



2017년 해외 전력산업 동향

WORLD POWER MARKET TREND *Biennial Report*

작성자 : 경영지원처 주임 권순영(☎061-330-8274)

미국 ISO-NE

2017. 11.



동 자료에 수록된 각종 통계자료, 조사결과 등은 내부 업무목적에 따라 작성된 것으로 수집된 자료의 범위, 작성 시기, 작성기준 등에 따라 그 결과가 달라질 수 있으므로 참고용으로만 활용하시기 바랍니다.

우리 소는 동 자료 내용의 정확성, 타당성 등에 대하여 보장하지 않으며 동 자료의 내용을 임의로 인용하거나 상업적으로 활용함으로써 발생하는 문제들에 대하여 우리 소에 법적 책임이 없음을 알려드립니다.

ISO-NE

전력산업동향

I. 전력산업 체제 및 전력시장 구조	3
II. 전력수급	13
III. 전기요금	17
IV. 주요전력회사동향	20
V. 주요정책방향	23
VI. 주요현안 및 시사점	30

I 전력산업 체계 및 전력시장 구조

1. 전원구성

1.1 천연가스 위주의 전원구성 및 영향

New-England 지방은 아래 그림과 같이 지난 17년 동안 석탄 및 중유에서 천연가스로 에너지원이 변해왔다.



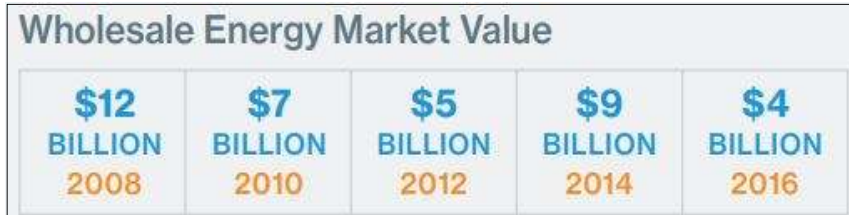
<출처 : ISO New England 홈페이지>

1.2 천연가스의 신뢰도 영향

New-England 관내의 천연가스 파이프 용량은 겨울에 난방과 발전기 에너지원 모두로 사용하기에는 부족한 상황이다. 이 때문에 석탄과 중유발전소가 겨울 피크시간 대에 필요한 실정이지만, 현실적으로 이러한 발전기들이 모두 폐지되고 있는 상황이라서 피크시간대 계통의 신뢰도를 저하시키고 있다.

1.3 천연가스의 전력시장가격 영향

New-England의 전력시장가격은 천연가스 가격과 직결된다. 관내의 천연가스 파이프용량 부족으로 천연가스 가격이 상승했으나 2016년 하반기 이후 셰일가스 영향으로 가격폭락에 따라 시장거래규모 역시 축소되었다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

1.4 천연가스의 환경 영향

석탄과 중유발전에서 천연가스 발전으로의 변화는 온실가스 배출을 줄이게 하였다. 2001년 대비 2015년의 질소산화물 방출량은 68%, 이산화황은 95%, 이산화탄소는 24% 감소했다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

2. 전력수요

ISO-NE의 피크는 여름에 나타나며, 겨울에는 여름보다 약간 작은 피크가 발생한다. 하계 피크는 2006년 28,130MW, 동계 피크는 2004년 22,800MW를 기록하고 있다. New England 지방에서 지원하는 에너지 효율 프로그램(EE, Energy Efficiency)으로 인해 피크수요가 완만해짐에 따라 피크수요의 연 성장률은 2025년까지 0.3% 증가, 전체 수요는 오히려 0.2% 감소가 예상된다.

Forecasted annual growth rates for New England through 2025 →	PEAK DEMAND:	1.1%	0.3%
	OVERALL DEMAND:	1.0%	-0.2%
		Without EE & PV	With EE & PV

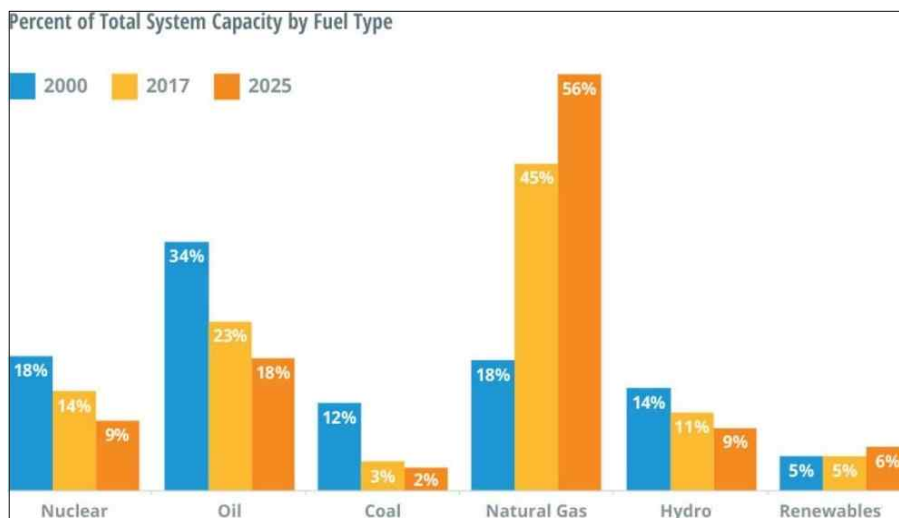
<출처 : ISO New England 홈페이지>

2016년도에 EE 프로젝트로 1,900MW를 공급하였으며, 수요관리 및 배전용 발전기를 포함하는 DR(Demand Response)는 600MW를 제공하였다.

3. 발전설비용량

3.1 발전설비 현황

New-England는 약 30,500MW의 설비용량을 보유하고 있다. 석탄과 중유발전은 전체 설비용량의 약 25%를 차지하고 있지만, 지속적으로 폐지될 예정이다. 현재까지 설비용량의 15%인 4,200MW가 폐지되었고, 2020년까지 5,500MW가 폐지될 예정이다. 하지만 폐지가 계속되고 있는 와중에서도, 피크시간대에 석탄과 중유발전기는 여전히 중요한 부분을 차지한다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

3.2 연계전력

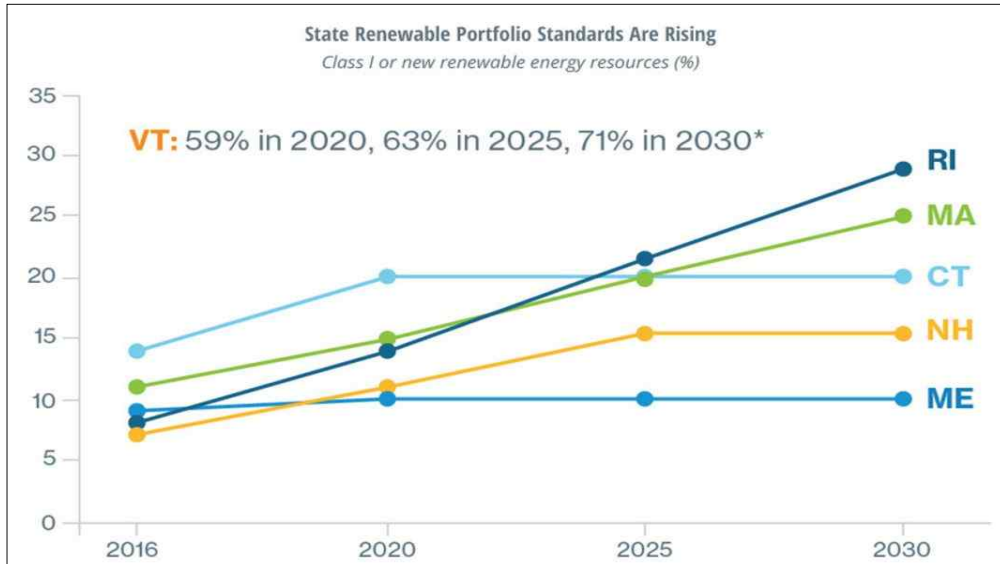
New-England는 2016년 기준으로 필요 전력량의 17% 정도를 인근 뉴욕, 퀘벡 및 뉴브런즈윅에서 전력을 수입하고 있다. 송전사업자는 저탄소전력을 공급하겠다는 몇 가지 전략을 제시하고 있다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

