

3020신재생에너지 정책의 성공적 달성을 위한 전력계통 안정화 핵심기술 개발 방향

Key Technologies for Stabilization of Power System for Successful Achievement of 3020 Renewable Energy Policy

김 헌 태* · 장 성 수†
(Hun-Tae Kim · Seong-Su Jhang)

Abstract - Recently, because Korean government's 3020 renewable energy policy is implemented, renewable energy sources are connected in the power system. The power quality of the Korean power system has been maintained at the highest level in the world, but it will become difficult to maintain the highest level of power quality as the proportion of renewable energy source, which is characterized by severe output fluctuation and difficult control, increases. For those reasons, this paper analyzed Key technologies for stabilization of power system.

Key Words : 3020 renewable energy policy, Power system, Stabilization

1. 서 론

우리나라의 전력품질은 세계최고 수준이다. 이는 안정적인 출력을 기반으로 한 석탄화력, 원자력 등의 기저발전과 함께 전력 수요 변동성에 유동적으로 대처할 수 있는 속응제어가 가능한 발전기의 조화로운 운용에 바탕을 두고 있다.

또한, 전력의 품질을 저하시키는 전동기, 반도체 등의 유도성, 비선형 부하에 대해서는 이를 효과적으로 억제할 수 있도록 FACTS(Flexible AC Transmission System) 등의 전력전자기기 기반의 제어 기법들이 연구되어 왔고 그 기술들이 상용화된 결과, 많은 연구자들과 엔지니어들의 노력으로 눈부신 성과인 세계 최고수준의 전력품질이라는 결실을 맺게 할 수 있었다.

앞서 서술한 기저발전과는 달리 풍력, 태양광 발전 등의 신재생발전은 날씨 및 기후 등 자연환경에 영향을 받는 출력의 변동성이 심한 비선형적인 발전원이다. 이러한 가변적인 발전특성은 계통연계시 계통에 큰 영향을 줄 수 있으나 현재는 계통에서 수급되고 있는 총 전력량 중 신재생발전의 비중이 낮기 때문에 신재생발전이 전력계통에 미치는 영향은 미미하다. 하지만 정부가 최근 발표한 신재생에너지 3020정책은 전력수요의 20%를 신재생발전기가 공급하는 것을 목표로 제시되어 있기 때문에 향후 신재생에너지 발전량이 이 목표에 근접하게 된다면 그 영향력은 무시할 수 없게 된다. 또한, 그 용량은 약 62.6GW(태양광 33GW,

풍력 15.7GW, 기타 13.9GW)가 필요할 것이라고 전문기관은 내다봤다.

신재생에너지원으로써 주로 사용되는 태양광 및 풍력발전은 출력예측 및 제어가 기존의 계통과 연계된 발전기들과는 다르기 때문에 계통 연계를 고려한다면 수급운영이 지금보다 복잡해지고, 계통관성력이 거의 없어 송전선로 사고 등 계통에 이상 발생 시 계통 회복력이 낮아진다. 특히 우리나라는 분단국가라는 상황과 지리적 특성으로 인하여 독립형 전력계통망을 이루고 있기 때문에 변동성에 대하여 계통연계를 통해 이를 완충시켜줄 수 있는 국가들이 없어 문제가 발생할 경우에는 자체적으로 그 문제를 해결해야 한다.

국내 전력계통망과 비교할 수 있는 유럽과 북미지역의 계통은 타국가간 전력망이 연계되어 있고 우리나라에 비해 에너지원도 풍부하며(수력, 양수, 화력 등의 출력) 시간에 따른 국가별 전력 수요량이 다르기 때문에 상호 보완적인 관계를 활용하여 전력계통의 수용성 및 유연성을 국내의 실정보다 더 좋게 향상시킬 수 있었다.

전력계통의 신뢰도에 큰 영향을 주는 또 다른 요소 중 한 가지는 한정된 전력량을 공급할 수 있는 송전선로와 깊은 연관이 있다. 우리는 흔히 송전선로를 전기에너지가 흐르는 길이라고 일컫는다. 송전선로도 길과 마찬가지로 고장이 발생할 경우 전기에너지가 흐르는 길이 막히거나 다른 길로 우회하여 흘러야하나 이 길도 과부하로 인해 전기에너지가 흐를 수 없을 때는 해당 발전기를 정지시키므로 전력계통의 운영여건이 악화될 수 있다. 그래서 4차 산업혁명의 시기와 맞물려 전력 수요가 꾸준히 증가하고 있는 추세에 따라 지속적으로 전력계통의 뼈대와 같은 송전선로의 보강이 필요하다. 송전선로 확대 등의 전력계통망 보강 및 운영방법 등의 개선을 통해 안정적 전력공급 및 계통신뢰도를 유지

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, KwangWoon University, Korea.
E-mail : jss9459@kw.ac.kr

* Dept. of Ministry of Trade, Industry and Energy Notification, Korea.

Received : December 27, 2017; Accepted : January 24, 2018

해야 한다. 신재생에너지 보급률이 확대됨에 따라 계통 안정성이 저하되고 있는 상황에 처한 국가들 또한 위와 같은 방법으로 전력계통 불안전 요인에 대해 다각적인 해결방안 강구를 통해 전력계통을 운영하며 계통수용성을 확대해 왔다. 여기서는 후쿠시마 원전사고 후 신재생에너지 보급을 확대한 일본, 신재생에너지 보급률이 높은 유럽과 북미에서 전력계통의 안정적 운영 전략을 만들고 시행한 사례를 고찰해 보고, 이를 토대로 우리나라의 신재생에너지 3020정책 실현을 위한 전력계통 안정화 전략 및 기술 개발 방향에 대해 논하여 보기로 한다.

2. 신재생발전기 보급 확대 시 전력계통의 영향

대표적으로 상용화되고 있는 신재생발전원인 태양광, 풍력발전기는 일조량, 풍속 등 기후변화에 따라 다음 그림 1, 2와 같이 출력이 가변적인 변동성 전원이자. 출력변동의 정도는 설비규모에 따라 다르나 이러한 변동성 전원에 의해 전력계통에 미치는 영향(전기적 현상)을 7가지 유형으로 구분하여 다음 그림1, 2와 같이 정리하였다.

