

# 2017년 해외 전력산업 동향

WORLD POWER MARKET TREND *Biennial Report*

작성자 : 전력계획처 직원 김영중(☎061-330-8322)

## 미국 MISO

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.

# MISO

## 전력산업동향

I. MISO 개요 및 전력시장 구조 .....	03
II. 전력수급 현황 .....	15
III. 시장운영 현황 .....	17
IV. 장기 송전계획(MTEP) 수립 .....	24
V. 주요현안 .....	28

# I MISO 개요 및 전력시장 구조

## 1. ISO 개요

### 1.1 설립 배경

1990년대 미국 전력시장은 높은 송전망 이용요금(pancaked transmission rates<sup>1)</sup>)과 비효율성으로 민간의 신규투자가 전혀 이루어지지 않았다. 이러한 구조적 문제를 해결하고자 FERC는 1996년 수직·독점 체제의 전력계통분야를 개방, 발전분야에 경쟁을 도입하기로 결정했으며, Order 888을 발표해 모든 송전망 소유 전력회사에 대해 망 개방을 의무화 하였다. 이에 따라 전력회사는 제3자에 대하여 비차별적으로 송전 서비스를 개방하는 송전망 개방 요금표(OATT, Open Access Transmission Tariff)를 제출, FERC의 승인을 받게 되었다. 이와 같은 시기에, 중서부 지역의 전력회사들은 자발적으로 독립기관 설립을 논의, 송전 설비 매각 문제와 독립적인 제3자에게 그 운영권을 이양하는 문제를 해결하기 위해 중서부 지역 송전망 소유자 6개사가 중심이 되어 1996년 Midwest Independent Transmission System Operator(MISO)를 설립 하였다. 1998년 MISO는 FERC로부터 독립계통운영자로서의 조건적 승인을 획득하고, 2000년에는 첫 번째 이사회가 선출되었다.

### 1.2 주요 연혁

#### 1.2.1 Day-0 Market

1998년 FERC는 중서부지역 10개 송전망 소유 전력회사가 자신들의 송전망 설비의 기능적 운영 권한을 MISO로 이관하도록 하고, 및 송전망개방요금

---

1) "Pancaked transmission rates"는 전력이 여러 전력회사의 송전망을 통해 송전될 때, 여러 회사의 송전 이용 요금이 누적되는 관례를 표현할 때 일반적으로 사용되는 용어임. 송전이 용 요금이 서로 연계되지 않았기 때문에, 일반적으로 한계비용을 초과하였으며, 이것이 미국 전력산업의 경제적 비효율성을 악화시켰다.

표에 관한 신청서를 승인하였다. 또한, MISO는 송전설비를 소유하고 물리적으로 관리하는 책임을 가지는 송전망 소유사들이 송전망 기능조정 및 송전요금표 관리 권한을 MISO로 이관함으로써 단순히 표준 송전 요금표를 통한 누적 송전요금(pancaked rate)의 개선과 비차별성 확보에 그치지 않고, 실제적인 의무의 분리를 이루어, 초기 Order 888의 강제조항을 뛰어넘는 진전을 이루었다.

### 1.2.2 Day-1 Market

1999년 FERC는 전국가적으로 RTO 설립을 권장하는 규칙을 공표, 2001년, 국가 최초로 MISO를 RTO로 승인하였으며, 이와 동시에 MISO 시장의 Day-1 market 시대가 시작되었다. 2002년 MISO는 FERC의 승인을 받은 개방 접속 송전요금표(OATT, Open Access Transmission Tariff)에 따른 송전서비스 제공과 함께 개방 접속 동시 정보공개 시스템(OASIS, Open Access Same time Information System), 공급가능 송전용량(ATC, Available Transfer Capability) 및 총 송전용량(TTC, Total Transfer Capability)의 결정, 안전성 조정, 송전계획, 계통운영 및 시장 감시와 같은 서비스도 제공하기 시작하였다. 하지만 2000년 당시 대부분의 전력거래는 쌍무계약(bilateral contract)을 통해 이루어져 시장 감시는 제한적이었다. 또한 송전계약 처리 문제를 지역 BA(Balancing Authorities)가 전담하는 계통부하 완화(Transmission Loading Relief, TLR)방식과 같은 비(非)시장 메커니즘을 통해 처리하고 있었다. MISO는 다른 RTO와는 달리, 자신의 관할 구역에 많은 BA를 포함하고 있었다. BA는 RTO의 조직은 아니며, 지역 수직·통합 독점 전력회사의 부분으로, 발전기 기동정지(UC, Unit Commitment) 및 경제급전(ED, Economic Dispatch), 보조서비스, 운영예비력 관리, 자원적정성(resource adequacy) 확보 역할을 독자적으로 수행하였다.

### 1.2.2 Day-2 Market

MISO의 Day-1 시대는 중서부 전력산업의 변혁을 이루었지만, 여전히 PJM 및 ISO-NE 등 동부지역 ISO와 비교했을 때<sup>2)</sup>, 투명한 전력시장 구조와 가격결정 메커니즘을 실행하기에 미흡하였다. FERC는 추가적으로 하루전시장과 실시간 지역한계가격(Locational Marginal Price)을 통한 시장기반 계통운영 서비스를 요구했으며, 이에 따라, MISO는 2004년 접속개방계통 및 에너지시장요금제(TEMT, Open Access Transmission and Energy Market Tariff)를 제출, FERC의 조건제 승인을 받으면서 시장개설이 가속화 되었다. TEMT는 LMP기반 가격신호를 가지는 1일전(Day-Ahead) 및 실시간(Real-Time) 에너지 시장을 운영하기 위한 규칙을 포함하고 있으며, MISO는 혼잡에 따른 지역적 가격 리스크를 시장참여자가 해지할 기회를 제공하는 재무적송전권(FTR, Financial Transmission Rights) 시장의 개설도 추진하였다. 2005년 MISO는 공식적으로 Day-2 시장운동을 공표, 중서부 지역 대부분을 아우르는 도매전력시장과 재무적송전권 시장을 제공하기 시작했다.

### 1.2.2 Day-3 Market

2007년 MISO는 FERC에 규제 및 운영 예비력을 조달하는 보조서비스시장(ASM, Ancillary Service Market) 개설에 대한 제안서를 제출, 각 지역 BA의 권한을 MISO 단일 BA로 이관토록 요청하였다. 당시 규제 및 운영 예비력 조달은 비용기반 프로세스에 따라 각 BA의 책임이었지만, 에너지는 MISO를 통한 시장기반 프로세스에 따라 조달되었기 때문에, MISO는 에너지와 연계하여 예비력을 운용코자 하였다. 그 결과 2009년 보조서비스시장(ASM)이 개설, MISO는 NERC로부터 중서부지역 단독 BA로 승인을 받으며, 동시에 Day-3 Market으로 넘어가게 되었다.

---

2) PJM는 1997년 4월 입찰기반 에너지 시장 개시, ISO-New England는 1999년 5월 최초의 전력거래시장을 개시하였다.

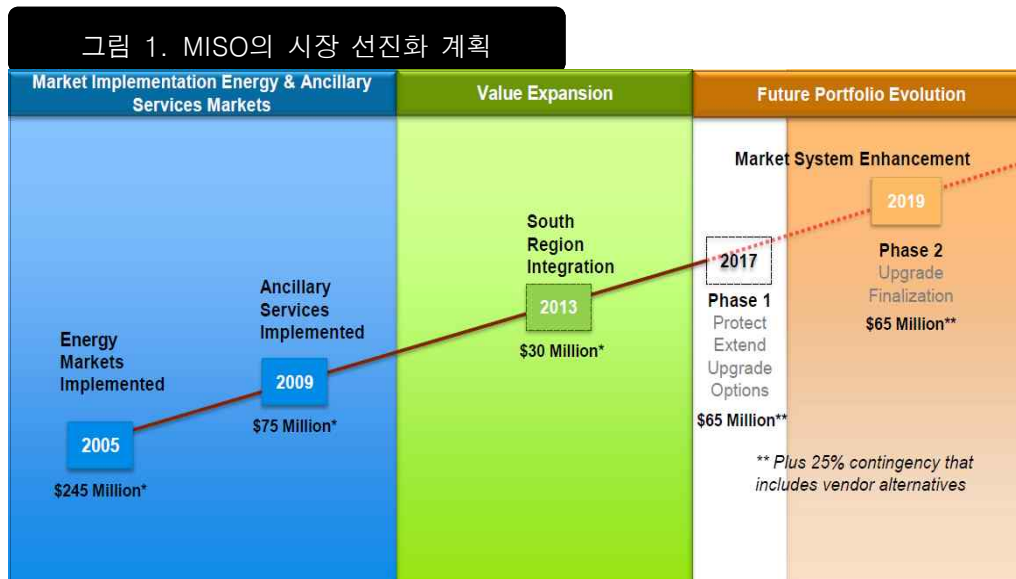
## 1.3 MISO 현황

### 1.3.1 MISO의 가치(Value Proposition)

MISO는 2005년 에너지시장 개시 이후부터 매년 MISO 서비스 제공에 따른 계통 신뢰도 향상과 모든 발전자원의 효율적 이용의 편익(Benefit)을 산출하여 공개하고 있다. 2016년 연간 총 이익은 \$2.6~\$3.3 billion이며 과거 10년 동안의 누적 이익은 \$17.5 billion에 이를 것으로 추정하고 있다.