3.3 신재생발전

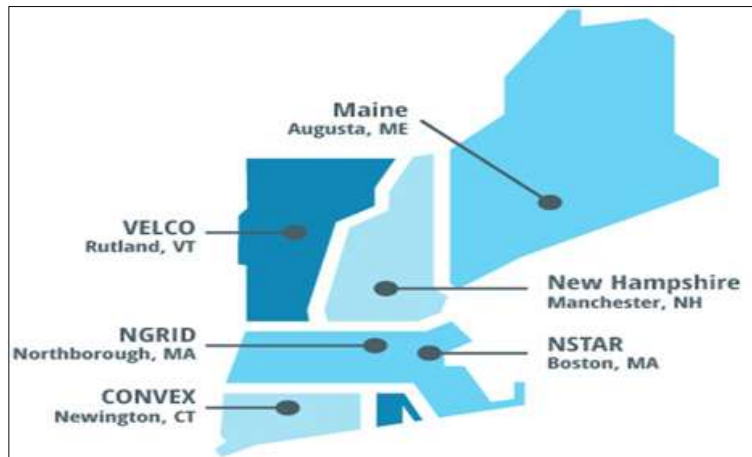
ISO-NE는 1,100MW 이상의 풍력발전기가 설치되어 운전되고 있다. 풍력발전사업자들은 관내 북쪽에 육상풍력, 남쪽에 해상풍력에 대하여 6,000MW 규모의 추가건설을 제시하고 있다. 풍력설비의 추가 건설로 송전선로의 추가건설이 필요할 것으로 전망된다. 또한 ISO-NE는 태양광발전소 건설을 장려하고 있으며 2016년 1,325MW의 태양광을 2025년까지 3,300MW 규모로 늘릴 것을 목표로 하고 있다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

4. 지역급전 현황

New-England ISO관내에는 송전사업자가 소유한 6개의 LCC(Local Control Center)가 ISO를 지원하고 있다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

5. 주요지표

New-England ISO 주요지표들은 다음과 같다.

350대의 발전기	30,500MW의 설비용량
뉴욕과 캐나다 동부와의 13개 연계선로	9,000마일의 고전압 송전선로
설비용량의 45%가 천연가스	2016년 약 54억 달러 규모의 전력시장운영 (41억 달러의 에너지 시장, 13억 달러의 용량 및 A/S 시장)
2020년 중반까지 4,200MW의 핵발전기 퇴출예정	
2023년까지 신규발전기 13,250MW 건설 예정	7백10만 수용가 1천4백만 인구
2002년부터 2021년까지 122억 달러 송전망에 투자예정	도매전력시장 내 약 400개 이상의 회원사

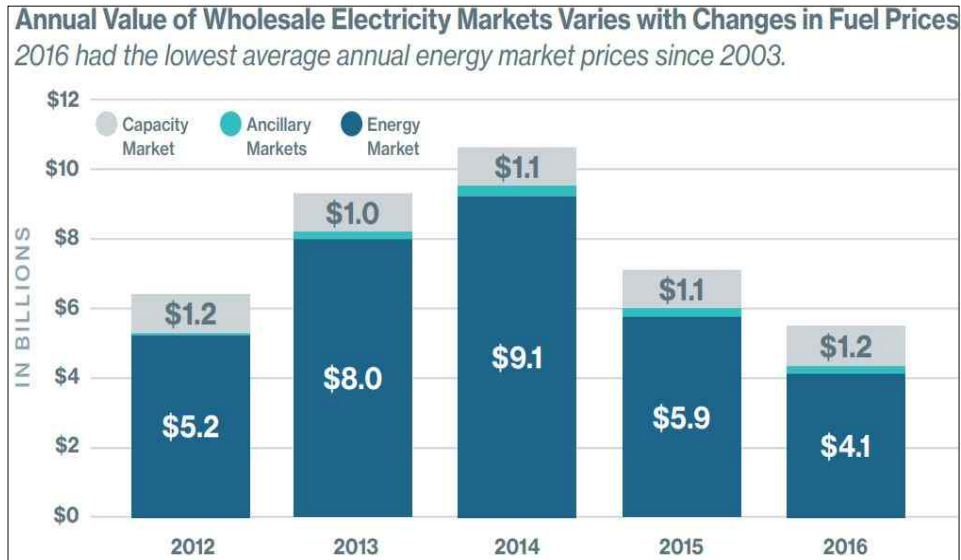
<출처 : ISO New England 홈페이지>

6. 전력시장

6.1 도매전력 시장

ISO-NE는 1990년말 전력시장을 개설하였다. ISO-NE의 세계적 수준의 에너지, 용량, 보조서비스 시장은 생산과 수요자가 가장 효율적인 방식으로 전력을 사고 팔 수 있게 도와주었다. ISO-NE의 도매시장은 하루 전 시장과 실시간 시장으로 나뉜다. 하루 전 시장은 가격변동성의 위험을 방지해주는 기능을 하며 실시간 시장은 하루 전 시장에서 벗어난 수요들을 조정해주는 기능을 담당한다. 이러한 도매시장의 개설은 ISO가 충분한 에너지를 저렴한 가격으로 확보하게 해주었다. 이 가격은 전력 생산자가 연료비와 전력 수송비를 모두 포함하고 있다. 2014년에 천연가스 가격의 상승으로 에너지 비용이 상승

하였으나, 천연가스 가격 폭락으로 2016년에는 역대 최저의 에너지 비용을 기록했다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

6.2 선도용량시장

New-England ISO의 선도용량시장은 New-England의 충분한 미래 발전설비용량을 충족시켜주는 기능을 한다. 선도용량시장은 미래의 발전용량을 확보하기 위해 3년 후의 용량을 미리 확보하는 시장으로서 현재 전력시장가격과는 다르게 장기적으로 고정된 가격을 보장해준다. 선물로 입찰하기 때문에 입찰참여자들은 가격변동성 없이 안정적인 금액이 보장되어 피크시간에만 잠깐 돌릴 발전설비에 대한 투자와 운영을 할 수 있게 된다.

Results of the Annual Forward Capacity Auctions				
AUCTION COMMITMENT PERIOD	TOTAL CAPACITY ACQUIRED (MW)	NEW DEMAND RESOURCES (MW)	NEW GENERATION (MW)	CLEARING PRICE (\$/KW-MONTH)
FCA #7 2016/2017	36,220	245	800	\$3.15 (FLOOR PRICE) NEMA/Boston: \$14.99
FCA #8 2017/2018	33,712	394	30	\$15.00/new & \$7.025/existing
FCA #9 2018/2019	34,695	367	1,060	System-wide: \$9.55 SEMA/RI: \$17.73/new & \$11.08/existing
FCA #10 2019/2020	35,567	371	1,459	\$7.03
FCA #11 2020/2021	35,835	640	264	\$5.30

6.3 전력시장의 효율 증대

개선된 기술을 보유한 가스발전기들이 등장하면서 기존의 저효율적 발전기 4,000MW가 시장에서 퇴출되었으며, 2018년 기준으로 3,000MW가 추가 퇴출될 것으로 보인다.

수요관리자원 시장은 전체적인 전력수요를 줄이기 때문에 새로운 발전기와 송전선로 투자비를 감소시킨다. 수요관리는 부하관리, 배전용 발전기와 에너지 효율 프로젝트를 포함한다. 2016년에 ISO-NE는 약 600MW의 수요반응 자원과 1,900MW의 에너지효율 프로젝트 자원을 확보했다.

6.4 환경문제 개선

환경개선 정책은 최근 20년 동안 유류 및 석탄 발전기의 사용을 감소시켜왔다. 2001년 대비 2015년의 질소산화물 방출량은 68%, 이산화황은 95%, 이산화탄소는 24% 감소했으나 이산화탄소의 경우에는 2014년 대

비 소폭(2.5%) 상승했다.