2.1 전력수급의 불균형

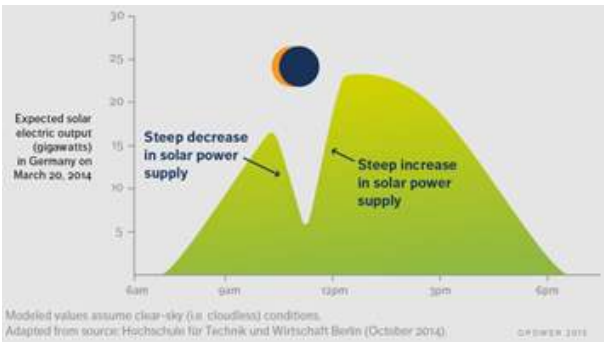


그림 1 독일, 개기일식에 의한 태양광 발전량
Fig. 1 In Germany, Solar power generation by solar eclipse

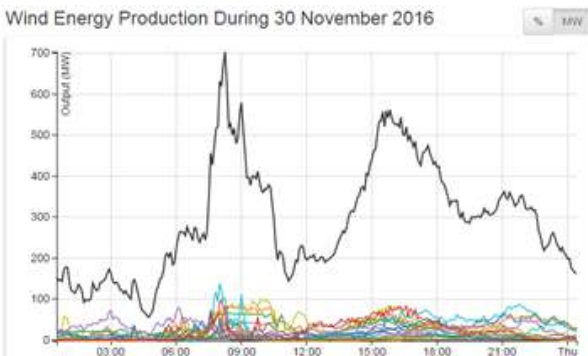


그림 2 남호주, 풍력발전기 변동성
Fig. 2 South Australia, Wind power generation fluctuation

전력거래소의 단기, 중기, 장기적 수요예측을 기반으로 하여 민간 발전사를 포함한 국내의 발전사업자들은 계획된 발전량에 응하는 전력을 생산하여 사용자에게 공급한다. 그러나 그림 3과 같이 전력수요가 적은 계절인 봄과 가을철의 주말 야간시간에 신재생발전 전원의 출력이 수요를 초과할 경우 잉여전력이 발생할 수 있다. 수요가 고정된 상태에서 신재생출력이 증가하면 신재생발전기의 출력증가분 만큼 기저발전기의 출력을 반대로 감소시켜야 수요와 공급의 균형이 유지된다. 신재생출력이 계속 증가할 경우 기저발전기의 출력은 더욱 감소하여 최소출력 한계상태로 운전하게 될 것이다. 그러나 신재생발전기의 출력이 더 상승하면 기저발전기는 더 이상 출력을 감소시킬 수 없기 때문에 신재생발전기의 출력을 강제로 제한할 수밖에 없다. 이는 기저발전기의 출력을 감소시킬 재원이 더 이상 남아있지 않기 때문이다.

2.2 주파수 변동

계통운영 시 전력의 수요와 공급이 균형을 이루면 주파수는

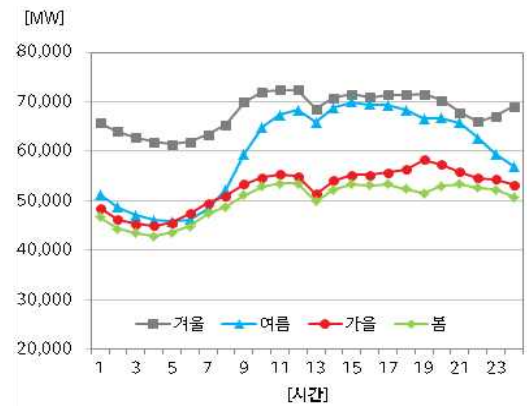


그림 3 우리나라의 계절별 전력 수요패턴
Fig. 3 Seasonal electricity demand pattern in Korea

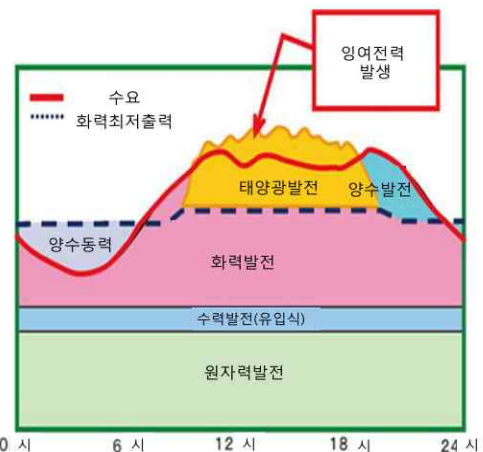


그림 4 일본의 시간대별 전력 수요
Fig. 4 Japanese electricity demand over time

정격 주파수인 60Hz를 유지하나, 공급이 수요를 초과할 경우 주파수는 60Hz를 초과하고, 반대로 공급이 수요보다 낮으면 60Hz보

다 낮아진다. 상기 그림 4와 같이 12시경 잉여전력이 전력계통에 공급될 때 주파수는 상승한다. 예를 들어 풍력발전기는 기상에 의해 짧은 주기로 큰 폭의 출력 변동이 발생하고 기저 발전기들이 변동성을 흡수할 수 없을 경우 주파수도 변동된다.