### 1.3.2 MISO의 시장 선진화(Market Developments)

MISO는 2005년 4월 전력시장 개설 이래 2009년 1월 보조서비스 시장을 개설하였으며, 2013년에는 용량시장 개설 및 남부 지역을 새로이 관할지역에 편입하며 사명을 Midwest ISO에서 Midcontinent ISO로 개명하였다. 또한, 전력시장 선진화를 위해, 2017년까지 현 시장시스템의 개선점 탐색, 2019~2020년 시장시스템 선진화를 목표로 Market System Enhancement 사업을 진행 중이다.



출처 : Market System Evaluation/Market System Enhancement Stakeholder Workshop#1 (MISO, 2017)

## 2. 전력시장 구조

### 2.1 에너지시장

#### 2.1.1 에너지시장 주요 참여 요소

MISO 에너지시장 참여자는 물리적공급, 재무적공급, 물리적수요, 재무적수요의 4 주체로 구분된다. 물리적공급자는 발전설비 소유업체들로 에너지 판매를 위해, 하루전·실시간시장에 참여 기동, 무부하, 증분비를 입찰(Offer)하며, 시장가격이 증분비 입찰가보다 높을 경우 거래가 성사된다. 물리적수요자는 부하공급업체(Load-Serving Entities)로 에너지 구매를 위해 하루전·실시간시장에 입찰(Bids)하는데, 가격을 고정 혹은 시장가격에 연동(Price-Sensitive)하여 입찰 할 수 있다. 고정입찰은 항상 거래가 성사되나, 가격연동입찰은 시장가격이 입찰가보다 낮을 경우 성사된다. 재무적공급은 증분입찰(Incremental offer)로 불리며, 입찰가격보다 시장가격이 높을 경우 하루전시장에 에너지를 파는 가상거래다. 거래성사 시, 실시간시장에서 에너지를 구입, 계획에 포함된 공급량을 맞춰야하며, 주로 하루전가격이 실시간가격보다 높을 경우 이용된다. 재무적수요는 감소입찰(Decrement Bids)이라 불리며, 입찰가격보다 시장가격이 낮을 경우 하루전시장에서 에너지를 사기위한 입찰이다. 거래성사 시, 실시간시장에서 에너지를 팔아 계획수요량을 맞춰야 한다. 주로 실시간가격보다 하루전가격이 낮을 경우에 이용된다.

표 1. 에너지 시장 주요 참여 요소

	공급(Supply)	수요(Demand)
물리적 (Physical)	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 매도 발전기 청약</li> <li>- 1일전 / 실시간 시장</li> <li>- 3부분 청약 (기동, 무부하, 증분에너지)</li> <li>- 청산가격 &gt; 증분에너지가격</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 매수 전력공급업체 입찰</li> <li>- 1일전 / 실시간 시장</li> <li>- 고정 또는 가격연동</li> <li>- 고정(항상 성사), 가격연동(입찰가격&lt;청산가격)</li> </ul>
재무적 (Financial)	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 매도 가상 청약(1일전)</li> <li>- 1일전가격 &gt; 실시간가격 예상</li> <li>- 실시간 시장에서 전력구입 필수</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>에너지 매수 가상 입찰(1일전)</li> <li>- 1일전가격 &lt; 실시간가격 예상</li> <li>- 실시간 시장에서 전력판매 필수</li> </ul>

출처 : 해외전력산업동향 2015 (전력거래소)

## 2.1.2 하루전 시장

하루전시장은 시장 참여자가 거래일 하루 전에 실시간 시장에서 거래될 에너지를 입찰(offers, bids)하여 거래할 수 있는 선도(forwards)시장으로, 시장 참여자에게 실시간 시장의 변동성에 대한 해지 수단을 제공한다. 즉, 실시간 시장에서 시장 메커니즘에 근거한 예측을 가능케 하고 ISO가 사전에 대부분의 자원을 확보하여 계통신뢰도를 유지할 수 있게 도와준다. 시장참여자들은 1일전 10시 30분까지 입찰하여야 하고, MISO는 수요공급량, 송전설비 예방정비계획, 발전기 특성 등을 고려하여 13시 30분에 청산 수요량, 청산 공급량, 계통 제약 및 지역별한계가격(LMP, Locational Marginal Price)을 공개한다. 이후 14시 30분까지 재입찰을 받은 후 18시에 최종적으로 계통을 고려한 신뢰도발전계획(RAC, Reliability Assessment Commitment)을 발표한다.

## 2.1.3 실시간 시장(Real-Time Market)

실시간 시장은 하루전시장 청산 결과를 토대로, 실시간 에너지 수급을 조절하는 균형 시장이다. 안전도 제약 경제 급전(Security Constraints Economic Dispatch, SCED)은 개별 발전기 및 송전계통의 실시간 제약 상황에서 에너지 수급을 조절하고 적정 예비력 확보를 최소 비용에 수행할 수 있도록 5분 단위로 급전을 시행하는 것으로, 5분 단위의 급전은 발전량, 부하, 전력조류 등 실시간 정보를 수집하여 각 노드의 가격을 계산하고 급전 지시를 수정·조정한다. MISO는 5분 단위 급전을 적용하고 있어 더욱 빠르고 정확하게 변화하는 계통 상황에 대처할 수 있다. 하지만 5분 단위의 급전은 가격의 변동성을 증가시키는 약점도 동시에 가지고 있다. 실시간 시장의 실적은 하루전시장에 간접적으로 영향에 미치기 때문에 매우 중요하다. 왜냐하면 선물 거래는 시장참여자들의 주요한 리스크 관리 방법으로 실시간 시장의 변동성 증가는 하루전시장의 리스크 프리미엄을 상승시켜, 선물 가격 전체를 상승하게 만들기 때문이다.

#### **2.1.4 적정수입보장정산금(RSGP, Revenue Sufficiency Guarantee Payment)**

RSGP는 MISO가 실시간 시장에서의 부족한 수입을 보전하기 위하여 발전기에 지급하는 총 보상비용(Make Whole)으로 발전기의 총 생산비용(변동비+무부하비용+기동비)에서 실시간시장에서의 수입의 차이와 같다. 다음은 RSGP가 지급되는 2가지 경우에 대한 설명이다.

- 한계가격 결정 발전기가 무부하 및 기동 비용을 회수하지 못하는 경우: LMP는 순수 변동비를 기준으로 결정되므로, 한계가격 결정 발전기가 실제 기동·발전할 경우, 실시간 시장에서는 LMP로만 보상, RSGP를 통해 무부하비용 및 기동비를 지급한다.
- 계통여건에 따른 급전지시를 받는 경우: 계통여건에 따라, LMP보다 가격이 높은 발전기가 급전지시를 받는 경우 발전기의 총 생산비용과 LMP의 차이를 지급한다.