7. ISO-NE 역사

1971	New England Power Pool(NEPOOL)이 설립되면서 계통운영 및 정산 일체를 수행
1977	미 의회는 Federal Power Commission을 Federal Energy Regulation Commission(FERC)로 재정비함
1970S ~90S	경쟁이 없는 수직 독점체계의 전력산업구조 유지
1996	Deregulation("market restructuring")이 FERC Orders 888과 889에 의해 송전계통을 개방하면서 시작되었으며, NEPOOL은 ISO를 제안함
1997	ISO NEW ENGLAND가 설립되면서 전력계통 운영 및 송전계통 개방
1999	ISO NEW ENGLAND 도매전력시장 개설 및 약 200개의 회원사가 시장에 참여 FERC Orders No.2000이 RTO(Regional Transmission Organization) 설립 독려
Late 1990s ~00s	관내 발전기 에너지원이 천연가스로 이전
2001	Demand-Response Program 도입
2005	관내 RTO 도입
2008	FCM(Forward Capacity Market)도입
2010	시장참여 회원사 450으로 증가
2012	천연가스 발전비율이 52% 돌파
2013	synchrophasor infrastructure and data utilization 프로젝트 완성
2014	풍력발전의 발전비율이 1.8% 돌파
2015	천연가스 발전비율이 49% 돌파
2016	전력시장 가격 역대 최저 기록(2004년 대비 44% 감소)
2017	ISO-NE 탄생 20주년

<출처 : ISO New England 홈페이지>

Ⅲ 전력수급

1. 예비력관련 용어정의

1.1 First Contingency Loss

- 단일 고장으로 발생할 수 있는 가장 큰 고장(MW)

1.2 Operating Reserve

- 10분 운전예비력(TMSR, 10minute spinning reserve)
- 10분 정지예비력(TMNSR, 10minute non-spinning reserve)
- 30분 운영예비력(TMOR, 30minute operating reserve)

1.3 RCA/BAA

- RCA : 신뢰도 구역(Reliability Coordinator Area)
- BAA : 밸런싱 구역(Balancing Authority Area)

1.4 Replacement Reserve

- 대체예비력 : 추가적인 30분 운영예비력

1.5 Reportable Events

- 연계선로 조류량이 500MW이상 벗어날 때
- 500MW이상의 발전력 차단
- 5초 동안 $\pm 0.03\text{Hz}$ 이상 주파수가 벗어날 때

1.6 Secondary Contingency Loss

- 첫 번째 단일고장 이후 연속된 고장으로 발생할 수 있는 가장 큰 고장(MW)

2. 실시간 운영예비력 필요량

2.1 10분 예비력 필요량

정상조건에서 ISO는 First Contingency Loss * CRA(Contingency Reserve Adjustment)를 대체할 수 있는 10분 예비력을 유지해야 한다. ISO는 DCS(Disturbance Control Standard)를 만족시키지 못할 경우 분기별로 CRA를 조정하여 10분 예비력을 늘려야 한다. CRA는 다음 수식에 의해 정해진다.

$$\circ \text{CRA} = 2 - (\text{분기별 DCS 평균})$$

NEW ENGLAND의 10분 예비력은 100% TMSR이나 NERC기준을 만족하면서 관계당국의 승인이 있을 경우에는 TMSR을 10분 예비력의 25%까지 줄일 수는 있다. 여기서 DCS 기준은 연계선로가 고장 발생 후 15분 이내에 고장 전 주파수로 돌아올 수 있어야 하며, 과거 실적이 모두 돌아온다면 이처럼 TMSR 기준을 낮출 수 있다.

2.2 30분 예비력 필요량

10분 예비력과 더불어 ISO는 Second Contingency Loss의 50%에 해당하는 예비력을 TMOR로 확보해야 한다. 10분 예비력을 초과하는 예비력은 모두 이에 해당한다. 계통에 고장이 발생하여 10분 예비력을 사용하게 될 경우 TMOR은 10분 예비력을 유지하기 위하여 사용된다. TMOR이 사용될 경우 ISO는 TMOR 용량의 100% 이상을 확보할 수 있다.

2.3 운영예비력 산정

ISO는 10분 및 30분 예비력 산정을 위한 First Contingency Loss와 Second Contingency Loss의 기준을 정할 수 있다. First Contingency Loss 고려 시 이 고장으로 인한 계전기 동작도 고려할 수 있다.

3. 피크부하

3.1 피크 상황

New England 지역은 1년 중 여름에 최대부하가 발생한다. 여름날 일반적인 최대부하는 17,500MW에서 22,000MW정도이다. 2006년 8월 2일에 28,130MW로 최대를 기록했다. 여름철 최대부하는 1년에 약 200MW씩 증가하고 있는 추세이며 이는 중간용량 발전기의 50%정도의 크기이다. (이러한 예측은 수요자원 즉, 에너지 효율정책 및 전기절약정책 등을 고려한 것이다.)

겨울에는 최대부하는 일반적으로 18,000MW에서 19,700MW 정도이다. 2004년 1월 15일에 겨울철 최대부하가 22,818MW를 기록했다.

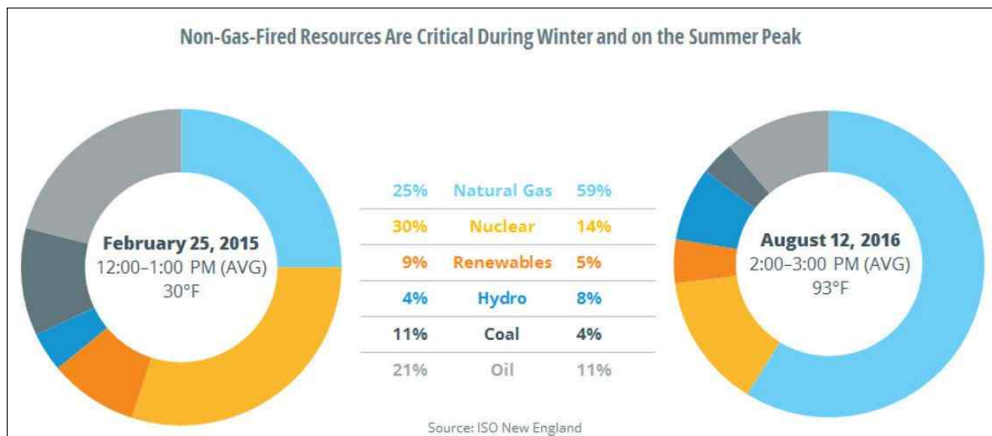
전형적인 봄철의 부하는 15,000MW에서 16,900MW이며, 가을철 부하는 15,900MW에서 17,300MW에 이른다. 그러나 늦봄이나 초가을에는 이보다 더 높은 부하대를 이루고 있다.

1989년까지는 New England의 피크는 겨울에 발생하였으나, 1990년대 초반부터 여름에 발생하기 시작했다. 여름피크 발생은 에어컨 부하의 증가 및 겨울철 난방부하의 감소가 가장 큰 원인이었다.

3.2 피크대책 방안

New England의 피크수요는 평균수요의 증가대비 크게 증가하고 있다. 이러한 현상은 1년에 단지 몇 시간 또는 며칠을 사용하기 위해서 비싼 발전기를 건설해야 하는 이유가 된다. 비싼 발전기들이 1년에 비주기적으로 운전된다면 매우 비효율적인 계통운영상황이 된다. 비싼 발전기들은 시장에서 자주 기동되지 못함에 따라 시장에서 비용회수를 못하는 현상이 발생한다. 따라서 이를 방지하기 위해 용량시장을 운영하고 있는 것이다. 향후 3년 후의 예비력에 대한 확보가 결정되는 용량시장에 대한 입찰은 매년 이루어지며 미래의

전력가격과는 상관없이 고정된 금액으로 설비용량에 대한 금액을 받을 수 있으므로 시장참여자들은 설비를 안정적으로 투자할 수 있게 된다. 용량시장을 통해서 비싼 발전기들에 대해서도 유지비용을 보상해줌으로써, 필요할 경우 기동시켜 계통신뢰도 확보에 기여하게 하는 것이다.