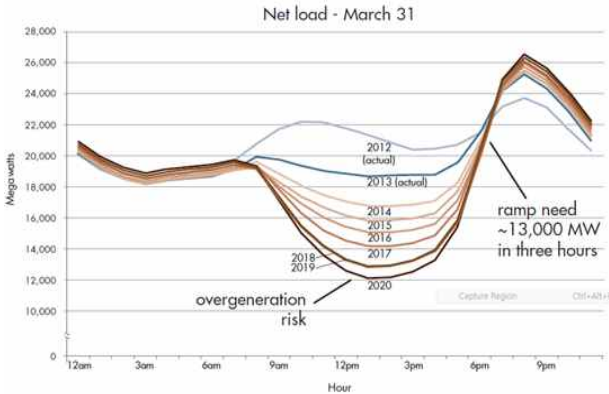


그림 5 美 캘리포니아 주 봄철 순수 부하(Duck Curve)
Fig. 5 Pure load in Spring, California, USA(Duck Curve)

2.3 배전계통의 전압 상승

다음 그림 7은 계통에 신재생에너지원인 태양광발전이 인입되었을 때 그 영향으로 인하여 배전계통의 전압이 상승할 수 있음을 보여준다. 이러한 전압 상승이 규정치를 벗어난 일정 수준을 초과할 경우에는 계통 내의 전기기기의 절연열화, 고장 등을 유발할 수 있다. 따라서 신재생에너지를 생산하는 발전사로부터 신재생에너지의 계통접속 제의가 있을 경우 배전계통에서의 전압상승 여부의 적절성을 사전 검토하여 접속허용 및 접속량 제한 등의 조치를 취하게 된다.

2.4 신재생 발전기의 단독운전방지장치에 의한 전력수급 감소 문제

계통연계형 신재생발전기(분산형 전원)는 전력계통 측에서 사고 또는 이상 현상이 발생하면 즉시 전력공급을 중단한다. 하지만 이때 신재생발전기를 계속 운전시킬 경우에는 계통에 전력이 계속 공급되어 계통 복구 작업 및 보수 시 감전사고, 설비손상, 인버터 고장 등의 문제가 발생하므로 신재생발전기도 계통에서 분리해야 한다. 계통으로부터 신재생에너지원을 차단하기 위해 신재생에너지 발전기 측에는 단독운전방지 장치가 설치되어 있어 단독운전 여부를 검출하여 위의 문제를 사전에 방지할 수 있다.

그 다음으로는 이 상황에 대한 반대의 경우로서 신재생발전기가 계통으로부터 분리됨으로서 문제가 되는 경우에 대해 살펴보고자 한다. 이는 순시전압 강하 등의 영향으로 의도치 않은 단독운전방지장치의 동작에 의해 신재생발전기로부터의 전원공급이 차단되어 전력 수급에 차질이 발생하는 경우이다. 실제 사례로서 2007년 일본 카고 지진으로 관동 일대에서 주파수가 0.9Hz까지

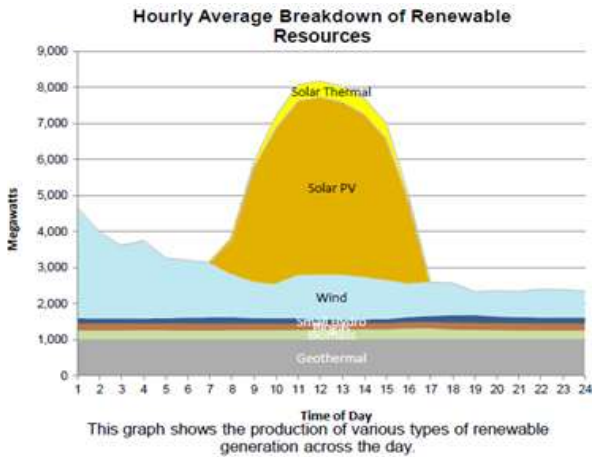


그림 6 시간대별 신재생 출력 특성
Fig. 6 Output characteristics of renewable energy over time

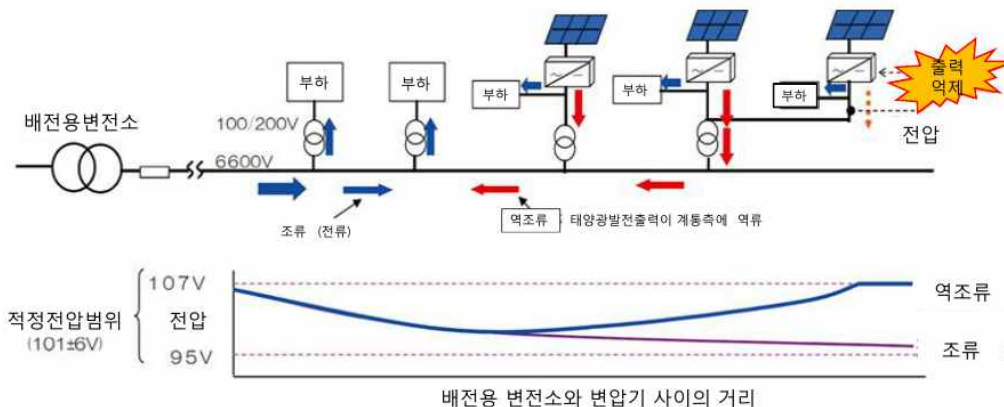


그림 7 시간대별 신재생 출력 특성신재생발전기에 의한 선로 전압상승
Fig. 7 Output characteristics of renewable energy over time

하락했다. 이는 군마현 오타시에서 발전하고 있던 태양광 발전기가 대거 계통으로부터 분리되었기 때문인데 만일 단독운전방지장치에 의해 광역적으로 신재생발전기가 일제히 계통으로부터 분리되었을 경우 광역정전 위험성이 증가하는 문제가 발생할 수 있다.

2.5 전력계통 관성력 약화

전력계통망에서 사고 또는 이상징후가 발생하여 신재생발전기가 계통으로부터 분리될 경우, 수급 불균형에 의한 주파수 및 전압 변동이 발생한다. 대규모 풍력발전단지가 많은 덴마크, 독일 등의 국가에서는 이와 같은 현상으로 계통의 안정성이 크게 영향을 받고 있다.

화력발전 또는 수력발전은 터빈의 기계적 회전력으로 발전하기 때문에 이 회전력에 의해 관성력이 존재하는 것은 물리의 법칙이다. 그러나, 신재생발전기는 전력전자기인 인버터를 통해 계통에 전력을 공급하는 비동기전원으로서 관성력이 존재하지 않는다. 이는 계통에서 사고나 이상 발생으로 인하여 수급불균형이 발생하여 주파수 또는 전압에 변동이 발생할 경우 즉각적이고 수초이내의 짧은 시간동안 변동성에 저항할 수 있는 물리적 힘이 약해져서 안정적인 전력망 유지가 어려울 수 있다. 즉 계통여건에 맞는 적정규모의 관성력이 항상 존재해야 한다는 뜻이다. 따라서 신재생보급 확대에 계통관성력 유지문제가 대두될 것이다.