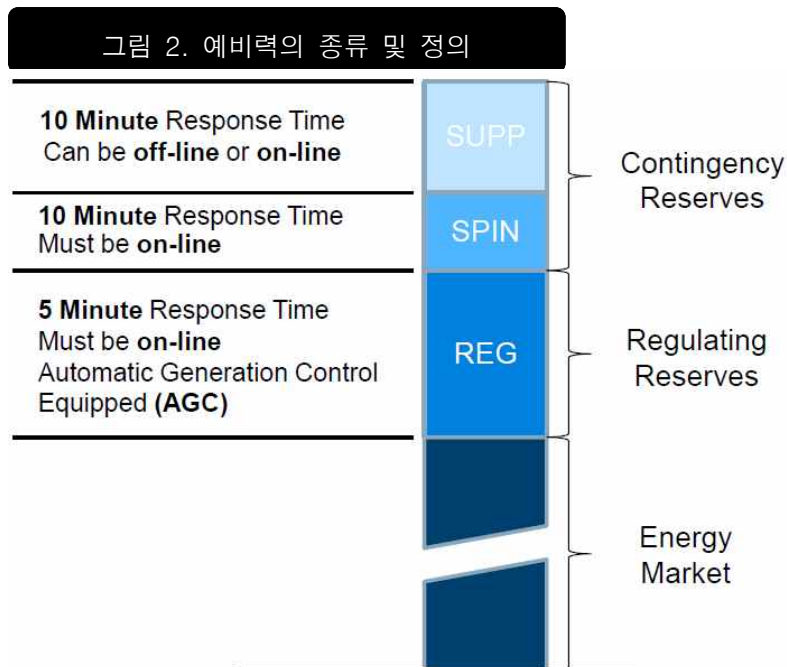
#### **2.1.5 가격변동성보상정산금(PVMWP, Price Volatility Make Whole Payment)**

MISO는 2008년 실시간 시장에서 계통에 유연성을 제공하는 자원에 적정 비용을 보상할 수 있도록 한 PVMWP를 도입하였다. 이 정산금은 실시간급전에서 참여자가 MISO의 급전지시를 충실히 이행할 경우 적정 인센티브를 제공, 급전지시에 적극적으로 참여할 수 있도록 하여 MISO가 계통 신뢰도를 확보하도록 도와준다. PVMWP는 하루전시장 이익 보장 정산금(DAMAP, Day-Ahead Margin Assurance Payments)과 실시간 운영적정수입보장정산금(RTORSGP, Real Time Operating Revenue Sufficiency Payments)으로 구성된다. DAMAP는 수요가 하루전 계획량 보다 낮지만, 계통계약으로 실시간 가격보다 청약 가격이 높은 발전기에 급전지시를 할 경우 지급하고, RTORSGP는 수요가 하루전 계획량 보다 높은 경우 증가한 수요를 감당하기 위하여 급전지시 받는 발전기에 지급한다.

## 2.2 보조서비스 시장(Ancillary Services Market)

보조서비스 시장은 에너지 시장과 연계해 최적의 주파수조정예비력(Regulation Reserve), 운전예비력(Operation Reserve or Spinning Reserve) 및 정지예비력(Supplemental Reserve or non-spinning reserve)을 제공하기 위한 예비력상품으로 하루전시장과 실시간시장에서 운영된다. 주파수조정예비력은 실시간 주파수 조정을 위해 5분 이내의 양방향 출력증감 능력을 갖춘 발전기를 대상으로, 운전예비력은 발전기 트립(trip)과 같은 공급량 감소 시 10분 이내 출력 상승이 가능한 운전중인 발전기를 대상으로, 정지 예비력은 수요상승 시 기동 가능한 정지중인 발전기를 대상으로 한다.

보조서비스 시장의 예비력 필요량은 전력신뢰도기구(ERO, Electricity Reliability Organization) 및 각 지역기관(Regional Entity)의 운영기준 충족을 위해 필요한 예비력을 매 시간별로 운영일 48시간 전까지 발표, 하루전 시장과 실시간 시장에 적용된다. MISO는 비상상황(Emergency Operating Condition) 발생시 실시간시장의 예비력필요량을 조정할 수 있다.

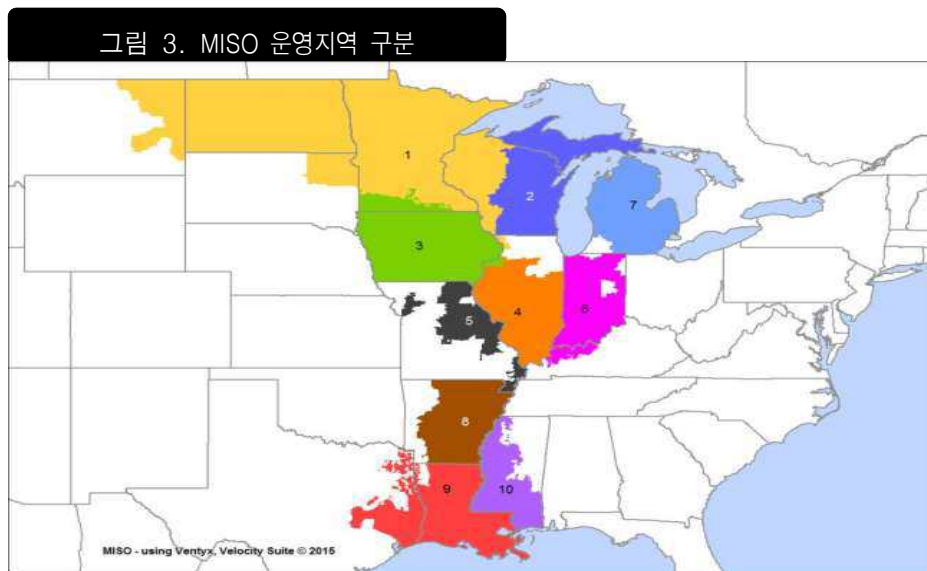


출처 : Market Settlements Generation Overview(MISO, 2011)

## 2.3 용량시장

### 2.3.1 자원 적정성 계획(Resource Adequacy Construct)

MISO의 관할구역 내 부하공급사업자(Load-serving Entities)들은 자원적정성(Resource Adequacy)에 대한 책임을 가지고 있으며, MISO는 최대부하 시 충분한 공급용량을 확보하도록 자원 적정성 계획을 수행하고 있다. MISO는 이 계획에서 계통 신뢰도기준인 LOLE<sup>3)</sup> 0.1일/년을 만족하기 위한 계획예비용량(Planning Reserve Margin) 및 필요물량(Resource adequacy requirements)을 산정, 전력공급 업체는 이를 자체공급(Self-supply), 쌍무계약(bilateral contracting), 용량시장(Planning Resource Auction)을 통해 확보한다.



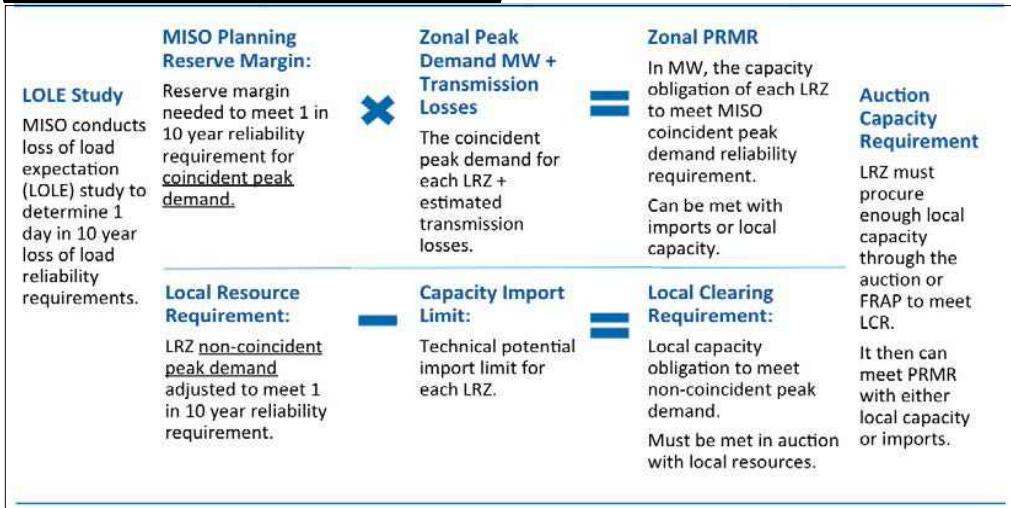
출처 : Map of Local Resource Zone Boundaries(MISO, 2016)

3) LOLE(Loss of Load Expectation): 특정 기간에 대하여 공급지장이 발생할 시간의 기대치

### 2.3.2 자원 확보 필요량 산정

MISO의 자원적정성 계획에 따라 부하공급사업자(Load-serving Entities)는 시장에서 그들 자신의 피크수요를 만족하기 위해 필요한 지역별 요구용량(LCR, Local Clearing Requirement)과, 해당 운영지역 전체에서 MISO의 신뢰도 기준 만족을 위해 필요한 전체요구용량(PRM, Planning Reserve Margin requirement)을 확보해야 하며, 각각 다음 [그림 4]의 운영지역(LRZ, Local Resource Zones)에 구분해 [그림 4]의 기준에 따라 산정된다. 부하공급사업자는 이에 따라, 필요물량 확보를 위해 고정 자원 적정성 계획(FRAP, Fixed Resource Adequacy Plan)을 통해 운영지역(LRZ, Local Resource Zones) 내 자원을 전체요구용량(PRM, Planning Reserve Margin requirement)으로 조달할 수 있다.