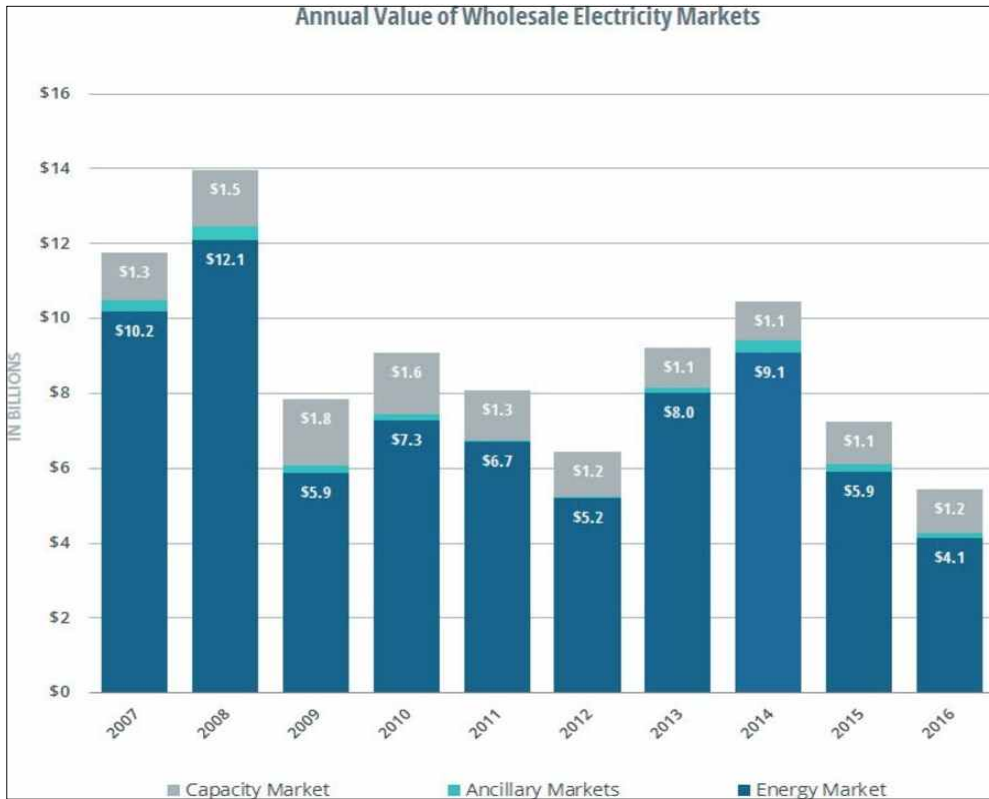


<출처 : ISO New England 홈페이지>

㉮ 전기요금

1. 도매시장 가격

New England의 도매시장가격은 전력수요를 충족시키기 위한 발전회사의 비용을 정확히 반영하는 경쟁체제 가격을 유지하고 있다. 아래 그림은 2007년부터 2016년까지 도매시장가격을 에너지시장, 보조서비스시장, 용량시장으로 구분하여 보여주고 있다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

New England의 2013년 천연가스 가격은 사상 최고치를 기록하였으며, 관내의 천연가스에 대한 높은 요구는 천연가스 배관의 부족으로 인한 제약을 발생시켰다. 천연가스를 사용하는 발전기들이 연료제약으로 정지하면서 매우 비싼 발전기를 기동시켰고, 이로 인해 New England의 도매시장가격은 급등하였다. 그러나 온화한 기후와 천연가스 가격의 폭락으로 인해 2016년은 전력시장 개설 이래 역대 최저가격을 기록했다.

2. 도매시장 가격조정 정책

New England 도매시장가격은 여름피크기간에 사용되는 전기양과 발전기 사용연료에 직결된다. New England 관내는 많은 천연가스 발전기들이 있으며,

이 발전기들이 도매시장가격을 결정하고 있다. 천연가스가격의 유동성과 위험성이 그대로 도매전력시장 가격에 반영되어진다. 결론적으로, 천연가스 가격이 안정되면, 도매전력시장가격은 떨어지게 된다.

여름철 피크에 전력소비는 매년 2% 이상 상승하고 있으며, 이는 전력수요의 평균증가량보다 훨씬 높은 수치이다.

ISO-NE는 전기요금을 상승키는 원인을 분석한 후 전기요금을 조정할 수 있는 방안을 마련하였다.

- Fuel costs 및 primarily natural gas는 규제시장 및 도매시장 모두 전기요금을 상승시키게 된다.
- 저가의 발전기 및 에너지저장장치 건설은 전기요금을 조정하는데 효과적이다.
- 저가로 건설된 발전기 출력 1,000MW는 소비자에게 1년에 \$600million을 절약하게 한다.
- 여름철 피크시간에 전기사용량을 5% 줄이면, 소비자들은 1년에 \$580 million을 절약할 수 있다.
- 수요관리 500MW 증가는 1년에 \$32 million을 절감할 수 있게 해준다.
- “Business As Usual” 은 전기료를 항상 높게 유지하게 한다. 전기사용량 5% 증가는 비용을 \$700 million 상승시키게 한다.
- 소비자 전기요금은 3요소, 발전, 송전, 배전에 의해 결정되어진다.
- ISO는 세계 연료시장가격에 민감한 전력생산비용이 2006년 평균적인 전기요금의 반을 차지한다고 추정하고 있다. 이러한 발전비용 중 연료비용과 용량요금이 전체의 95%를 차지한다.
- 전기요금의 나머지 50%를 차지하는 송전과 배전비용은 규제대상이며, 이 비용에는 송전 및 배전선로 건설 및 유지보수 비용이 포함되어 있다.

- 다음 10년 동안 전력비용이 천연가스비용과 용량비용을 추종할 것이다.
- 용량비용은 현재보다 75% 증가할 것으로 전망된다.
- 송전비용은 현재보다 77% 증가할 것으로 전망된다.
- 배전비용은 안정적인 모습을 보일 전망이다.

IV 주요 전력회사 동향

1. 송전설비 투자

송전선에 대한 투자는 계통의 안정성과 전력가격 하락에 중요한 영향을 미친다. 하지만 송전설비에 대한 투자는 매우 어려운데 그 이유는

- 건설하는 데 비용과 시간이 많이 들어간다.
- 다양한 의사결정자들이 존재하며 그 안에서 수많은 반대에 부딪힌다.

따라서 최대한 다양한 의견을 듣고 공정한 진행을 위하여 ISO-NE는 매년 RSP(Regional System Plan)을 주주들과 함께 개발한다. RSP는 향후 10년간의 소비자 전력소비 패턴, 발전기 폐지 및 신재생에너지원 개발들을 고려하여 수립된다. RSP에 의거하여, New-England ISO는 송전사업자와 함께 신뢰도 및 효율성 강화 프로젝트를 시작한다. 2002년부터 2017년 6월까지 약 730회선 이상이 보강되었거나 보강 중이며, 93억 달러의 예산이 소요되었고 2025년까지 124억 달러가 투자될 것으로 예상되고 있다. 2017년 현재 새롭게 투자가 필요한 곳으로 판명된 곳들과 현재 보강중인 곳들은 다음과 같다.

- 투자필요 - 남동부 매사추세츠에서 로드아일랜드까지의 송전선
- 투자필요 - 매사추세츠 주 미스틱에서 첼시까지의 송전선

- 보강 중 - 북서부 버몬트와 버몬트 남부 순환송전선
- 보강 중 - Greater Boston 지역

29억 달러의 송전선로 투자계획이 2021년까지 신뢰도 기준, 전력계통시스템 효율성 향상 및 신재생과 대체에너지 증설을 만족하기 위해서 계획되어 있다. 주주의 요청과 시장의 효율성이 송전선로 보강계획과 부합하기 위해서, New-England ISO는 송전선로 보강계획에 MRA(Market Resource Alternatives)를 평가하고 있다. New-England ISO는 부하중심지에 MRA분석을 시작하였다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

송전선로 보강비용은 신뢰도 기준과 ISO New-England 관내 모든 소비자가 만족할 수 있어야 한다. 송전선로 보강비용은 전기사용량에 비례해서 관내 각 주에 할당된다.

2 송전선로 보강

2.1 신뢰도 확보

현재 모든 산업과 삶은 전력에 의존하고 있으며, 전력계통 신뢰도를 유지하는 것은 ISO New-England의 최우선순위 과제이다. 신뢰도를 유지하기 위해서 ISO는 전력소비패턴을 정확히 예측할 수 있어야 하며, 급전지시에 빨리 응답 할 수 있는 발전력을 보유하고 있어야 한다. 전력소비패턴 및 응답 속도가 빠른 발전력 확보가 갈수록 어려워지고 있다.

2.2 과거의 전력계통

2000년도까지만 해도 발전기 연료원들은 제한적이었다. 과거의 발전원들은 지속적인 전력공급을 할 수 있었고, 수요 측면에서는 전력수요패턴이 일정하여 예측이 용이하였다.

