



대기오염 저감과 새로운 전력수급체계 모색을 위한
국회 정책토론회 (2016.8.23)

전력수급체계의 전환을 위한 제도 개선 방안

2016.8.23

건국대학교 전기공학과
박종배 교수

목차

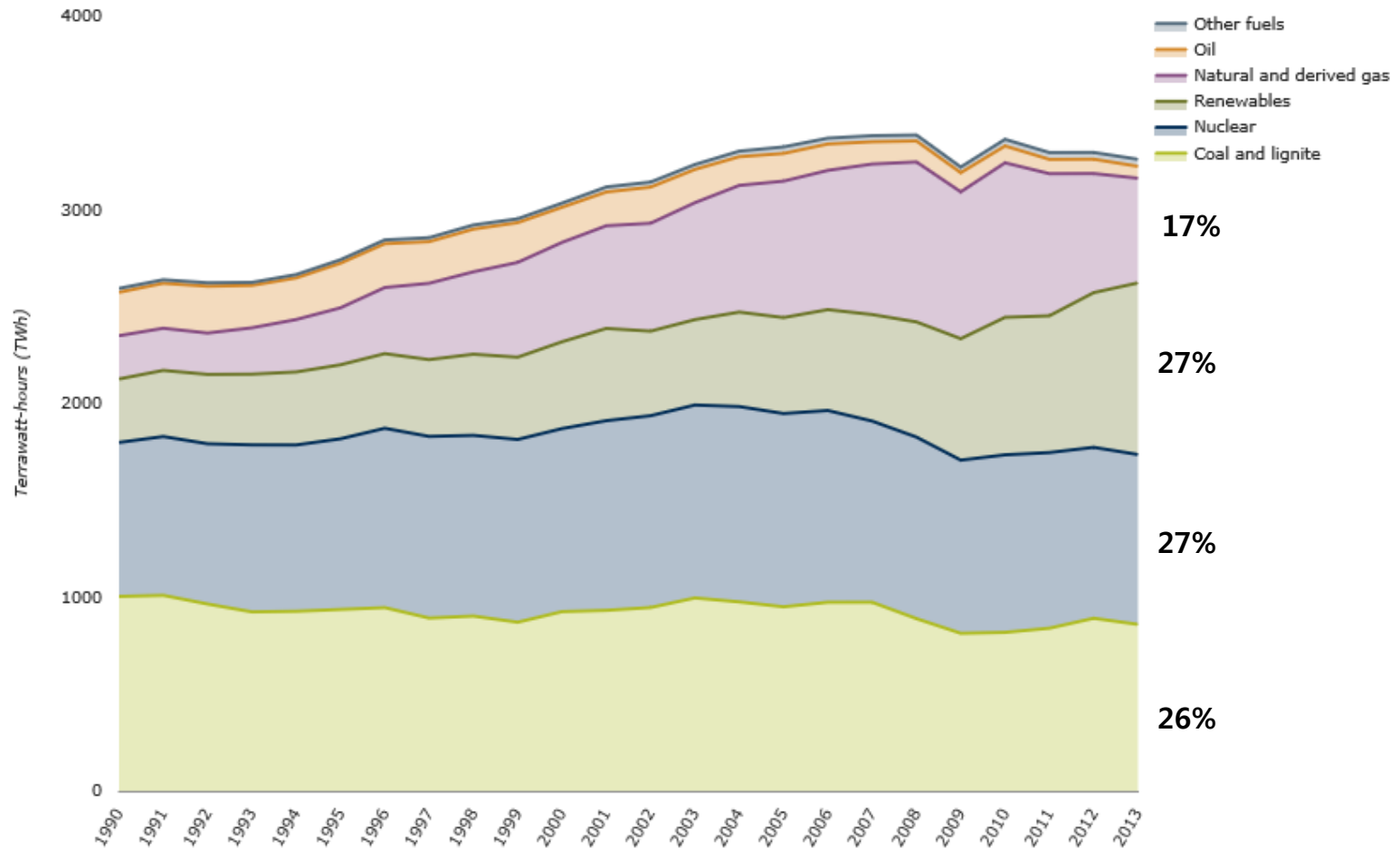
- 글로벌 전력수급 실적 및 전망
 - 우리나라 전력수급 실적과 전망
 - 지속가능한 전력수급 관련 주요 이슈 및 대안
 - 결론 및 제언
-