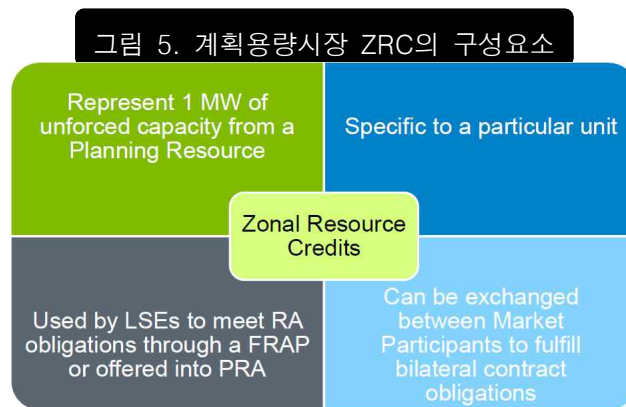
그림 4. MISO 필요 계획용량 산정 방식



출처 : MISO' s Capacity Auction: Uncertainty Going Forward(ICF. 2015)

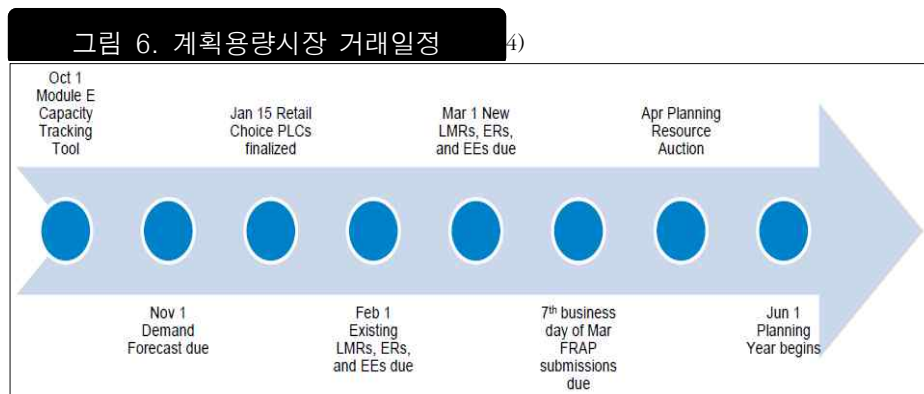
### 2.3.3 용량시장 운영

MISO의 용량시장은 부하공급사업자(Load-serving Entities)들이 시장 개설 전 책무 이행을 위해 자원을 조달하는 계획인 FRAP(Fixed Resource Adequacy Plan)에 포함되어있지 않은 자원들에 보상을 제공하며, 각 자원은 [그림 5]와 같은 ZRCs(Zonal Resource Credits) 단위로 거래된다.



출처 : MISO' s Resource Adequacy Overview(MISO, 2017)

용량시장의 운영은 계획 시작년도 6월에서 다음 해 5월까지의 자원에 대해, 계획시장년도 4월에 운영, 단일, 밀봉입찰경매가(Single, Sealed-bid Clearing price)로 시장 청산이 이루어진다.



출처 : MISO' s Resource Adequacy Overview(MISO, 2017)

- 4) PLC: Peak Loac Contribution  
 ER: External Resources  
 LMR: Load Modifying Resources  
 EE: Energy Efficiency Resources

## 2.4 송전혼잡 및 송전권 시장

### 2.4.1 송전혼잡 개요

MISO의 지역별 시장구조는 송전용량의 효율적 이용과 에너지가격이 각 지역의 한계가치를 반영하도록 설계되었다. 혼잡비용은 저 비용의 에너지가 송전선의 조류한계로 전송되지 못해 고 비용의 에너지가 사용될 경우 발생한다. 혼잡이 발생하면, 송전선에 연결된 두 지역의 가격 차이가 발생, 그 크기가 송전선 용량의 한계 가치이다. MISO 시장 메커니즘은 LMP의 혼잡 요소들과 정산 프로세스에 따라 혼잡 비용을 산출한다. 수요지(Sink)의 순수 부하는 수요지의 가격으로 정산되고, 전원지(Source)의 순 발전은 전원지의 가격으로 정산되기 때문에, 수요지의 부하는 전원지의 발전기가 얻는 수입보다 더 많이 지불하게 된다. 이 금액 차이가 바로 혼잡 비용이 된다. 혼잡을 반영하는 지역적 가격은 중요한 경제적 신호를 제공하는데, 단기적으로는 발전기의 운영 효율성을 향상 시키고, 장기적으로는 전력 설비의 투자와 폐쇄 결정에 영향을 끼친다.

### 2.4.2 재무적송전권(FTR)

FTR 소유자는 특정 FTR에 대한 전원(Source)와 수요지(Sink) 사이에서 징수되는 혼잡 비용 권리를 가진다. 따라서 시장참여자는 FTR을 통해 계통 혼잡에 대한 가격 리스크를 관리 할 수 있다. FTR은 계절별, 월별뿐만 아니라 연별 할당 프로세스를 통해 할당된다. 2008년 6월 MISO는 옥션 수입권(ARRs, Auction Revenue Rights)을 도입하였다. 이 방식은 FTR의 옥션 수입을 APR로 전환시키는 것이다. MISO는 FTR로 선정된 각 송전선의 1일전 혼잡 가치를 FTR 소유자들에게 지불하도록 강제하였다. FTR 정산금은 FTR의 Sink와 Source 사이의 각 단위별 혼잡 비용에 FTR 량을 곱한 값이 되고, 하루전시장에서 징수되는 혼잡 수입으로 FTR 의무금을 지불하게 된다. 하지만 하루전시장에서 징수되는 혼잡 수입과 FTR 의무금은 차이가 날 수 있는데, 이는 송전선 고장 및 여러 요소들로 인해 하루전시장의 계통용량과 FTR 시장 개시 시점에 모델링의 산출용량과의 차이 때문이다.

### 2.4.3 FTR 시장가격과 혼잡

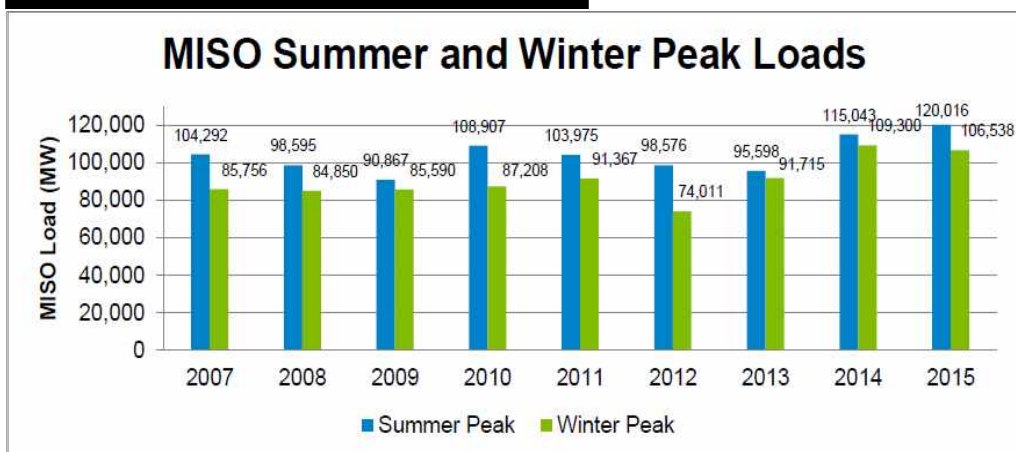
대부분의 송전권은 계절별, 월별 옥션에서 거래되고, 일부만 옵션 B와 Carve-Out FTR 소유자들에게 할당된다. 성공적인 FTR 시장이 되기 위해서는 하루전 혼잡의 합리적인 예측치를 반영하는 FTR 가격이 산출 되어야 하는데, 결국 FTR 시장 유동성의 핵심 포인트는 FTR 구매의 수익성이 된다. FTR 수익은 FTR 구매액과 FTR 소유자들에게 하루전 시장에서 주는 정산금과의 차이가 된다.