2.3 전력계통 신뢰도에 대한 도전

현재의 전력계통은 과거의 전통적인 전력계통에서 스마트그리드를 반영하는 미래계통의 중간단계이다. 과거 수십년 동안, New-England ISO는 발전력 및 전력계통 신뢰도에 큰 영향을 미치는 몇 가지 요소에 집중해 왔다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

V 주요 정책방향

1. 신재생에너지

1.1 친환경 전력망으로의 진화

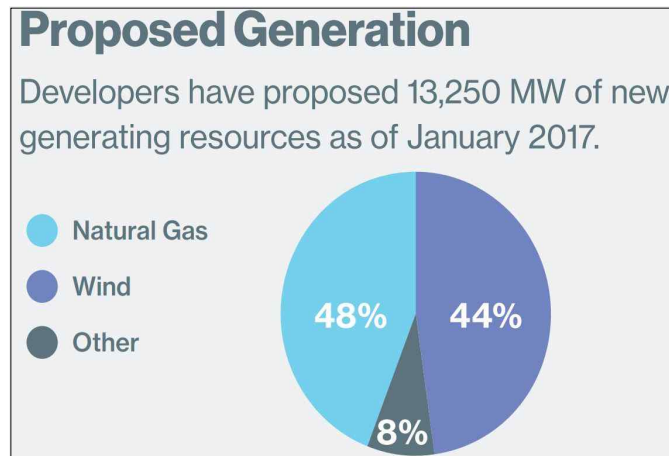
New-England ISO는 신재생에너지원들의 발전력 증가를 목표로 삼고 있다. 풍력 및 태양광에너지 발전기들은 주정부의 세금 면제 등의 정책에 힘입어 무섭게 증가하고 있다. 기술진보로 인한 가격하락은 신재생에너지원들이 기존 발전기들과 경쟁에서 우위를 가질 수 있게 하였다. 설비용량으로 보면 신재생에너지원들이 양수를 제외하고 약 9%에 그치지만, 800MW 신규 풍력발전기 프로젝트가 진행 중이며 미래 신규 발전의향 중 44%가 풍력발전기이다.

1.2 복잡한 특성을 가진 신재생에너지

풍력 및 태양광발전은 주정부의 환경목적을 달성하는데 도움을 주었다. 하지만, 역설적으로 신재생에너지 운영특성은 중유 및 석탄발전기들의 발전량을 증가시켰다.

- 풍력 및 태양광에너지원들은 풍속변화, 온도변화 및 일별 시간대에 따라 출력변화가 심하다.(간헐적 자원)
- 이러한 에너지들은 피크기여도가 매우 낮다. 풍력발전기는 여름에 풍속이 낮고, 겨울이더라도 얼음에 의한 출력장애를 가질 수 있다. 반면에 태양광발전은 한낮에 발전량이 가장 많으므로 피크를 정오 이후로 변경시킬 수 있다.
- 풍력발전기들은 주로 외진 지역에 건설되며, 이로 인해 송전선로의 추가

건설이나 기존 송전선로에 과부하가 발생할 수 있어서, ISO가 풍력발전기 양을 강제로 줄여야 되는 상황도 발생한다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

신재생에너지의 간헐적인 출력을 조정하기 위해서는, 기동이 매우 빠르고 응답속도가 좋은 발전기를 보유하고 있어야 한다. 이러한 종류의 발전기들은 천연가스를 사용하는 복합발전기나 양수발전기들이다. 양수발전기들은 현재 설비용량의 5%정도만을 차지해서 많은 도움을 주지 못하며, 건설을 하려고해도 환경 및 비용문제로 여의치 않다.

1.3 분산전원 및 스마트그리드

배전망에 연계된 태양광 발전은 분산전원의 대표적 발전기이다. ISO는 증가하는 태양광에 다음과 같은 신뢰도 문제를 접하고 있다.

- Data Gaps : 태양광 발전기들은 ISO가 원하는 시간에 발전을 할 수 없으며, 발전량을 예측하는 것 또한 어렵다.
- 송전선로 고장 시 많은 태양광이 차단될 경우 공급신뢰도에 영향을 미침

1.4. 더 많은 신재생 수용을 위한 준비

신재생에너지의 비중을 계통에 늘리기 위해서는 계통운영, 시장 및 계획에 큰 변화가 필요하다.

- ISO-NE는 풍력 및 태양광의 발전량예측을 정확히하기 위해 복잡한 틀을 개발하고 있다. ISO-NE는 일간/주간 예측량을 발표함으로써, 풍력자원의 효율적 사용을 도모하고 있다. 태양광 발전량의 예측은 2014년부터 이루어져왔는데 최근에는 IBM의 Watson 연구소와 협력하여 보다 정확한 발전량을 예측하고 있다.
- 풍력과 수력을 실시간 급전 및 예비력에 반영하는 Wind Integration Project 2단계가 2016년 중반에 도입되어 급변하는 날씨에도 안정적인 계통운영이 가능해졌다.
- 전력시장측면에서는 운영예비력 양을 증대시키면서 응답속도가 빠른 발전기에 대해서 인센티브를 주는 방안이 마련되었다.
- 송전선로 증설 및 강화가 대규모 풍력발전기를 수용하기 위해서 필요하다. 이를 위해 ISO-NE는 송전선로 신뢰도 평가를 수행 중이며 주주들과 함께 송전선로 보강방안에 대해 논의하고 있다.

1.5 신재생에너지의 전력시장 가격에 대한 영향

신재생에너지의 비중이 늘어나면 전력시장 가격에 큰 영향을 줄 수 있다. 연료비가 없고 기술이 점점 개발되면서, 날씨 의존적인 발전원들은 전력시장 가격을 크게 저하시킬 수 있다. 간헐적인 자원들로 인한 공급신뢰도 저하를 방지하기 위해 용량시장이 중요해지면서 비용이 더 많이 들어간다는 것을 의미한다. 또한, 풍력 및 수력건설로 인한 송전선로 증설은 전력시장가격 상승으로 이어질 것이다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

1.6. 신재생에너지를 위한 전력계통 스마트화

New-England는 에너지효율, 수요반응 및 배전용발전기를 포함하는 수요 자원시장을 위해 계통을 스마트화하려고 노력하고 있다. 이러한 노력은 다음과 같은 장점들을 가지고 있다.

- Self-healing을 통한 배전선로 신뢰도 향상
- 주정부가 지원하는 마이크로그리드 프로그램은 태풍과 같은 천재지변에 주계통에서 분리되어 지역적으로 계통이 운영될 수 있게 도움을 준다.

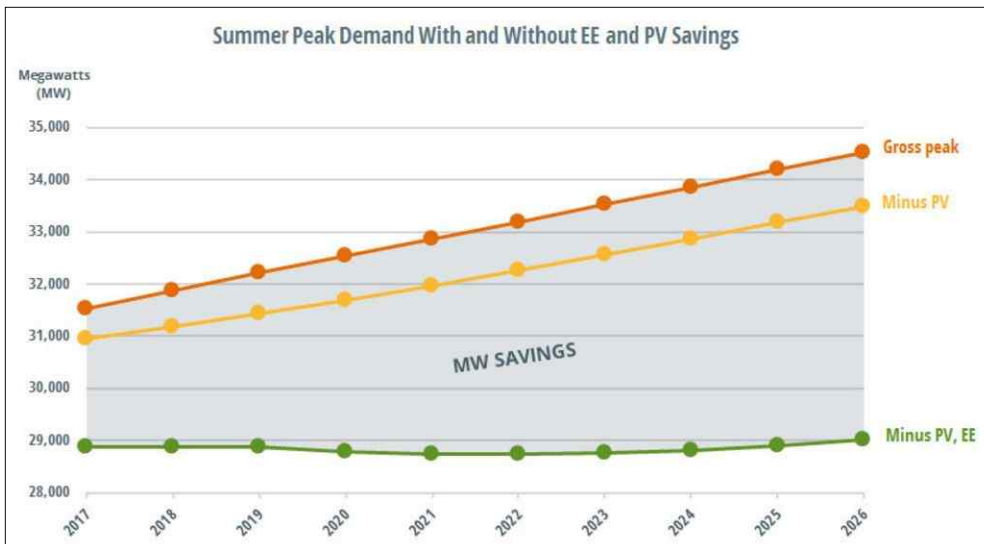
- Integrating behind the meter resources 프로그램은 DG 또는 풍력, 태양광발전기로부터 공급되는 에너지를 냉·난방, 환기 등의 종합적 제어를 통해 효율적으로 사용할 수 있게 한다.