전력산업 및 전력기술의 글로벌 주요 이슈

- 저탄소 및 비탄소 에너지원 중요성 증대
 - 탄소집중 에너지원(중유, 석탄)의 비중 급감
 - 천연가스(저탄소), 신재생(비탄소)의 비중 급증
- 소규모 분산전원, 마이크로그리드 중심 등 중앙공급 시스템에서의 탈피
 - 규모의 경제에 기반을 둔 전통적인 '대규모 생산' → '대규모 수송' → '대규모 통신' 시스템으로부터의 탈피
 - 지역(Community) 중심의 에너지 자립화 동향
 - 개인간 에너지거래 움직임 (Prosumer, P2P)
- 비전통전력기술의 전력시장 진입
 - 전기자동차 (EV) $\leftrightarrow$ 생산과 소비. 수송부문과 전력부문,
 - 전력저장장치 (ESS) $\leftrightarrow$ 생산과 소비. 통신기술과 전력기술.
 - 에너지효율(EE) 및 수요반응(DR) $\leftrightarrow$ 생산과 소비.

EU의 에너지원별 발전량 실적 추이 (1990-2013)

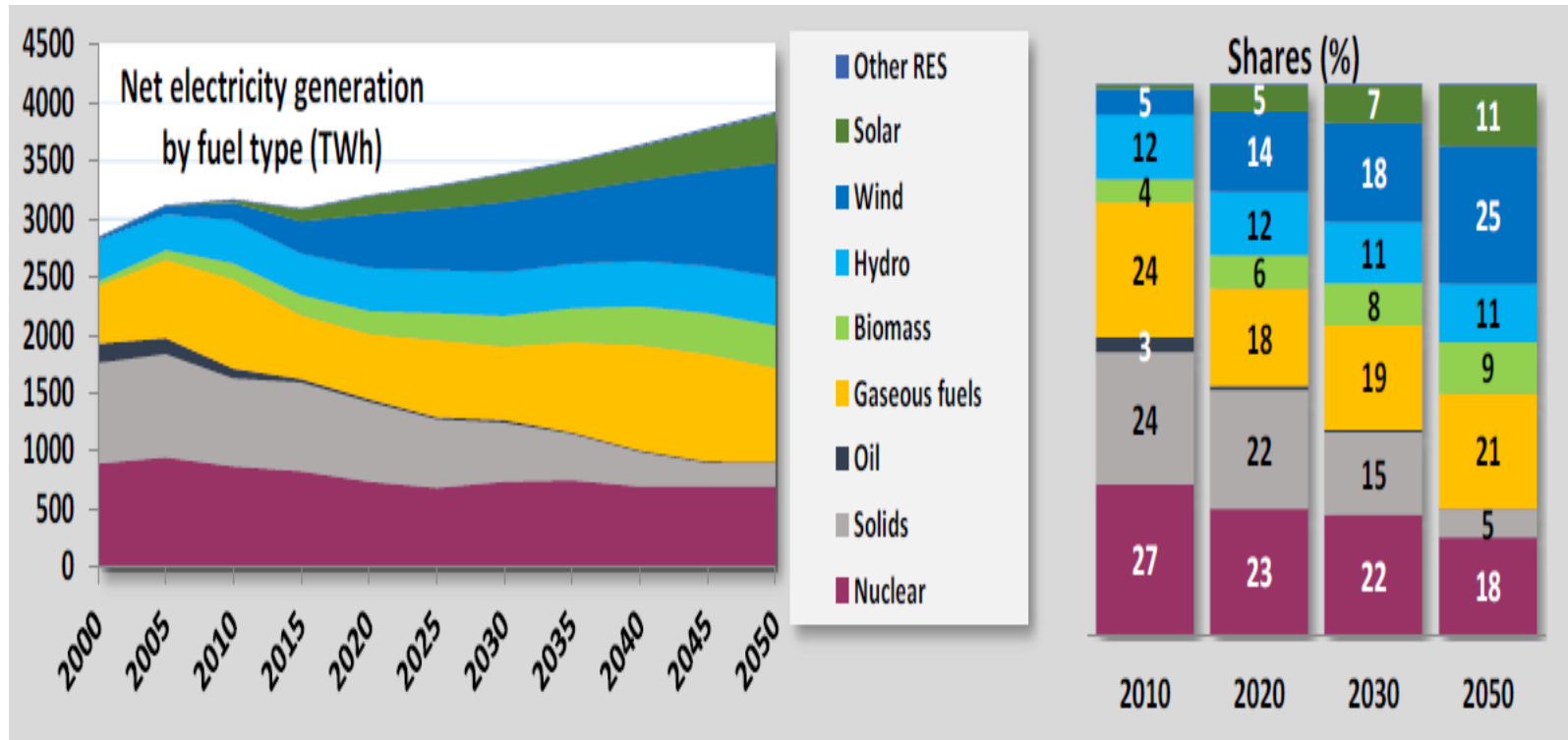
- EU의 에너지원별 발전량 실적(TWh) 추이



출처: European Energy Agency (2015)