## II 전력수급

### 1. 전력수요

MISO는 서부지역이 예외적으로 겨울 피크를 보이고 있지만 일반적으로 여름 피크 지역이다. [그림 7은 MISO의 연도별 하/동계 부하실적을 보여주고 있다. MISO는 South region이 관할지역에 포함되면서, 2014년 1월 6일 109.3GW로 기존의 동계 피크수요(99.6GW, 2010) 기록을 갱신했다. 한편, 하계 피크수요 기록 127GW로, South region으로의 관할지역 확대에도 갱신되지 않았다.

그림 7 연도별 부하실적

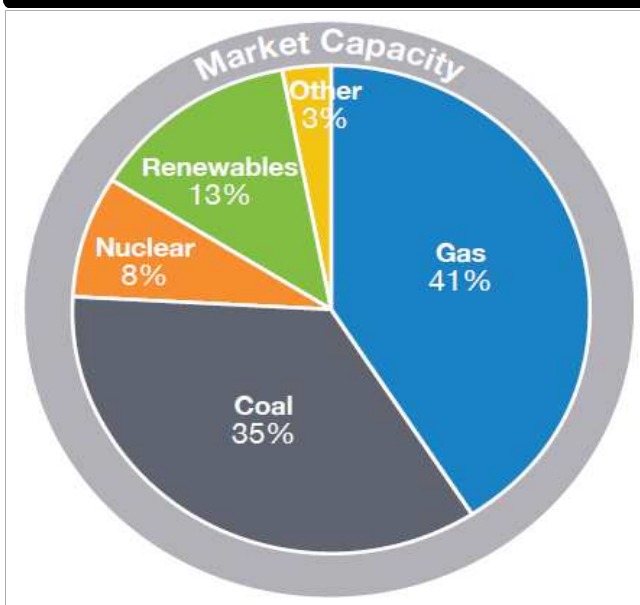


출처 : MTEP 2016 Report (MISO, 2016)

## 2. 발전설비

2017년 5월 기준 MISO 발전설비용량은 175GW로, [그림 8]은 원별 설비용량 비중을 보여준다. MISO는 천연가스 발전소가 약 41%, 석탄 발전소가 35%로 대부분을 차지하고 있으며, 발전량은 2016년 기준 천연가스 발전소가 27%, 석탄 발전소가 46%로, 여전히 석탄 발전소가 많은 양의 기저부하를 담당하고 있다. 원자력은 약 8% 수준의 설비용량이지만 석탄과 같이 기저부하 발전기로 총 발전량 대비 16%를 담당하고 있다. 신재생 전원은 전체 설비용량의 13% 수준을 점유, 이 중 풍력이 약 90%로 신재생 전원의 대부분을 차지하고 있다.

그림 8 발전설비용량



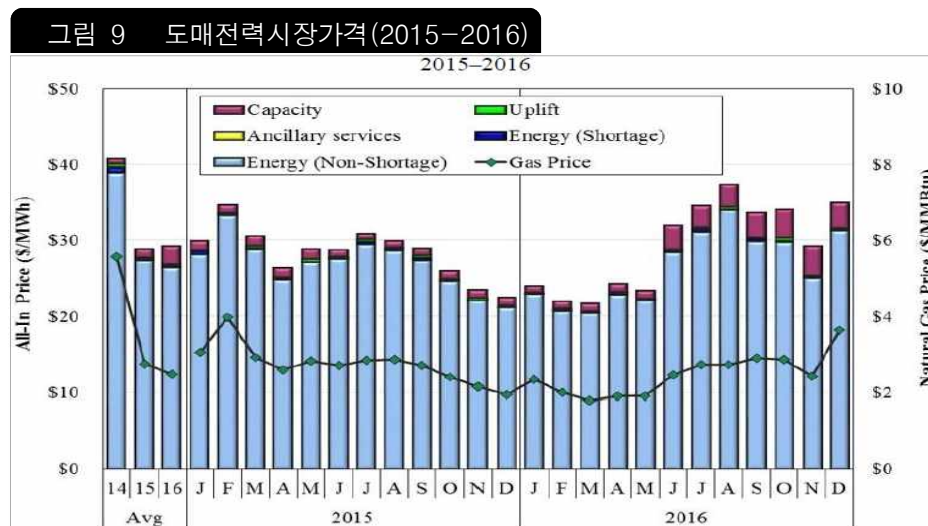
출처 : 2017 MISO Corporate Fact Sheet (MISO, 2017)

## III 시장운영 현황

### 1. 시장가격

모든 비용을 포함한 All-in 전력시장 가격은 부하가중평균 실시간에너지가격, 용량 및 보조서비스 가격, 부가서비스 비용(Uplift)을 포함한 가격이다. 2016년 평균 all-in 가격은 2015년 대비 1% 상승한 \$29.27/MWh이다.

상승의 주된 요인은 용량시장(Planning Resource Auction)의 용량가격(Capacity Clearing Price)의 상승에 있다. All-in 전력가격 중 에너지, 보조서비스 부문은 2015년 대비 3%가량 하락하였으며, 이는 상반기 연료가격의 하락 및 풍력발전량 상승이 주된 요인으로 보인다. Power River Basin의 석탄가격이 2015년 대비 거의 변하지 않았던 것과 비교해서 천연가스 평균가격은 2015년 대비 10%가량 하락하였다.



출처 : 2016 State of the Market Report for the MISO Electricity Markets (Photomac Economics June 2017)

## 2. 연료가격

2016년 지속적인 연료가격 하락은 MISO의 전력 생산량 믹스를 바꾸는데 기여했다. 특히, 2016년의 낮은 천연가스 가격은 MISO 계통의 LNG 발전소 전력생산량 증가, 석탄 발전소 전력생산량 감소라는 결과를 낳았다. 다음 [표 2]는 2016년 연료가격의 변동이 어떻게 전력 생산량의 믹스를 바꾸는데 기여했는지를 보여준다.

표 2 연료원별 설비용량, 에너지 생산량, 가격

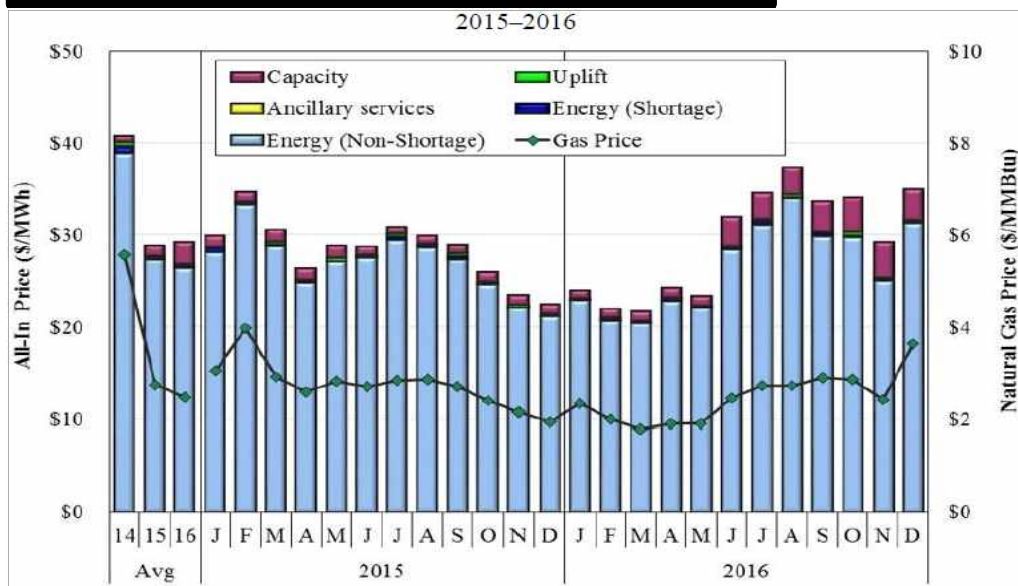
	Unforced Capacity				Energy Output		Price Setting			
	Total(MW)		Share(%)		Share(%)		SMP(%)		LMP(%)	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Nuclear	12,432	12,432	9 %	9 %	16 %	16 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Coal	59,181	53,471	42 %	41 %	50 %	46 %	62 %	55 %	95 %	85 %
Natural Gas	58,013	55,367	42 %	42 %	24 %	27 %	37 %	44 %	94 %	85 %
Oil	2,063	1,832	1 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Hydro	3,603	3,478	3 %	3 %	1 %	1 %	1 %	1 %	2 %	2 %
Wind	2,412	2,796	2 %	2 %	7 %	8 %	1 %	1 %	45 %	32 %
Other	1,688	2,076	1 %	2 %	1 %	2 %	0 %	0 %	4 %	3 %
Total	139,391	131,452								