전력소비자가 가격에 민감해지고, 자신의 전력을 생산해낼수록 수요는 점점 예측하기 어려워지며, 공급 또한 조정하기 어려워져 계통운영은 점점 복잡해진다.

1.7. 에너지효율 증대

New-England는 에너지효율 부분에서 미국을 리드하고 있다.

- 관내 6개 주 모두 미국 25위안에 드는 에너지효율을 가지고 있다.
- 관내 6개 주가 2017년부터 2023년까지 60억 달러 이상 에너지효율사업에 투자할 예정이다.
- 2018년부터 2023년까지 주정부가 지원하는 EE프로그램은 주의 전력을 1,518GWh/year만큼 줄일 것으로 예상되고 있다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

2. Black Start

2.1 자체기동발전기 선정조건

자체기동발전기를 지정할 때 의무사항은 아니지만, 다음 항목들을 고려할 수 있다.

- 유효 및 무효전력 공급능력
- 주파수 조정능력
- 전압제어 능력
- 원자력발전소에 대한 근접성
- 중앙급전 또는 지역급전에 대한 근접성

자체기동발전기 서비스를 제공하기 위해서는 다음의 조건을 반드시 만족해야 한다.

- 발전기가 ISO 관내에 위치
- 발전기 유효 및 무효출력을 ISO와 지역급전에 실시간으로 전송가능
- ISO에 의한 급전지시가 가능해야함
- 다른 발전소 출력 없이 자체적으로 기동할 수 있어야 하며, ISO 또는 지역급전에 의해 부하를 공급할 수 있을 때까지 무부하 운전상태 유지
- 무압된 모선을 가압할 수 있는 차단기 보유
- ISO에 의한 기동지시를 받은 후 90분 내에 무부하 운전 가능해야함
- 발전기는 주파수를 59.0~61.0사이로 유지 가능해야 함
- 발전기 조속기는 ZERO GOVERNOR DROOP이 가능해야 함
- AVR운전이 가능해야하며 AV모드를 가지고 있어야함
- 발전기는 충분한 무효전력 능력을 가지고 있어야 하며, 매 5년에 한번씩 New-England Testing Program에 의거하여 시험을 해야 함
- 정격용량 기준으로 수력일 경우 2시간, 다른 에너지원일 경우 12시간 운전 가능한 연료를 가지고 있어야 함

- 자체기동발전기 소유회사는 정전 시 일반전화나 핸드폰을 제외한 통화 가능한 수단 또는 iridium 인공위성 전화를 보유하고 있어야 함

2.2 자체기동발전기 시험절차

자체기동발전기 시험절차는 다음을 가지고 있어야 한다.

- 외부로부터 전원 공급 없이 기동 가능해야 한다.
- 기동 지시 후 90분 이내에 부하 로딩 준비가 끝나야 한다.
- 기동 후 10분 동안 안정운전을 확인해야 한다.
- 통신설비가 정전 중 작동하는지 확인해야 한다.
- 차단기가 무압 된 모션을 가압할 수 있는지 확인해야 한다.

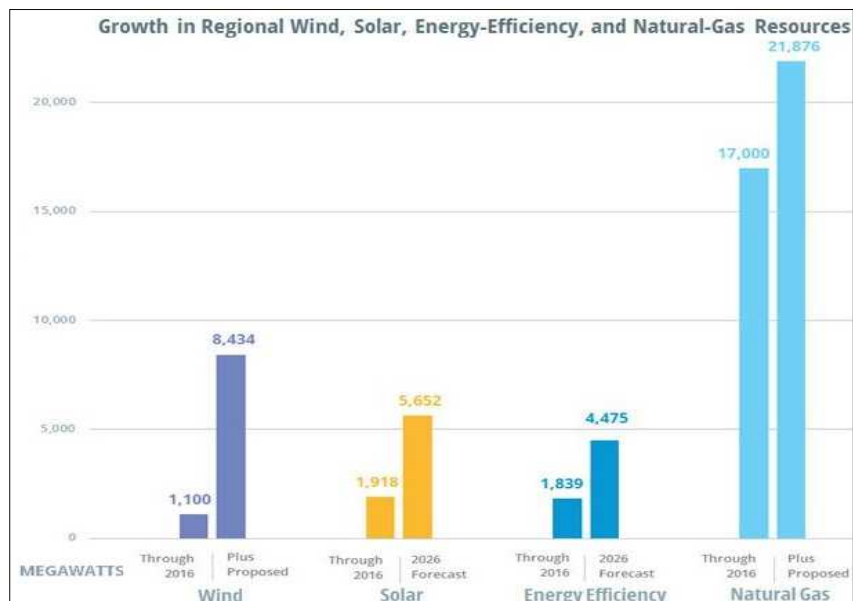
VI 주요현안 및 시사점

1. 천연가스의 구조적 제약

1.1 천연가스 발전기의 증가

New-England ISO는 천연가스가 발전기의 주요 에너지원이다. 1990년대부터 환경 친화적이고 효율이 높으며 부지선정이 상대적으로 쉽고, 건설비용이 적게 드는 천연가스복합발전기가 사기업 투자가들에 의해 많이 건설되어졌다. 지속적인 기술개발과 저가의 원료로 펜실베이니아와 오하이오 지역의 발전소 건설 의향의 57%를 차지하고 있다.

New-England ISO가 신재생에너지로 인한 전력계통의 신뢰성을 확보하기 위해서 복합발전소를 선호하는 한 복합발전기들의 중요성은 점점 커질 전망이다.

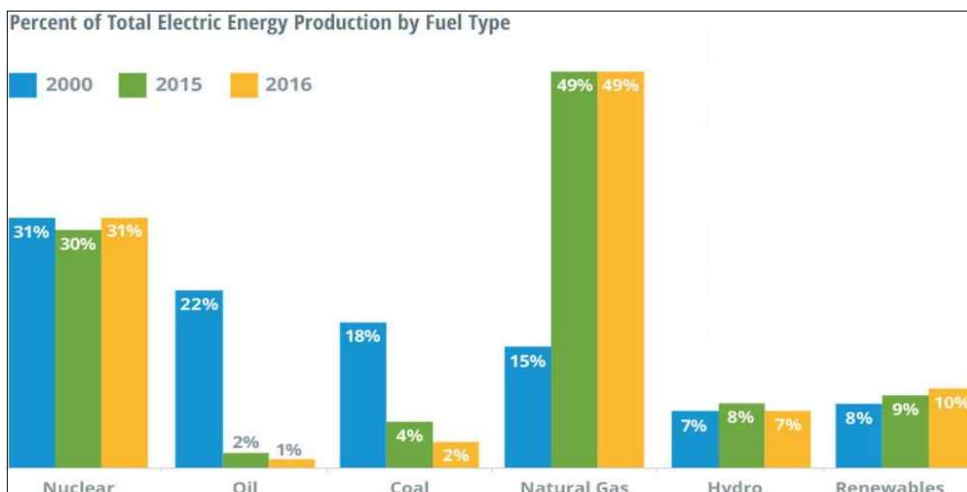


<출처 : ISO New England 홈페이지>

1.2 증가하는 천연가스 유용성 문제

지난 몇 년 동안 복합발전기들의 원료인 천연가스를 공급하는데 여러 가지 문제점들이 나타났다.

- 부족한 파이프라인 : 현재 천연가스 파이프라인들의 용량은 겨울철 포화 상태이다. 파이프라인에 여유가 있다라고 장기 계약을 하는 수용가한테 우선권이 돌아간다. 뉴잉글랜드에는 LDC(Local Gas Distribution Companies)가 상업용 및 주거용 천연가스 공급을 맡고 있다.
- 대부분의 복합발전기들은 LDC로부터 파이프라인을 통해 연료를 공급받고 있다. 더 많은 사람들과 기업들이 가격이 저렴한 SHALE GAS를 공급받기를 원한다면 파이프라인 여유는 점점 더 없어지며, 복합발전기들 간의 연료 확보 경쟁은 더욱 치열해지고 있다.
- 천연가스시장과 전력시장은 스케줄이 서로 다르기 때문에 복합발전기들이 운전하기 원하는 날에는 가스가 부족한 경우가 생기고 있다.
- 다른 연료를 사용하는 발전기와는 달리, 복합발전기는 천연가스 저장고를 가지고 있지 않기 때문에, 파이프라인을 통한 공급 위험성에 노출되어 있다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

- 복합발전기는 유류로도 가동하는 Dual-Fuel 능력을 가질 수 있으나, 현재 복합발전기의 40%만 이러한 능력을 보유하고 있다. 따라서 겨울철 신뢰도프로그램 및 전력시장 인센티브를 통해 복합발전기들이 이중연료 능력을 갖추게 하거나, LNG 저장창고를 건설하도록 유도하고 있다.