2.6 고장전류 증가 및 공진

계통에 사고(단락사고)가 발생할 경우 교류 발전설비인 동기발전기 및 유도발전기, 보조 여자발전기에 단락전류가 공급되고, 동시에 인버터를 통해서도 단락전류가 공급되기 때문에(인버터 보호기능이 작동하는 경우) 기설 차단기의 정격 차단전류(단락용량) 초과가 발생할 수 있다. 한편, 신재생용 인버터가 많이 보급될 경우 R-L-C 공진현상에 의해 계통의 교란도 이미 해외계통에서 나타나고 있다.

2.7 전력수급의 불균형

신재생발전기는 계통에 전력을 공급할 뿐만 아니라 자체적으로 소내부하(계통에서 수전하지 아니함)에 전력을 공급하는 경우가 상당히 많다. 이러한 상황 속에서 출력이 가변적인 신재생발전의 특성상 발전단지 단위의 대규모로 발전량이 감소하게 되면 소내부하는 계통으로부터 수전 받도록 되어있다. 이 때 예측된 수요에 비해 소내부하에서 수급받는 전력량만큼 대응하지 못할 경우 불안정한 전력수급에 의해 주파수 저하 등의 문제가 발생할 수 있다.

3. 전력계통 안정화 기술개발 방향

본 장에서는 신재생발전기 보급 확대에 따른 신재생발전기가 전력계통에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 세부 기술개발 방

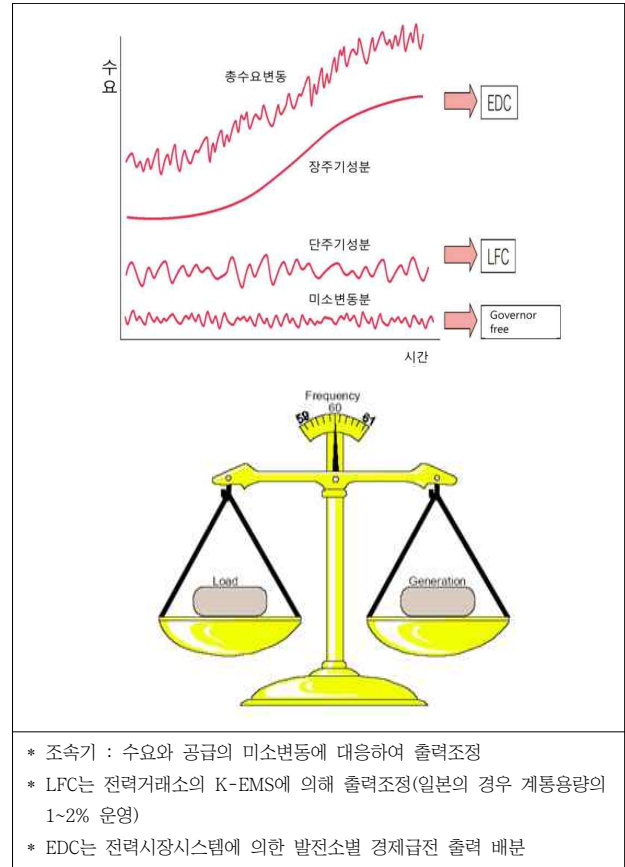


그림 8 수요 변동주기에 따른 운전제어

Fig. 8 Minimum output of thermal, hydroelectric base load power plant

향을 다음과 같이 제시한다.

3.1 수, 화력 발전기의 출력조정 기술

수요 변동은 미소 변동분, 단주기 변동분, 장주기 변동분 등 그림 8과 같이 3가지로 분류하며, 이들 변동 특성별로 수력, 화력 발전기의 조속기(GF), 주파수 제어(LFC), 경제급전(EDC)을 통해 발전기의 출력을 조정하여 수요와 공급의 균형을 유지한다.

신재생발전기의 변동성에 대응하기 위한 가장 유용한 수단은 수력과 양수발전기, 다른 나라와의 계통연계 방법이다. 실제 유럽 등 선진국에서는 국가간 전력망이 연계되어 있고, 노르웨이(전체 발전력의 95%를 수력발전이 부담) 등 수력발전 용량이 큰 나라에서는 신재생발전용량이 큰 국가(덴마크의 경우 풍력발전의 비중은 20%를 차지)의 신재생발전기의 변동성을 어느 정도는 흡수할 수 있다. 그러나 우리나라는 수력과 양수발전기의 보급률이 낮아 신재생발전기의 변동성 흡수에 한계가 있어 양수발전기의 조정력에 비해 변동성에 대응할 수 있는 능력은 낮지만 화력발전을 적극 활용한다면 신재생에너지의 변동분에 충분히 대응할 수 있다. 그림 1과 같이 독일의 일식대응에서 시간별 신재생발전기

의 출력변화추이는 정확히 예상해야 한다. 우리나라도 2030년 이후 맑은 날에서 일식이 진행될 경우 독일의 사례와 같이 시간대별 신재생발전기의 출력변동 그래프를 매우 정확히 그려야 적정시간에 적정량의 수화력 발전기를 계통에 투입할 수 있을 것이다. 이와 관련된 기술개발 요소는 신재생출력 및 부하예측(1시간마다), 수화력 발전기의 투입 적정 운전량(예비력) 예측 프로그램(S/W) 개발 등을 예로 들 수 있다.

표 1 에너지 원별 설비용량 기준의 비중

Table 1 Battery characteristics

구분	원자력	석탄	유류	LNG	양수	신재생	기준
설비용량(%)	20.9	29.6	3.8	32.7	4.3	8.7	11천만 KW

전력수급에 있어서 변동분에 대한 대응 시간을 고려할 때 발전기들의 기동시간 또한 고려를 해야 한다. 일반적으로 가스복합발전기의 기동시간은 1시간 정도 소요되며, 가스터빈의 기동시간은 약 20분 정도다. 우리나라는 주파수 조정을 위해 최대 6%의 여유를 두고 기저발전기를 운전하며, 발전기 출력 조정속도를 다음 표 2와 같이 정하여 운전한다.