출처 : 2016 State of the Market Report for the MISO Electricity Markets (Photomac Economics June 2017)

### 3. 신규 발전기 순익 분석

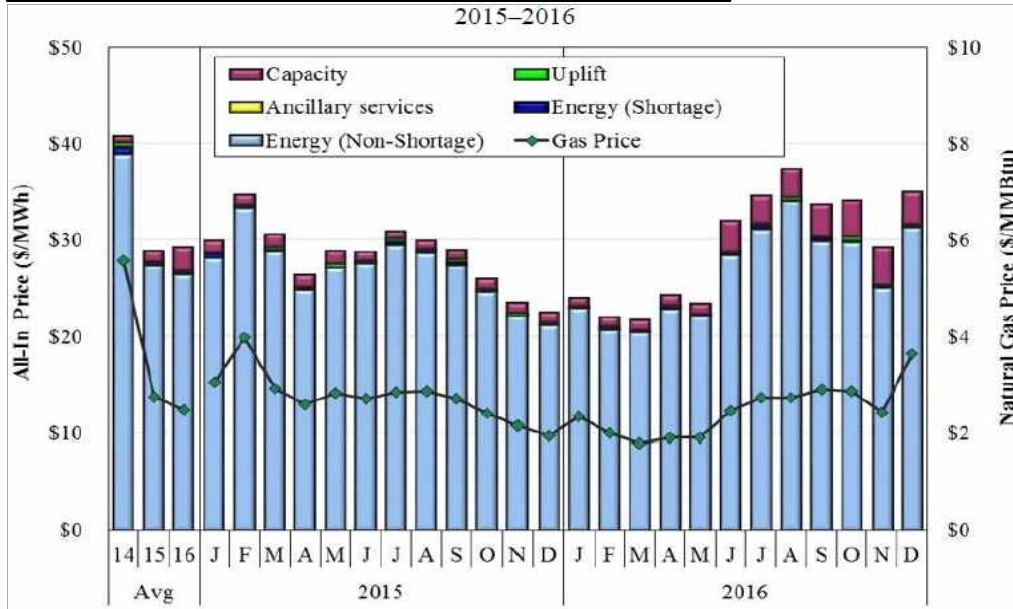
MISO는 신규 발전기 CT(Combustion Turbine)와 CC(Combined-Cycle)의 시장 신규진입을 가정한 후 경제적 운영결과를 분석함으로써 중·장기적으로 발전기 신규 투자에 대한 시장 현황을 파악하고 있다. 다음 [그림 10], [그림 11]은 MISO의 각 지역(Midwert, South Region)에서 CC가 시장에 신규 진입할 경우의 순수익(net revenue)를 보여준다. South region의 2016년 순수익(net revenue)은 용량가격의 하락에 따라 감소세를 보였다. Midwest region은 높은 용량가격, 하계 에너지가격에 의해 두 유형의 발전기 모두 2016년에 순수익이 상승하였다. 그러나 모든 지역에서 순 수익은 신규 발전기가 시장에 진입할 경우 수익을 낼 수 있는 CONE(Cost of New Entry)에 미치지 못한다.

그림 10 Miswest Region 신규발전기 순수익 분석



출처 : 2016 State of the Market Report for the MISO Electricity Markets (Photomac Economics June 2017)

그림 11 South Region 신규발전기 순수익 분석



출처 : 2016 State of the Market Report for the MISO Electricity Markets (Photomac Economics June 2017)

#### 4. 보조서비스 시장 실적

MISO의 보조서비스 시장은 '09년 도입 이후 큰 이슈 없이 현재까지 운영되어 왔다. 다음 [그림 12]는 거래 예비력에 따른 월별 평균 실시간가격의 변화를 보여주고 있다. 주파수조정예비력(Regulating Reserve)과 운전예비력(Spinning Reserve)의 월별 평균 청산가격은 2016년 중 약간 증가했으나, 합리적 가격수준을 유지하고 있으며, 대체예비력(Supplemental Reserve) 가격은 실질적으로 2015년과 동일한 수준을 유지했다.

그림 12 2016년 보조서비스시장 운영 실적

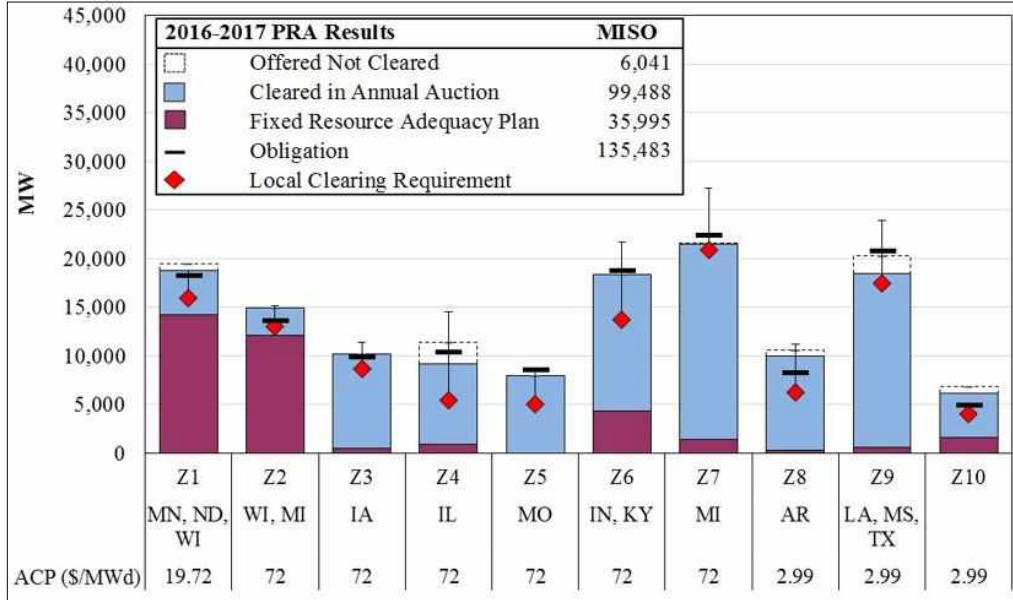


출처 : 2016 State of the Market Report for the MISO Electricity Markets (Photomac Economics June 2017)

## 5. 용량시장 실적

다음 [그림 13]은 2014년 4월에 열린 2016-2017 계획년도의 시장실적을 보여준다. 2016-2017 계획년도 시장청산가격은 대부분의 MISO Midwest 관할 지역에서 \$72/MW-day 수준을 유지했으며, 신규 발전기가 시장에 진입할 경우 수익을 낼 수 있는 가격인 CONE(Cost of New Entry)을 25% 상회하였다. Zone1의 경우 지속적으로 용량판매 제약이 발생, \$19.72/MW-day에서 시장 청산되었으며, Midwest(Zones 1-7), South(Zone 8-10)지역 간 876MW의 송전 제약조건이 있기 때문에 MISO South 지역은 \$2.99/MW-day의 낮은 가격을 보였으나, 이러한 제약은 2017/2018 계획년도에 1,500MW로 완화될 것으로 예상된다.

그림 13 2016-2017 용량시장 운영실적

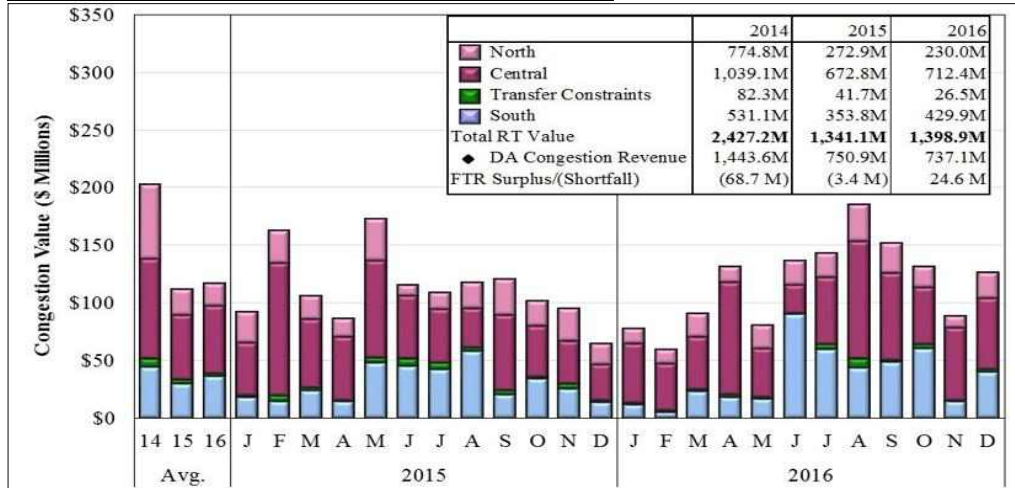


출처 : 2016 State of the Market Report for the MISO Electricity Markets (Photomac Economics June 2017)

## 6. 재무적송전권 시장 실적

MISO의 2016년 송전권 시장 규모는 작년보다 4% 성장한 \$1.4billion이었다. 2016년 천연가스 가격의 하락으로 인해 가용한 복합발전소가 많아지고, 2016년 초 겨울이 상대적으로 온화한 기후를 보이는 등의 감소요인이 있었으나, 수요 증가와 남부의 주요 발전소, 송전선로 정지에 따른 하계의 높은 계통혼잡수준(작년대비 35% 증가), MISO와 PJM 관할구역의 풍력발전에 따른 봄가을 계통혼잡이 심화됨에 따라, 총 계통혼잡비용은 증가했다.