2. 천연가스의 영향

2.1 신뢰도 위협

New-England의 천연가스 비중이 높은 관계로, 가스 부족은 직접적으로 전력계통 신뢰도에 영향을 미친다. 예를 들면, 천연가스 파이프라인의 손실은 수천MW의 발전력 손실을 가져오게 한다. 천연가스 복합발전기의 기동이 불가능할 경우 ISO는 석탄 또는 중유 등의 대체 발전기를 기동해야 하는데 기동시간이 오래 걸리고, 연료부족 및 노후화로 운전불가 문제가 발생할 수 있다. 또한, 신재생에너지의 증가로 발전력 변동 시 대응능력이 떨어지고 있으며, 유효한 석탄 및 중유발전기도 갈수록 줄어들고 있는 실정이다.

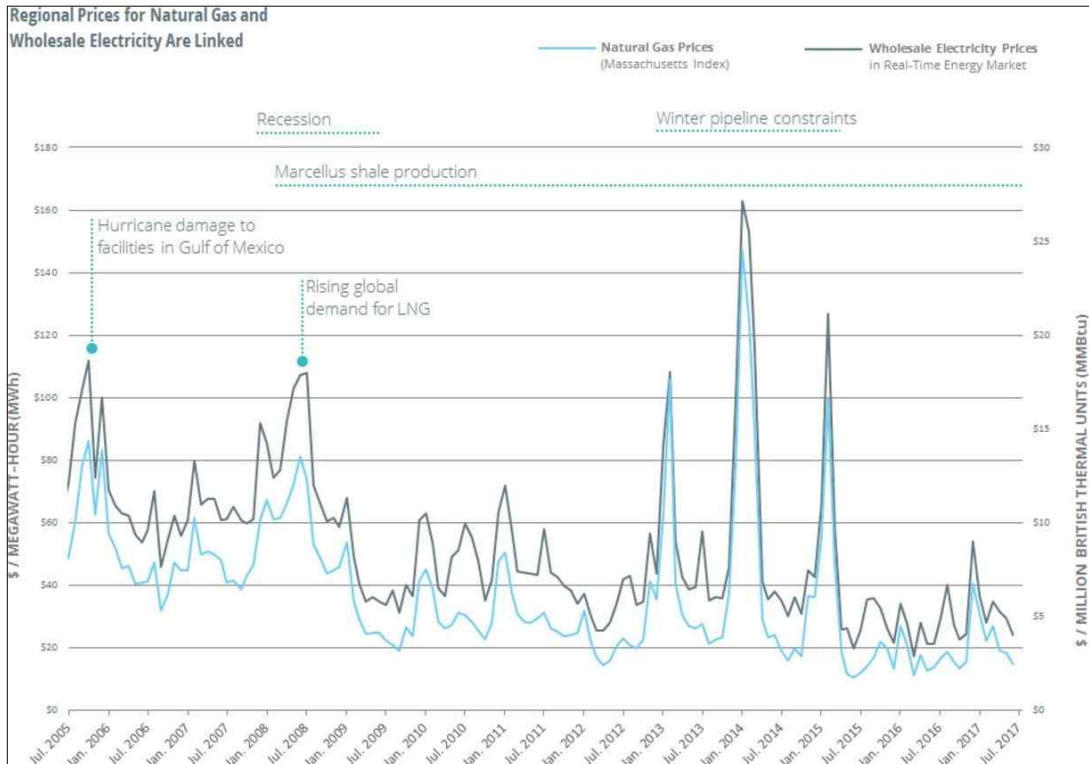
2.2 가격의 급등락 반복

연료비용은 전력시장비용과 직접적인 관계가 있다. 따라서 관내 대부분을 차지하는 복합발전기들의 원료인 천연가스 가격의 변화는 전력가격에 큰 영향을 미친다. 또한, 매우 추운 날에 파이프라인의 부족은 전력가격을 상승시킬 수 있고 다른 변수들 의해 하락시킬 수도 있다.

- 2008년부터 2012년까지는 shale 가스의 생산량 증가로 뉴잉글랜드에서 천연가스 가격은 떨어졌다. 또한, 겨울 날씨가 춥지 않았기 때문에 천연가스 파이프라인의 제약이 없었다.
- 2012년부터 2013년까지는 겨울철 온도 저하로 인한 난방용 가스 공급증가로 파이프라인 제약이 생기면서 뉴잉글랜드에서 천연가스 가격은 상

승했다.

- 2014년도와 2015년도 상반기까지만 해도 천연가스의 가격은 상당히 높았으나 2015년 6월부터 온화한 날씨, 낮은 수요 등으로 인해 가장 낮은 가격을 기록했으며 이후 2017년 현재 계속 낮은 가격을 형성중이다.



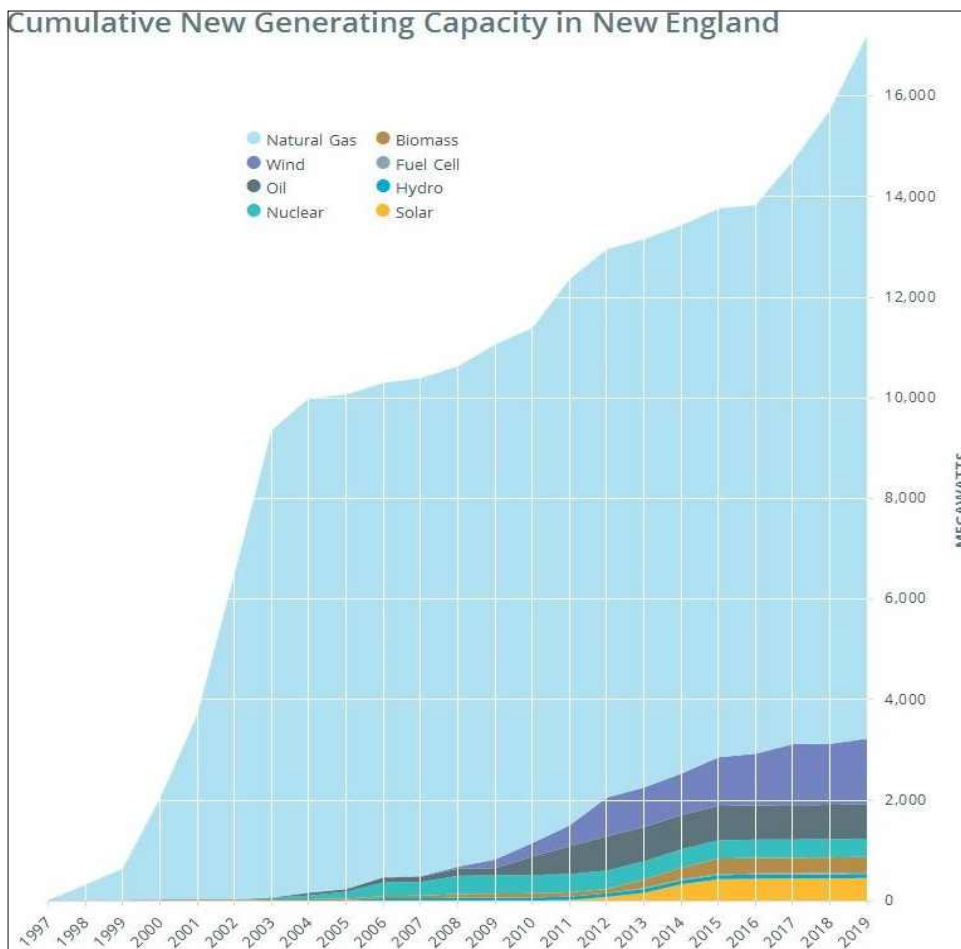
<출처 : ISO New England 홈페이지>

2.3 설비체계 개선

파이프라인 및 LNG 저장고의 증가 없이는, 신뢰도 및 전기가격에 대한 영향은 계속되어질 전망이다. 최근 용량시장에서의 큰 변화는 고정출력 및 지속적인 연료공급을 보장하는 발전사업자 또는 새로운 대체에너지원을 소유한 발전사업자에게 큰 인센티브를 주고 있다.