표 2 국내 발전기 출력조정 기준

Table 2 Korean power plant generation adjustment standard

구분	석탄발전기	중유발전기	가스발전기
경사 변동폭	정격용량의 20% 이상	정격용량의 20% 이상	-
발전기 출력 변동폭	정격용량의 3%/분 이상	정격용량의 4.5%/분 이상	정격용량의 5%/분 이상

일본의 경우에는 단주기 변동성에 대응하기 위해서 항상 화력발전기의 출력에 대한 여유분을 두어(약 10~20% 정도) 운전하며, 출력의 변동속도(출력변화율)도 약 1~10%/분으로 운전하고 있다. 가스터빈의 출력변동 폭은 20%가량 되어 신재생발전기 대응용으로 활용하고 있다. 우리나라도 신재생의 변동성에 대응하기 위한 우리나라 기저발전기의 출력 조정 범위 확대 및 조정속도를 향상 시킬 기술개발이 필요하다. 또한 선진국은 발전출력을 10%에서 90%로 올리는데 불과 1분정도로 짧고 수백 MW급의 가스엔진발전기를 개발하였다. 우리나라도 신재생 변동성 대응 가스엔진발전기 개발이 필요하다. 이와 함께 휴일, 심야시간 및 봄과 가을철 등 전력소비가 적은 시간대에는 화력발전기가 정비 중이거나 정지된 상태이므로 계통병입량이 적어 출력 조정 재원이 감소한다. 이에 따라서 그림 9와 같이 태양광과 풍력발전의 출력 변동에 대비한 수력, 화력발전기의 최저출력 한계 값을 더욱 낮추어 출력상승 여유량을 증가시켜 운전할 수 있는 기술개발도 필요하다.

3.2 신재생발전기의 출력조정 기술

풍력발전기는 출력변동 폭이 큰 전원이자. 갑자기 무풍에서 강

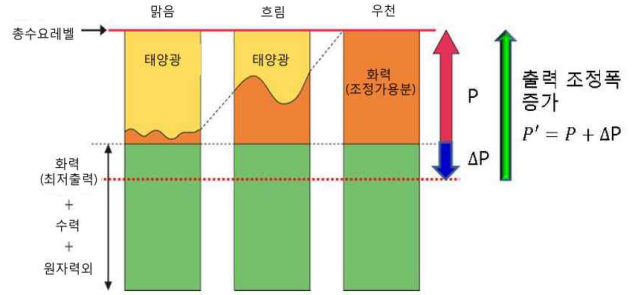


그림 9 수화력 기저발전기의 최저출력

Fig. 9 Minimum output of thermal, hydroelectric base load power plant

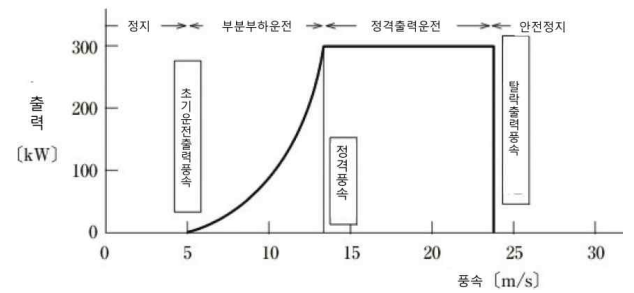


그림 10 풍력발전의 출력 특성 (파워커브)의 예

Fig. 10 Power curve of wind power generator

풍이 불거나, 그 반대의 경우 풍력의 출력은 급변동하기 마련이다. 또한 그림 10과 같이 강풍이 Cut out이상으로 출력이 최대치에서 "0"으로 변동한다.

풍력발전기의 출력조정 방법은 날개의 피치 각 조정, 풍차 회전력의 가변속 조정(DFIG : Doubly Fed Induction Generator), 전체 컨버터로 출력을 조정하는 방식이 있다. 이들 방식은 선진국에서는 이미 시행되고 있다. 한편, 주파수 변동에 대응하기 위해 화력 발전기와 같이 풍력발전기도 예비력을 남겨놓고 운전하는 방법이 있다. 즉, 풍력발전기를 MPPT(최대출력 추종)의 90% 출력으로 운전하고 나머지 10%를 출력증가분으로 활용할 수 있는 방법이 있다. 이 방법이 효과적으로 적용되기 위해서는 90%에서 100%로 신속히 증발하는 제어시스템을 갖추어야 한다(그림 11에서 C점 → B점 이동제어를 통해 신속히 출력상승 효과 얻음). 이와 같이 신재생발전기가 변동성 전원이 아니라 예비력 개념으로 계통의 안정성에 기여하는 전원으로 운전할 수 있는 제어기술이 필요하다. 이를 위해 발전기의 출력 여유분을 갖고 출력을 신속히 조정할 수 있는 기술개발과 실증연구가 필요하다.

3.3 풍력발전기 회전력 이용 기술

태양광은 인버터를 통해 계통에 연계하고, 풍력발전기는 유도발전기 또는 인버터를 통해 계통에 병입 된다. 이 방식은 기저발전기보다 관성력이 부족하여 과도안정도의 문제가 발생할 수 있

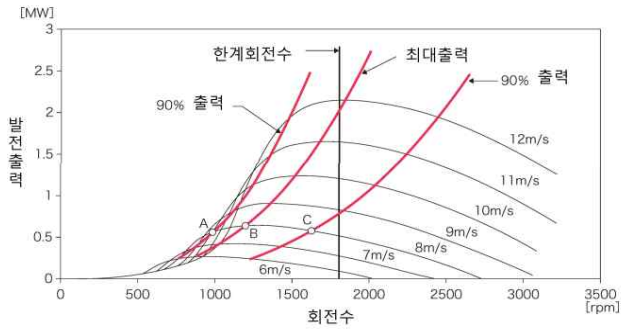
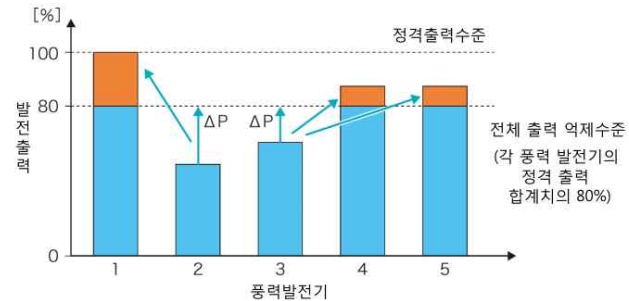