EU의 에너지원별 발전량 전망 (1990-2013)

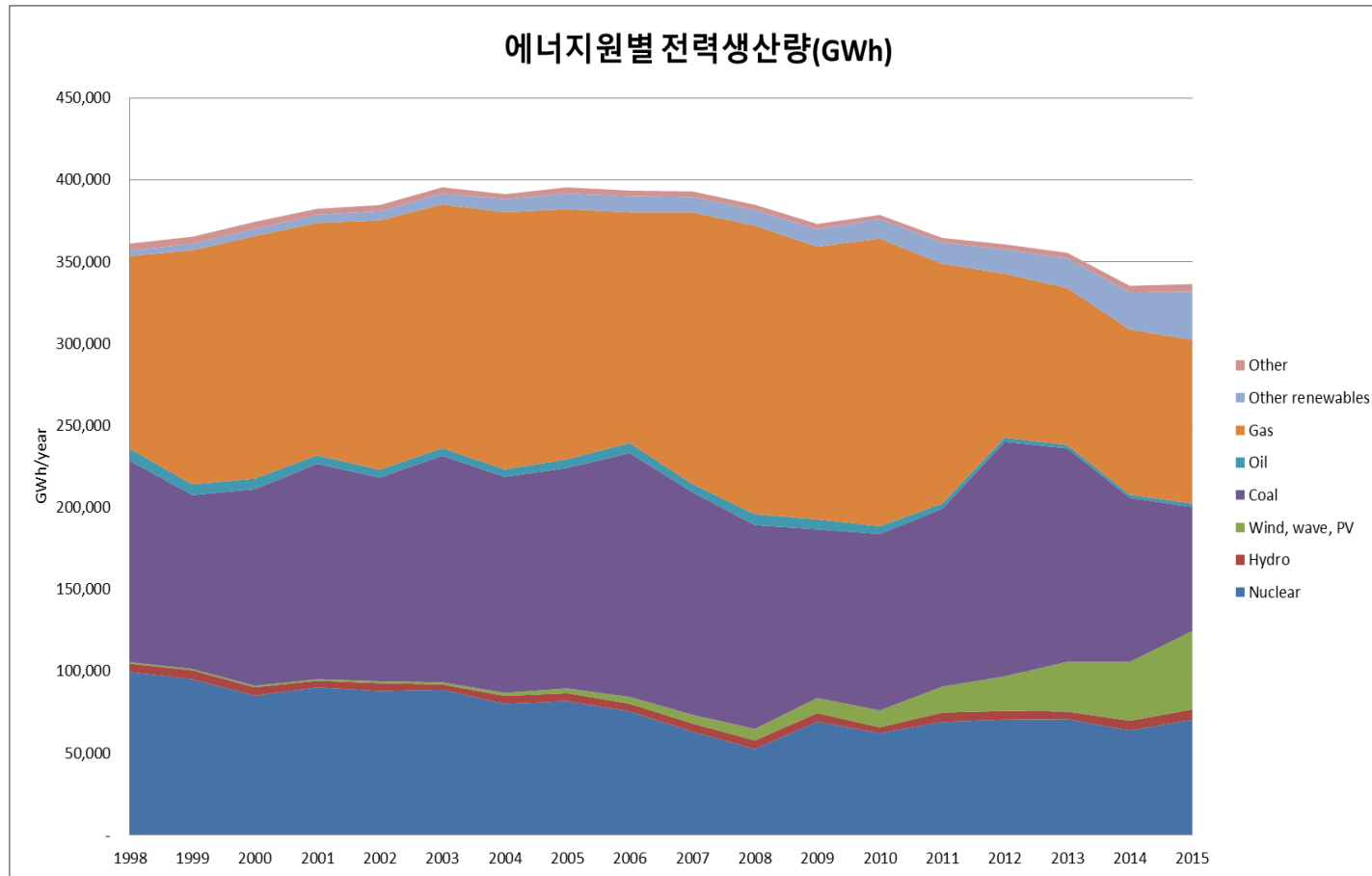
- EU의 에너지원별 발전량 및 구성



출처: EU ENERGY, TRANSPORT AND GHG EMISSIONS - TRENDS TO 2050 (2016)