그림 14 2016-2017 송전권시장 운영실적



출처 : 2016 State of the Market Report for the MISO Electricity Markets (Photomac Economics June 2017)

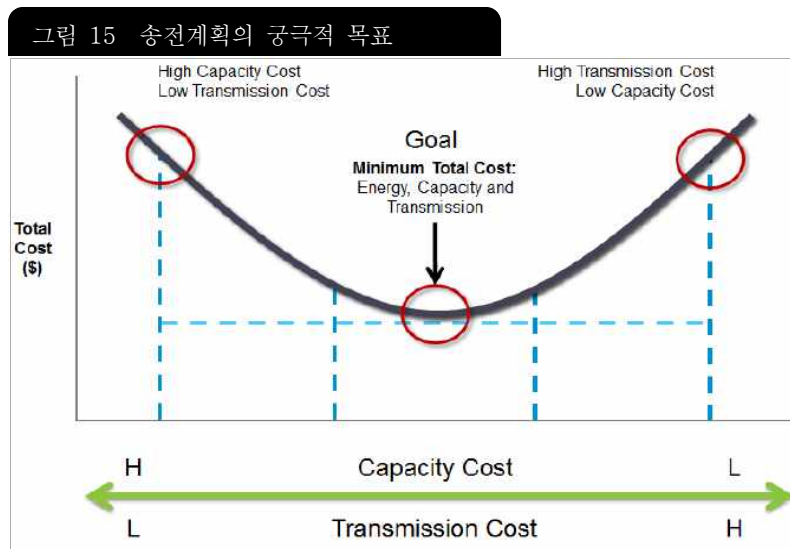
MISO의 하루전 송전권 시장은 2016년 전년대비 2% 하락한 \$737.1 million 규모로, 대부분의 감소는 2월의 송전권 가격이 전년대비 60%가량 낮은 가격을 보임에 따라 발생했다. 이러한 송전권 가격의 하락은 낮은 천연가스 가격 및 2016년 초 겨울이 상대적으로 온화한 날씨를 보임에 따라 발생했다. MISO 하루전 송전권 시장의 대부분은 Miso South region과 Midwest region사이의 계통제약에 따라 발생, 전체 시장의 35%에 달한다.

## IV 송전계획(MTEP) 수립

### 1. MTEP 개요

MISO는 계통신뢰도, 경제성 및 공공정책을 반영한 탑-다운(Top-down), 바텀-업(bottom-up) 송전 계획 프로세스를 가지고 있다. MISO의 계획 프로세스는 계통을 강화하기 위한 방안을 정의하고, 대안을 마련하며, 효과적인 해결책을 결정하기 위한 근거들을 분석하는데 초점을 두고 있다. 2005년에 MISO가 채택한 송전계획 원칙은 다음과 같다.

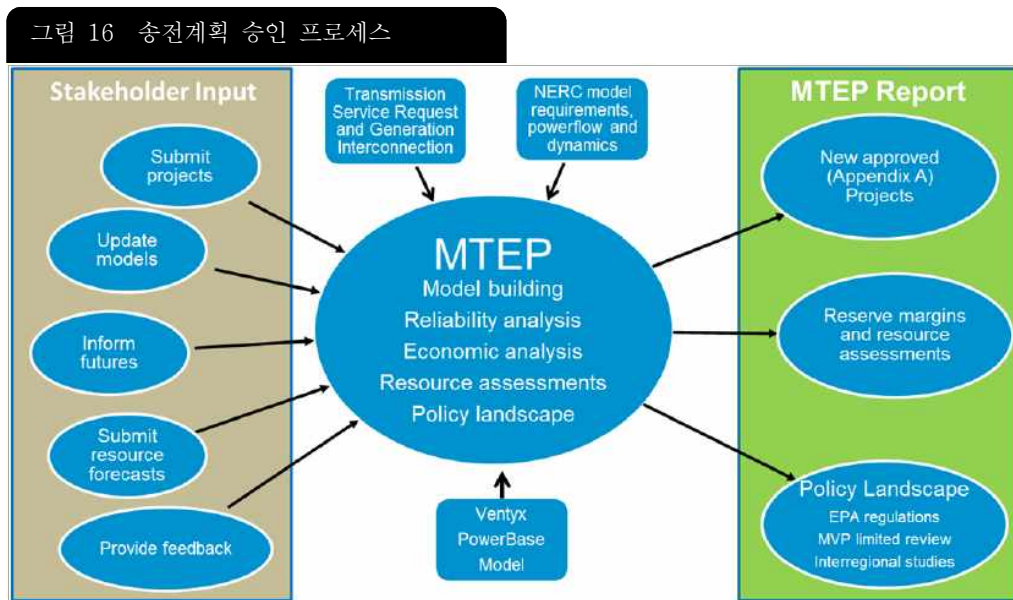
- 계통망의 신뢰도 확보
- 시장 효율성 향상 등 경제적 이익 제공
- 신재생에너지 확대 등 정책 반영
- 이해관계자들과 관련된 여러 이슈 해결



출처 : MTEP 2016 Report, 2016

## 2. MTEP 프로세스

[그림 16]은 송전계획 제안에서 승인에 이르는 프로세스를 나타낸다. MISO는 약 18개월에 걸쳐 모델을 구축, 송전업체 제출자료 수신, 신뢰도 분석 수행, 경제성 검토, 자원 평가, 보고서 작성 등의 단계를 통해 MTEP를 수립한다. MISO의 분석 및 검토 후, 가장 효과적인 프로젝트가 MTEP의 Appendix A에 포함되고 MISO 이사회의 승인을 거쳐, 이사회가 해당 프로젝트를 승인하면 송전업체는 해당 프로젝트를 추진할 수 있게 된다.



출처 : MTEP 2016 Report, 2016

MISO는 FERC의 Order 890 송전계획 원칙에 따라, **송전건설 계획의 수립과정을 공개**하고 있다. MTEP 계획 프로세스 과정은 격월로 열리는 하부 위원회 회의 및 매월 개최되는 자문위원회 회의를 포함 총 9번의 세부 지역별 계획 회의를 열어 수립한다. 계획자문위원회(Planning Advisory Committee)는 MTEP 프로세스의 적정성, 정확성, 공정성과 관련된 정책적 문제들을 MISO 계획 담당자들에게 자문하는 것이 주요 임무이며, 계획 자문위

위원회는 MISO의 자문위원회에 보고서를 제출한다. MISO는 송전 계획 수립을 위하여 수요정보, 자원 믹스, 부하와 자원 위치 등의 여러 입력 데이터를 기초로 다양한 툴(Tool)을 활용하여 결과물을 제공한다. MISO에서 사용하고 있는 모델들은 다음과 같다.