그림 11 DFIG방식 풍력발전기의 발전 출력, 회전수 특성
 Fig. 11 Revolutions per minute and output of wind power generator with DFIG method



※ 2,3호기의 출력 제한을 밀도는 전력분을 다른 호기의 출력으로 보상이여 전체 출력을 제한

그림 12 풍력발전기의 출력제어
 Fig. 12 Output control of wind power generator

다. 뿐만 아니라 제주와 육지간 연계된 직류송전의 경우도 과도 안정도의 문제가 야기될 수 있다. 실제 아일랜드-영국간 연계선로에서 최대 발전력이 150만kw임에도 불구하고 2루프의 직류송전(50만kw×2)될 뿐이다. 정상적인 수급균형 뿐만 아니라 동기화 토크와 관성의 부족이 표면화되고, TSO에서는 SNSP(System Non-Synchronous Penetration, 시스템 비동기 침투)이라고 하는 지표를 도입하여 동기화 토크와 관성을 상시 감시/평가하는 시스템을 도입하고 있다. 우리나라도 제주뿐만 아니라, 서남해 풍력발전단지 연계선로, 그 외에 여타 선로에서 직류송전 방식이 검토되고 있어 일정 수준이상의 관성력 유지 여부를 감시, 평가하는 지표와 시스템 개발이 필요하다. 풍력발전기의 회전력 특성을 이용하는 방안이 있다. 풍력발전기의 DFIG방식에서 주파수와 발전기의 슬립을 측정하여 여자제어에 의해 동기화 토크 및 댐핑 토크를 발생시키는 방안을 검토해야 한다.

3.4 풍력발전기단지 단위의 통합제어

풍력발전기 각각을 제어하기 보다는 계통 연계지점에서의 풍력발전단지 총량을 제어하는 피크 컨트롤 방식을 시행하여 버려지는 각 풍력발전기의 발전 전력을 효과적으로 줄일 수 있다.

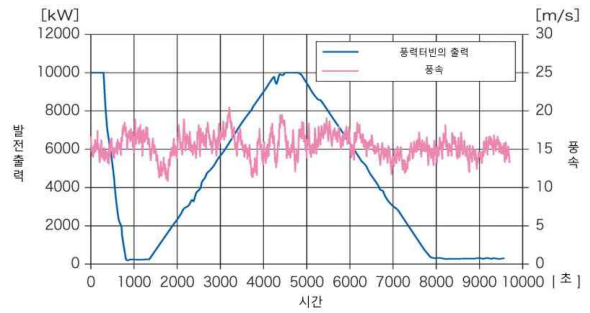


그림 13 일본의 풍력발전기 출력제어 사례
 Fig. 13 Case of wind power generator control in Japan

일본에서는 아래 그림 12와 같이 전체 출력의 80%인 총량제어를 시행하고 있다. 우리나라가 이 방법을 도입하기 위해서는 태양광 및 풍력단지별 총량 제어량을 설정하는 기준을 마련하고, 관련 제어시스템을 개발해야 할 것이다.

3.5 풍력발전기 장주기 제어

풍력발전기 제어를 통해 장주기 변동성에 대해서도 대응이 가능하다. 일본은 아래의 그림 13과 같이 풍력발전기의 정격 출력을 얻을 수 있는 15m/sec전후에서 정격출력의 2%, 100%를 자유롭게 제어가 가능함을 구현한 바 있다. 즉, 단주기 변동성 제어는 “2”에서 설명하였고, 장주기 변동에 대해서도 제어가 가능한 방향으로 제어가 필요하다. 이렇게 장-단주기 변동성 대응이 가능한 예비력 개념으로 풍력발전기 운전이 가능한 전원으로 운영될 수 있다. 물론, 날씨에 영향을 받기 때문에 안정적인 예비력 운영에 한계가 있다. 우리나라도 장-단기 변동성 대응 예비력 개념의 신재생제어를 위한 기술개발 및 실증연구가 필요하다.

3.6 전압안정화 기술

FACTS(Flexible AC Transmission System)설비는 전력전자기술을 이용한 것이며 전압제어용과 조류제어용이 있고, 신재생발전기의 출력변동에 의해 발생하는 전압변동성을 고속으로 안정화시킬 수 있다. 우리나라에서도 적용되고 있으나, 성능개선 및 비용절감 등을 위한 국산화 기술개발이 필요하다.

3.7 에너지저장장치(ESS, Energy Storage System) 기술

에너지저장장치(ESS)는 에너지를 저장하여 필요 시 이를 방전하여 사용할 수 있는 장치이다. ESS의 기능은 신재생발전기의 출력변동 흡수, 전력조류 및 계통 안정화를 위한 주파수 제어(단주기 제어), 출력 평활화(장주기 제어), V2G, G2V등에 폭넓게 적용될 수 있다.