영국의 에너지원별 발전량 실적 추이 (1998-2015)

• 영국의 에너지원별 발전량 실적(GWh) 추이



2015년 원별 발전량 비중

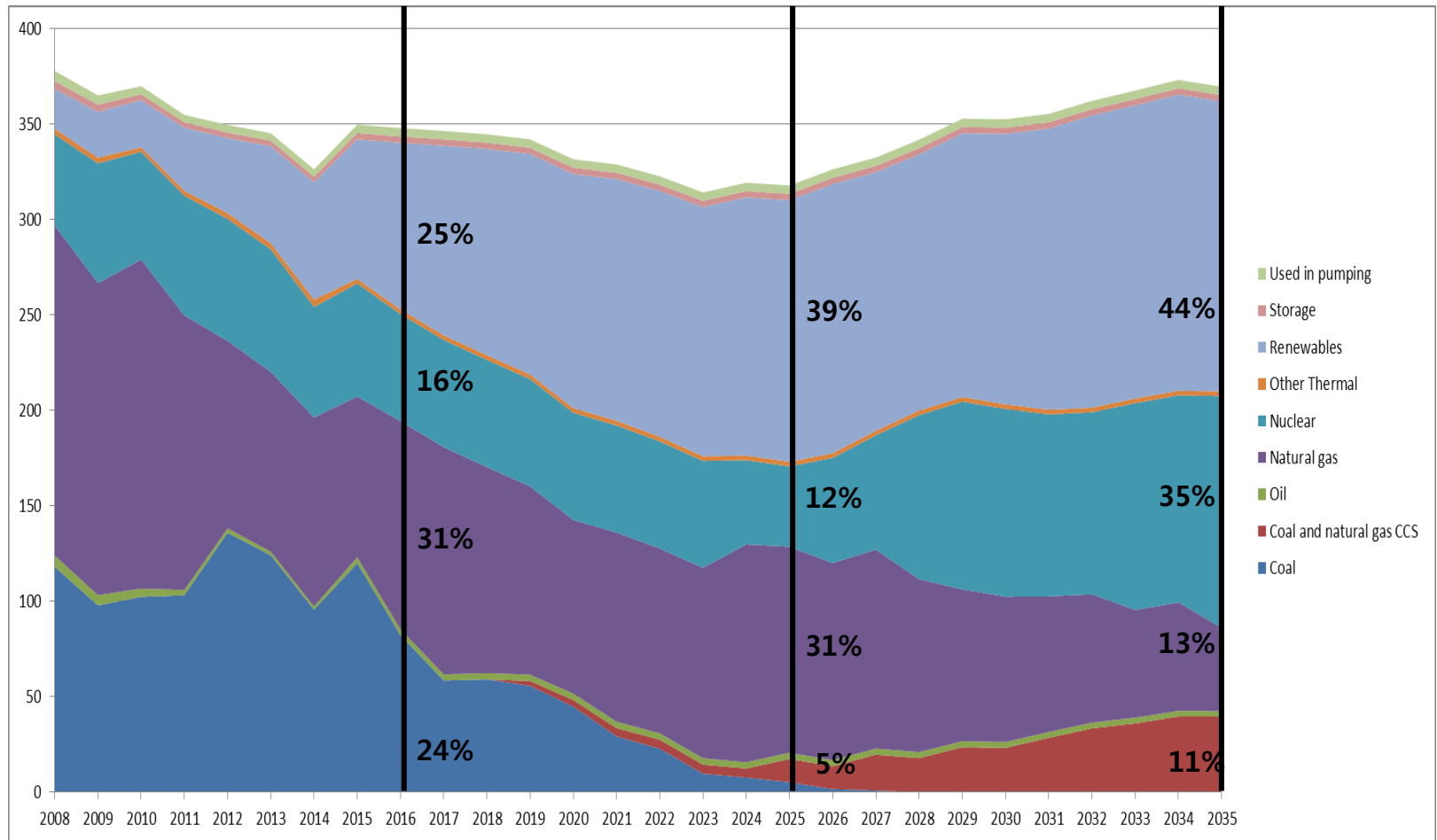
- 원자력 (21%)
- 신재생 (25%)
- 석탄 (22%)
- 가스 (30%)
- 유류 (0.6%)
- 기타 (1.4%)