파이프라인 건설비용은 주로 15년 이상의 장기 계약을 맺은 소비

자들에게서 충당된다. 하지만, 이러한 장기간의 고정된 천연가스 공급은 발전사업자들에게는 큰 매력이 아니다. 왜냐하면, 발전사업자들은 전력시장에서 저렴한 가격을 유지하면서 경쟁성을 확보하기를 원한다. 따라서 복합발전사들은 천연가스와 중유 사용이 가능한 설비개선에 초점을 두고 있다.

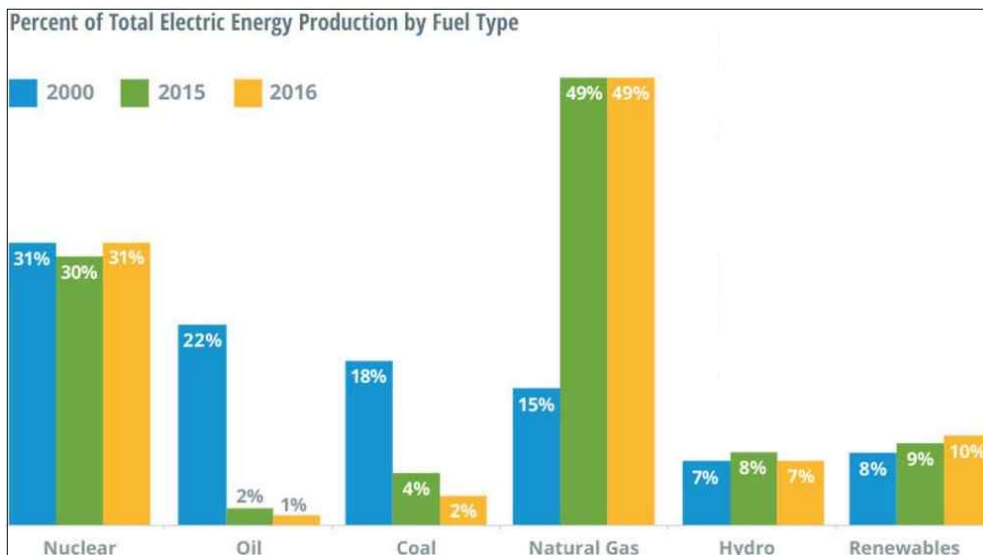


<출처 : ISO New England 홈페이지>

3. 기존 발전원들의 퇴출

3.1 환경정책으로 인한 기존 발전기들의 퇴출

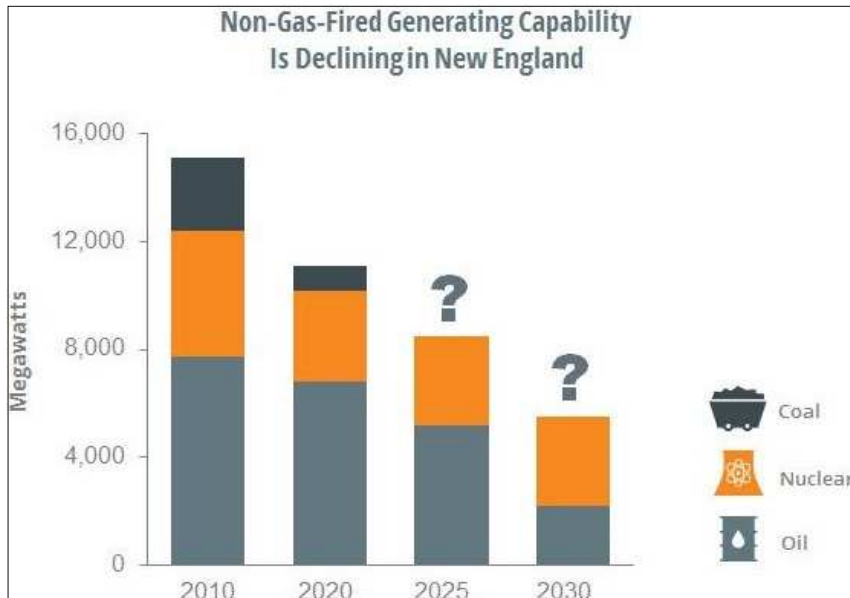
석탄과 중유 발전기들은 비용 상승 및 환경문제로 시장에서 퇴출되면서 점점 천연가스 발전기들로 대체되고 있다. New-England ISO 관내에서는 이러한 이유로, 중유 및 석탄 발전기들은 피크 시 또는 천연가스 가격 상승 시에만 운전되고 있다. 전체설비용량의 26%를 차지하고 있음에도 불구하고 2017년 기준 발전량은 3%만을 차지하고 있다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

3.2 원자력발전 감소

New-England ISO는 원자력발전을 기저발전으로 오랜 기간 이용해왔다. 하지만, 2014년 Vermont Yankee 원자력발전소 폐지는 정부정책이 전원구성에 얼마나 영향을 미칠 수 있는지 보여주는 예시가 되고 있다. 경쟁적인 전력 시장가격은 원자력발전을 추가로 건설하기에는 건설 및 운영비용의 상승으로 부정적이다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

3.3 수력발전

New-England ISO관내의 수력발전기들은 주파수조정 및 예비력으로써 큰 역할을 해왔다. 하지만, 주정부의 환경정책으로 추가건설에 대한 추진력을 잃어버렸다. 현재 약 2,000MW 정도의 양수발전소는 2022년까지 모두 폐지될 전망이다.

3.4 용량시장 개편

용량시장에서의 가격안정화와 선도용량 거래를 촉진하기 위해 ISO-NE는 몇 가지 개편을 준비 중이다. 먼저, 노후 또는 특정 이유로 먼저 퇴출되는 발전기를 보유한 사업자가 그 용량만큼 선도용량시장에서 입찰할 수 있도록 하는 방안이다. 이는 도매전력시장에서 하루 전 시장과 실시간 시장 사이에서 일어나는 처리방안과 유사하게 추진될 예정이다.



<출처 : ISO New England 홈페이지>

4. 에너지신산업

4.1 예측 불확실성에 따른 대응

New-England ISO는 새로운 전력산업의 물결에 휩쓸리고 있다. 그 예 중 하나가 바로 수급예측이 불확실해진다는 것이다. 예를 들어, 풍력과 태양광 모두 일기예보를 바탕으로 전력공급을 계산하는데 이로서는 시시각각 변하는 바람의 방향, 세기나 일조량의 상태 및 그에 따른 수요변화를 예측하는 것은 한계가 있다.

따라서 이러한 상황에 맞추어 새로운 수요예측 기법과 발전하는 기술들을 함께 사용하려 노력하고 있는데, 바로 IBM 사의 “Watt-Sun 프로젝트”이다. 이 프로젝트는 머신러닝 기법을 이용하여 기존의 일기예보와는 다르게 일조량을 예측한다.

4.2 에너지신기술

풍력, 수력 및 다양한 발전원들로 시시각각 가장 적절한 발전량으로 가장 저렴한 가격으로 전력을 생산하려는 노력들이 일어나고 있다. 흔히 알고 있는 태양광 등을 넘어서 완전 새로운 발전원인 플라이휠 또한 이용 가능하다. 또한 클라우드 컴퓨팅을 이용하여 엄청난 양의 데이터들을 처리해 블랙아웃을 대비할 수 있도록 준비 중이다.

사이버 보안도 중요한 화두 중 하나인데, 전력망이 고도로 상호연결 되어 있는 현재 상황에서 보안의 허점은 ISO의 신뢰도에 크나 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 24시간 빈틈없고 충분한 보안이 점점 더 필요해지고 있다.

〈 참고 문헌 〉

1. 2017 Regional System Plan
2. Wholesale Electricity Market Design Initiatives 2016 EPRI
3. 2017 Regional Electricity Outlook
4. New England Power Grid 2016-2017 Profile
5. ISO New England Operation Procedure
6. www.ISO-NE.com