ESS의 종류는 매우 다양하다. 그 종류로는 배터리를 이용한 BESS(Battery Energy Storage System)인 납축전지, NaS전지, 니켈수소전지, 리튬이온 전지, 레독스 흐름전지 등이 존재하며 비배터리 ESS는 압축공기(CAES), 수소저장장치, SMES(초전도기술)

표 3 배터리별 특징

Table 3 Battery characteristics

구분 \ 전지	납	니켈 카드뮴	니켈수소	리튬이온	리튬 폴리머	금속공기	슈퍼 커패시터
Cell 전압(V)	1.2	1.2	1.2	3.6	3.6	1.2	2~4
장점	넓은 작동온도	급속방전	안정성	높은 에너지 밀도			긴 수명 고효율
단점	무겁다	메모리 효과	저전압 온도 약함	안정성취약	LiB 대비 안정성	수분에 취약	낮은 에너지밀도
에너지밀도 (Wh/kg)	30~40	60	80	150~170		350	15~40
가격	저가	중가	중가	고가			중고가

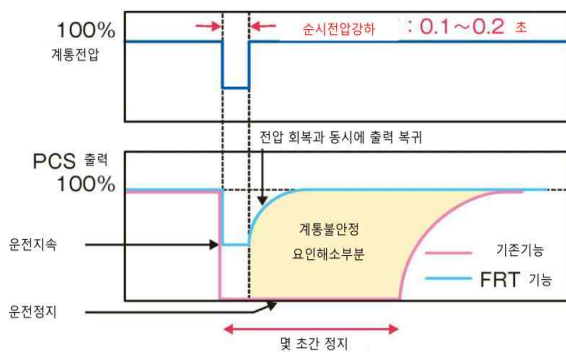


그림 14 FRT 제어 및 전압회복시간

Fig. 14 FRT control and voltage recovery time

등이 있다. 우리나라에서는 리튬이온배터리의 저장기술이 다른 방식에 비해 넓게 보급되고 있다. 이는 가격, 안정성 측면에서의 이점은 다소 적지만 전기저장 밀도가 높기 때문이다. 계통에 적용되는 ESS는 대용량이 필요하므로 용량대비 낮은 가격과 안전성이 보장된 계통안정화용 ESS개발이 새로운 방식, 새로운 소재 형태의 것이 필요하다.

3.8 파워컨디셔너(PCS) 제어 기술

앞서 설명한 바와 같이 선로에서 순시 전압강하 발생 또는 차단기 재폐로 동작 등으로 순시전압강하가 발생하면 단독운전방지장치에 의해 신재생발전기가 계통에서 분리된다. 이로 인해 수급 불균형이 발생하는데 이를 방지하기 위한 기술개발이 필요하다. 즉, FRT(Fault Ride Through)기술을 적용하여 해당 선로에서 고장이 복구됨과 동시에 신재생발전기를 최대한 신속히 계통에 재병입시켜 신재생에너지의 계통 분리로 인해 발생하는 문제점을 방지할 수 있다. 그림 14에서 확인할 수 있듯이 FRT제어를 사용하는 것이 PCS를 사용하는 것보다 전압 회복시간이 매우 빠름을 알 수 있다. 그러나 FRT는 계통 측과 여타 신재생발전기 측간의 충돌 없이 작동하기 위해서는 표준이 필요하다. 미국의 NERC, 유럽의 ENTSO-E, 일본의 JESC 등 전력계통 감독기관은 FRT관련 표

준화 추진을 하고 있으며 일부는 이미 적용되고 있다.

3.9 신재생발전기를 고려한 수급운영 컨트롤 타워

2030년도에 신재생발전기가 전력수요의 20%를 차지할 경우 예비력 확대, 수, 화력 기저발전기의 운영방법, 계통 고장 시 대응방법, 수요뿐만 아니라 공급 측의 발전량 예측 등이 지금보다 매우 복잡해질 것이다. 스페인의 REE사의 TSO인 CECRE는 신재생발전기의 대규모 탈락 시 프랑스에서 스페인으로 전력조류가 증가하고 연계선이 과부하에 의해 차단될 가능성이 있었으나, 이 기관에서는 스페인 중앙제어 시스템인 CECEOL에 CECRE를 연계시켜 계통사고에 따른 풍력발전 정지량을 예측 계산하여 연계선 차단이 일어나지 않도록 집중적으로 풍력발전의 출력을 제어하고 있다. 이와 같이 우리나라도 전력거래소의 K-EMS와 연계한 신재생발전기를 고려한 수급운영 컨트롤 타워 시스템 구축이 필요하다. 또한, 대규모의 신재생발전 단지와 연결된 변전소에서 송배전망의 운영상태를 고려하여 신재생 출력 제어 및 모니터링하는 시스템이 필요할 것으로 보인다. 이 시스템은 신재생발전기의 출력을 사전에 급전지시하여 신재생발전기가 계통에서 분리되지 않도록 하는 등의 기능을 할 수 있다.

3.10 신재생발전기의 출력 예측

신재생발전기의 운전시각을 미리 예측할 수 있다면, 전력수급 운영에 큰 도움을 줄 것이다. 그러나 현재 갖추고 있는 기술력으로는 외부환경에 큰 영향을 받고 있는 신재생발전기의 출력을 정확히 예측하는 것이 난해하다. 즉, 풍향, 풍속 및 일조량 데이터의 DB화와 데이터 처리를 통한 단시간 예측이 된다고 해도 급격하거나 큰 폭으로 발생하는 출력변동은 다양한 기상요인에 의해 발생되기 때문에 예측이 난해할 것으로 보인다. 또한, 우리나라의 신재생에너지의 출력, 발전량 예측시스템은 아직 전무한 수준이라고 볼 수 있다. 태양광의 출력예측은 구름의 움직임을 기사화할 수 있기 때문에 비교적 쉽게 생각되고 있지만 주로 기압과 풍차의 나셀 높이와 풍속과의 관계를 분석하는 풍력과 달리 저층에서 고층 구름의 움직임과 기압, 온도, 습도 등 고려해야 할 변

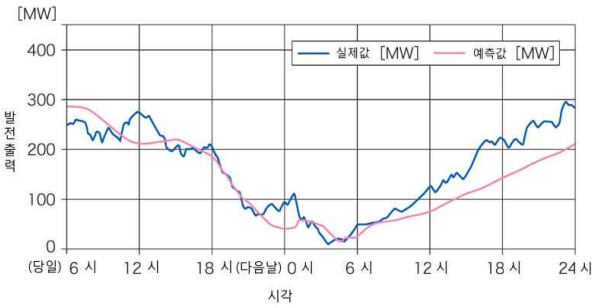


그림 15 일본의 풍력발전 예측사례
 Fig. 15 Estimation of Wind power generation In Japan

수가 많기 때문에 풍력발전보다 그 예측이 쉽지 않다. 유럽의 경우에는 1990년부터 풍력발전의 출력 예측을 연구해 왔다. 그림에도 불구하고 예측된 값과 실제 출력에서 여전히 10~20%의 오차를 보이고 있으나 이는 컷오프 속도부근의 갑작스런 풍력발전기 정지에서 기인한 것으로 보인다. 미국의 경우, 텍사스 전력계통을 관장하는 ERCOT에서 풍향예측 시스템을 연구해왔고 그 연구결과는 미국전역에서 검토되고 있다.

