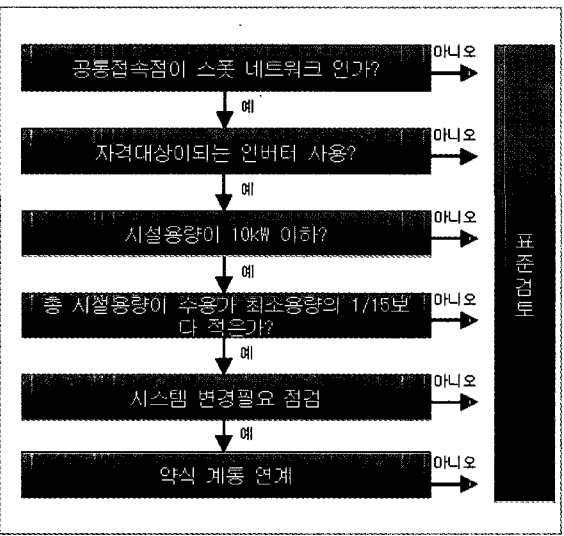


그림 7 스팟 네트워크 연계절차

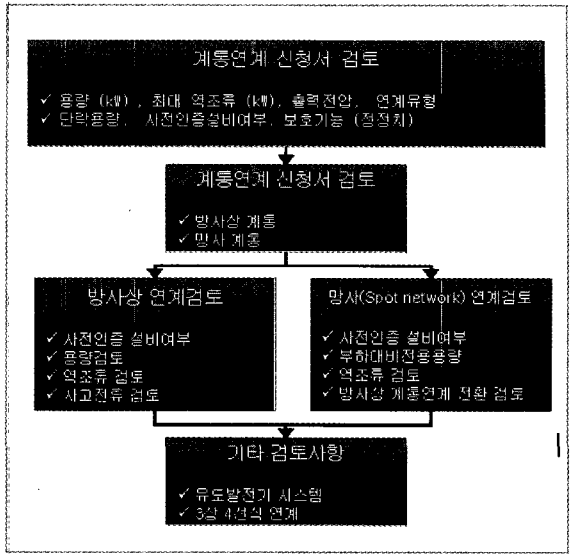


그림 8 계통연계 신청처리 검토 절차

상대적으로 작은 경우, 대체에너지전원이 전압조절기능을 갖춘 경우이다.

### 결론

지금까지 신재생에너지의 보급은 국가 정책적인 측면, 에너지 자원의 수급 측면, 경제성 측면에서 주로 고려되어 지고 추진되어 왔다. 전 세계적으로 신재생에너지의 보급률은 점점 증가되고 있는 추세이며, 이의 연계용량이 증가할수록 전력계통 연계에 관한 기술적 측면 및 연계절차에 관한 기술적 정립이 필요하다. 본고에서는 국내의 계통연계 기준 및 계통연계절차를 비교 분석하여 간략히 정리하였다.

국내의 신재생에너지 연계기준은 일본과 미국을 비교해볼 때, 체계적으로 모든 항목이 잘 정의되어 있었다. 그러나 국내의 신재생에너지 계통연계절차는 미국의 사례와 비교했을 때, 정확한 절차의 정립 및 평가 프로그램 개발이 필요한 것으로 보인다.

국내외의 계통연계 절차를 비교, 분석한 결과를 미국 사례의 경우 공통적으로 적용하는 항목을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 국외의 경우 분산전원이 계통연계를 위한 최소한의 기술적 요건을 제시하고 있다.
  - 인증설비 여부
  - 분산전원의 연계 선로의 유형 여부: 방사형, 망사형
  - 분산전원의 용량에 대한 약식 검토
    - : 피더부하에 대한 비율
    - : 단락용량에 대한 비율
    - : 수용가 구내 부하에 대한 비율
- (2) 최소한의 기술적 요건을 벗어나는 경우의 분산전원이 연계되는 경우에는 별도의 계통연계 검토를 하여야한다. 이 경우 검토연계 비용을 수용가에서 청구할 수 있다.
- (3) 약식검토 및 표준검토에 소요되는 일수에 대한 명확한 정의 및 절차가 정립되어있다.
- (4) 기타 검토 사항
  - 유도발전기형 신재생에너지원
    - : 순간전압강하 및 플리커에 대한 검토 등
  - 3상 4선식 선로에 대한 연계
    - : 단상 연계에 대한 검토 등

따라서 국내의 경우도 신재생에너지원의 정확한 연계검토 절차와 인정설비(Qualified facilities)에 대한 기준이 마련될 필요가 있다. 더불어 추가적인 연계검토가 필요한 경우, 추가연계검토에 대한 정확한 평가항목과 기준, 소요일 및 검토비용의 대한 규정이 필요하다고 보인다.

### 참고문헌

- [1] 심은보, 분산형전원 저압배전선로 연계기준(안), 전기의 세계, 대한전기학회, 2005년 3월
- [2] 윤기갑, 분산형전원 계통연계 기술기준(안), 전기의 세계, 대한전기학회, 2005년 3월
- [3] IEEE Std 1547TM, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE, July, 2003
- [4] 일본 계통연계 기술요건 가이드라인, 일본 통상산업성 에너지청, 1998년 3월
- [5] 대체에너지 발전시스템 계통연계를 위한 기술지침 수립 (최종보고서), 산업자원부, 2004년 6월