표 3 송전계획 프로세스 주요 내역

	Top-Down Planning	Bottom-Up Planning	Interconnection Queue	Policy Assessment
내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 중요 이슈 대응 방안 개발</li> <li>- 추가 계획에 대한 효과 테스트 및 효율성 추구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 계통 운영 신뢰도 기준을 충족하기 위하여 MISO이 추천하는 최종 계획 확정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 구체적 접속요청건 평가 및 전원 계획모형을 통한 결과 제공</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MISO 시장에 대한 주 또는 연방정부 정책의 영향 분석</li> </ul>
예시	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 지역전원계획연구</li> <li>- MVP포트폴리오</li> <li>- 경제성 평가</li> <li>- 중장기평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 신뢰도 분석</li> <li>- 상습 혼잡 지역 연구</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 계통연계연구</li> <li>- 계통계획 및 분석</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- EPA규제연구</li> <li>- 동부풍력송전 접속연구</li> </ul>

출처 : MISO Planning Process(System Planning Committee, 2011)

표 4 송전계획관련 Tool

계획 단계	모델명
Energy Planning	PROMOD and PLEXOS
Reliability Planning	PSS/E, PSLF and TARA
Decision Analysis	GE-MARS, PROMOD and EGEAS
Strategic Planning	EGEAS
Resource Portfolio Debelopment	EGEAS

출처 : MTEP 2016 Report, 2016

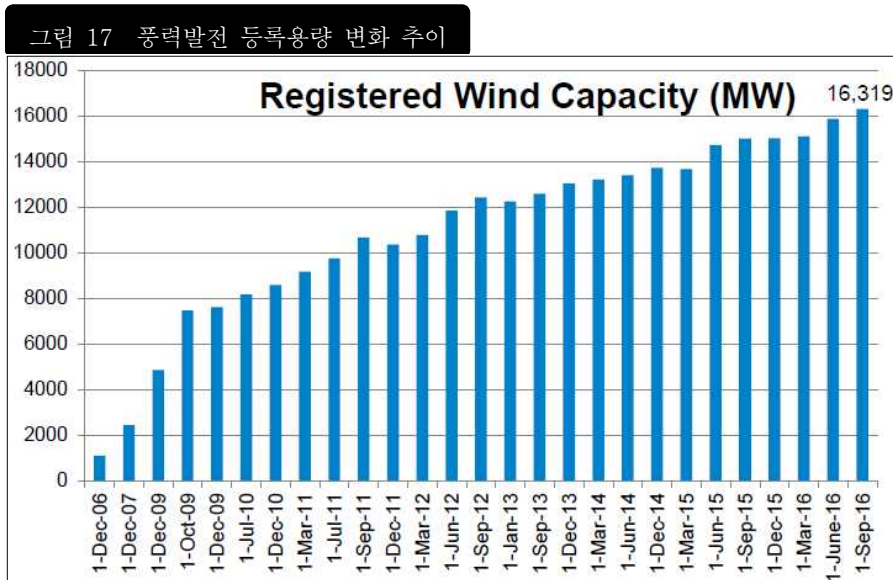
### **3. MTEP 2016**

MISO에서 가장 최근에 발간한 MTEP 2016은 총 \$2.69 Billion 규모 383개 Appendix A 프로젝트를 발표하였으며, 이는 NERC의 신뢰도 기준 충족을 위한 106개 프로젝트 \$691.2 million, 발전소 추가 시 계통접속을 위한 32개 프로젝트 \$142.7 million, 혼잡제거에 따른 경제적 이익을 위한 1개 프로젝트 \$108 million, 기타 프로젝트 243개 \$1.75 billion로 구성된다.

## V 주요 현안

### 1. 신재생 확대

MISO 관할구역의 주 정부는 신·재생에너지 공급의무화제도(RPS)를 통해 신재생전원 확대를 지원하고 있다. 이에 따라 MISO 관할지역 내의 풍부한 풍력자원을 활용한 풍력에너지는 MISO 관할구역 내 가장 널리 보급된 신재생전원으로 현재, 총 설비용량 16,319MW에 달하는 풍력발전기가 등록되어 있으며, 향후 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 풍력발전기는 기존 전원에 비해 환경에 미치는 영향이 적고, RPS 목표 달성에 기여하나, 간헐적 특성으로 날씨에 따라 출력변화가 심하고 예측이 어려워 MISO에서는 간헐성을 반영한 설비용량을 등가 산정한 Capacity Credit 발표, 풍력발전의 실시간 시장 참여와 같은 제도 및 시스템 개선을 꾀하고 있다.



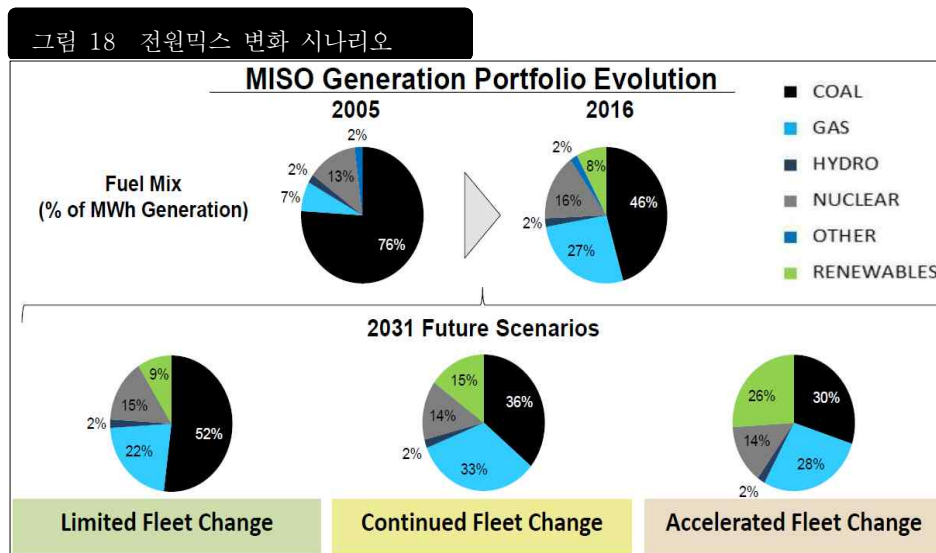
출처 : MISO Fleet Changes(MISO, 2017)

## 2. 노후석탄 폐지와 전원믹스 변화

MISO는 현재, 전체 석탄 화력발전소의 88%가 50년 이상, 52%가 60년 이상 된 발전기로 구성, 석탄 화력발전기의 노후화가 상당히 진행된 상태이다. 석탄 화력발전소의 비중 또한 전체 설비용량의 45% 수준으로 상당히 높은 편이다.

MISO의 전원믹스는 지난 11년간 지속적으로 변화, 석탄 화력발전은 76%에서 46%로 감소, 천연가스 발전은 7%에서 27%로 상승, 신재생전원은 8%대로 상승하였다. MISO는 2017년 1월, 국제 포럼에서 다음 [그림 18]의 전원믹스 변화 시나리오를 발표하였으며, 각 시나리오는 탄소에 대한 규제가 없을 경우, 25% 감축목표를 설정할 경우, 35% 감축목표를 설정할 경우 MISO의 전력믹스 변화 전망을 나타내고 있다.

다음 시나리오에 따라 석탄 화력발전 비중 전망은 52%에서 30%까지, 신재생 전원 비중 전망은 9%에서 26%까지 변화, 노후 석탄 화력발전기가 폐지되는 시기의 정책 환경에 따라 MISO의 전원믹스가 상당히 큰 영향을 받을 수 있다.



출처 : MISO Fleet Changes(MISO, 2017)

### 3. 기후변화 정책 변화

트럼프행정부가 2017년 10월 전 정권의 친환경정책인 청정전력계획(CPP, Clean Power Plan)을 폐기함에 따라, 2050년까지 발전소의 탄소배출량을 2005년 대비 32% 줄인다는 전 정권의 계획이 취소되었다.

트럼프 당선인과 공화당의 에너지·기후변화정책은 미국 내 화석에너지 자원의 생산 및 수출 확대, 기후변화 대응 노력에 반대로 요약할 수 있으며, 2015년 파리 기후협약 당사국총회의 파리협정 무효 주장 및 연방정부의 신재생에너지 생산세액공제(PTC), 투자세액공제(ITC)와 같은 연방세액공제제의 연장의 어려움 등 기후변화정책이 급선회함에 따라 MISO의 전원믹스 변화에 큰 영향을 끼칠 것으로 보인다.

#### [참고문헌]

1. 전력거래소. 「해외전력산업동향」 . (2015)
2. 에너지경제연구원. 「미국 차기 행정부의 에너지정책 전망과 영향」 . (2016)
3. MISO. 「Value Proposition Flyer」 . (2016)
4. Potomac Economics. 「2016 State of the Market Repoer for the MISO Electricity Markets」 . (2017)
5. MISO. 「2013 Annual Market Assessment Report」 . (2014)
6. MISO. 「Market Settlement Generation Overview」 . (2011)
7. MISO. 「Map of Local Resource Zone Boundaries」 . (2016)
8. MISO. 「MISO's Resource Adequacy Overview」 . (2017)
9. MISO. 「MTEP16 Report」 . (2016)
10. MISO. 「2016 MISO Corporate Fact Sheet」 . (2017)
11. MISO. 「MISO Fleet Changes」 . (2017)