일본의 태양광발전의 출력 예측은 일사량, 기상 위성, 수치예보 등의 데이터를 활용하여 전일 예측은 30분 단위로 2시간 전에 대한 예측은 10분 단위로 예측하는 시스템이 있다. 미국의 연구기관에서는 1시간 전까지 위성에서 얻은 시계열 데이터로 구름 운동벡터 및 NWP(Numerical Weather Prediction 수치기상예보)와의 조합에 의해 7일 후까지 예측하는 시스템을 개발하였다.

현재 유럽, 미국, 일본 등에서 활발히 진행되고 있는 신재생에너지 출력예측과 관련된 연구들은 우리나라에서 필히 진행되어야 할 연구 분야이며 지역단위의 신재생발전기의 출력을 예측하고, 소내부하의 양도 모니터링하는 시스템 개발이 필요하다. 문제는 모니터링 주기를 2초 이하로 할 것인지, 그 이상으로 할 것인지 등의 결정은 우리나라 전력계통 운영여건을 고려하여 연구와 분석을 통해 이루어져야 한다. 모니터링 대상을 비용문제로 소규모까지 모두 포함할 수 없으므로 대상의 표본화가 필요하며, 출력 검출(RTU)와 인버터 제어장치의 저가화 기술개발, 통신 프로토콜 개발 또는 표준화가 필요하다.

3.11 인버터 공진문제

앞에서 언급한 신재생발전기에 접속되는 다수의 인버터가 계통에 연계될 경우 발생하는 문제 중에서 인버터에서 발생하는 고조파 문제이다. 이 고조파가 각 인버터들의 L(리액터)-C(커패시터)와 전력계통 축의 선로임피던스 L-C간 공진을 일으켜 과전압 등의 계통의 신뢰도를 저해할 수 있는 문제점들이 발생할 수 있다[4]. 즉, 전압 및 전류가 계속 증폭되는 형상으로 부하측의 기기는 물론 계통측의 기기에 영향을 주거나, 보호계전기의 오동작을 유발하여 계통에 교란을 야기할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 계통운영측에서는 신규 신재생발전사업자에게 계통의 L-C 데이터를 공개하고, 신재생발전사업자 또는 인버터 제작사는 이

데이터를 활용하여 계통과 공진이 발생하지 아니하도록 인버터의 L-C값을 조정하면서도 원하는 출력제어 등의 기능을 유지하는 “고성능 공진방지 인버터”를 제작하여 공급해야한다. 이를 위해서는 선행적으로 전력회사와 인버터 제작사간 공동 기술개발이 필요할 것이다.

4. 결 론

우리나라는 신재생발전기 보급 확대를 위해 2030년까지 총 발전량 중 신재생발전량을 20%까지 확대하는 것을 목표로 제시하였다. 친환경, 쾌적한 삶의 환경구현을 위해 이 제시된 목표는 반드시 실현되어야 할 것이다. 이를 위해서는 신재생발전기의 계통 연계시 계통의 수용성 확대와 계통 운영의 안정성을 확보하기 위해 계통안정화 기술을 우리기술로 개발해야 한다. 뿐만 아니라 비 R&D적 측면에서도 우리나라 전력계통 특성에 맞게 적용할 수 있는 각종 제도 및 기준 등 그리드코드 마련도 병행되어야 한다.

2030년까지 신재생발전기의 보급 확대는 점진적으로 증가하고 있는 추세이므로 상기에서 논한 신재생발전기의 계통연계로 인하여 계통에서 발생할 수 있는 불안정한 현상이 1~2년 내에 단기적으로는 나타나지는 않을 것이다. 그렇기 때문에 내년(2018년)부터 신재생에너지 관련 분야의 R&D예산을 확보하여 연구개발을 추진한다면 2030년에는 개발된 기술이 적용될 수 있다.

계통안정화 기술개발 과제를 발굴, 과제의 목표 설정, 계통안정화 기술개발 로드맵을 수립하고, 기술개발 예산규모 및 기간을 산출하여 “계통안정화 R&D사업” 예산을 확보해야 기술개발을 차질 없이 추진할 수 있다. 이 논문을 통해 신재생발전기 보급 확대에 따른 우리나라의 전력계통 안정화에 기여하고 기술개발 시스템과 표준화, 개발제품 및 기술이 세계 수출사업화 되기를 기대한다.

감사의 글

본 연구를 위해 여러모로 지원해주신 산업통상자원부 전력산업과와 신재생에너지과에 깊은 감사를 드리며 3020 신재생전략의 성공적인 달성을 기원합니다.

References

- [1] NEDO Renewable energy technology white paper (grid support technology)
- [2] Standard of maintaining Reliability and Quality of power systems(Ministry of Trade, Industry and Energy Notification)
- [3] KPX(Korea Power exchange)'s educational resource

- [4] Minkook Kim, Sanghyuk Jung, Sehyung Jung, Sewan Choi, Kwangseob Kim, "Analysis and Active Damping of LCL filter Resonances of Parallel-Connected Utility Interactive Inverters", KIPE, vol. 2013, no. 7, pp. 423-424, July 2013.

저 자 소 개



김 헌 태 (Hun-Tae Kim)

1965년 6월 29일생, 1992년 원광대학교 전기공학과 졸업, 현재 산업부 근무(한국에너지기술평가원 파견(2016.12~))



장 성 수 (Seong-Su Jhang)

1991년 2월 21일생, 2016년 광운대학교 전기공학과 졸업, 현재 동대학원 재학 중 (2017.3~)