* 신재생은 수력 포함

출처: UK, DUKES (2016)

영국의 미래 에너지원별 발전량 전망 (2016-2035)

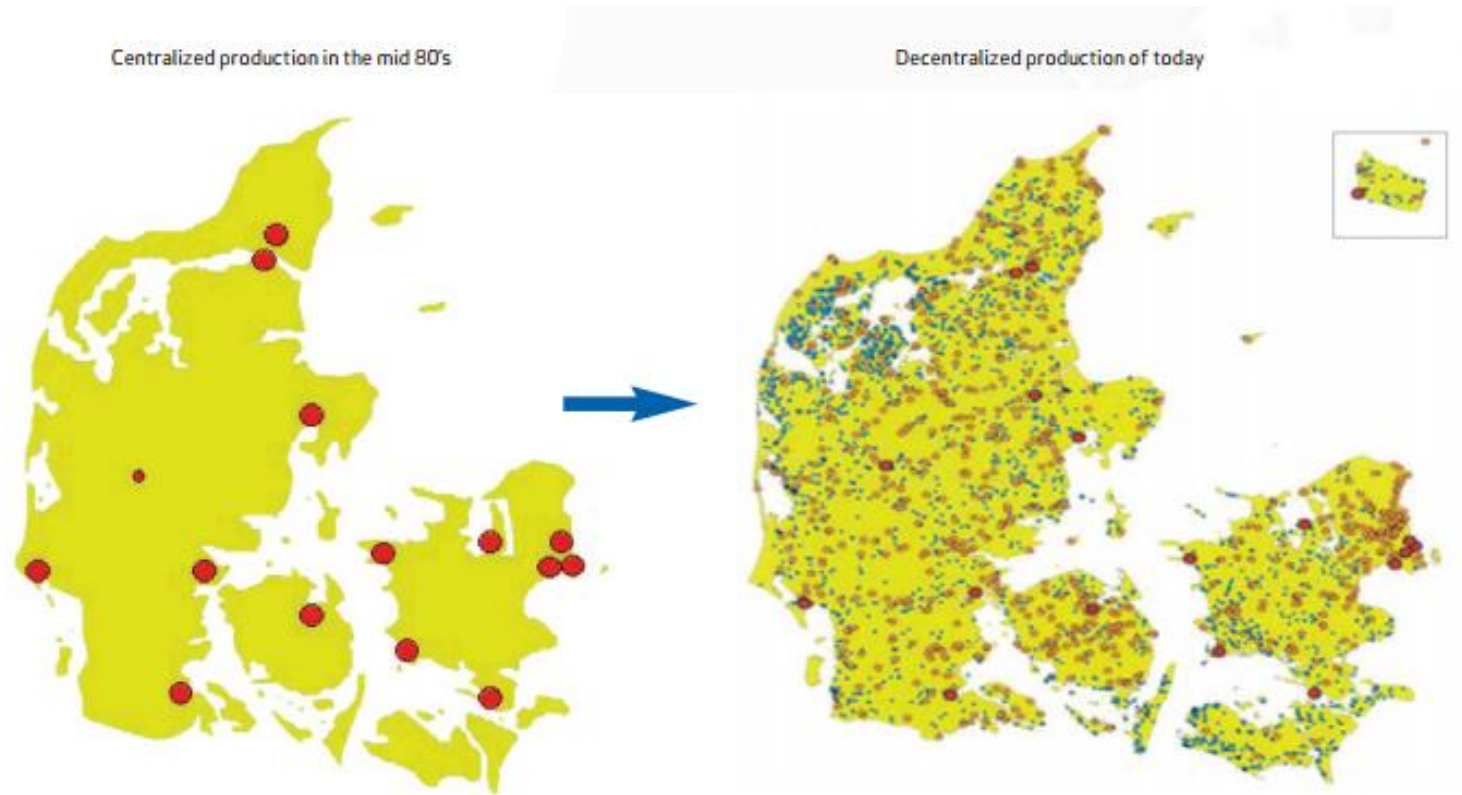
• 영국의 에너지원별 발전량 구성 전망



출처: UK, Department of Energy & Climate Change (2016)

덴마크의 에너지시스템 분산화 성공 사례

- 덴마크 에너지시스템의 분산화 성공 사례



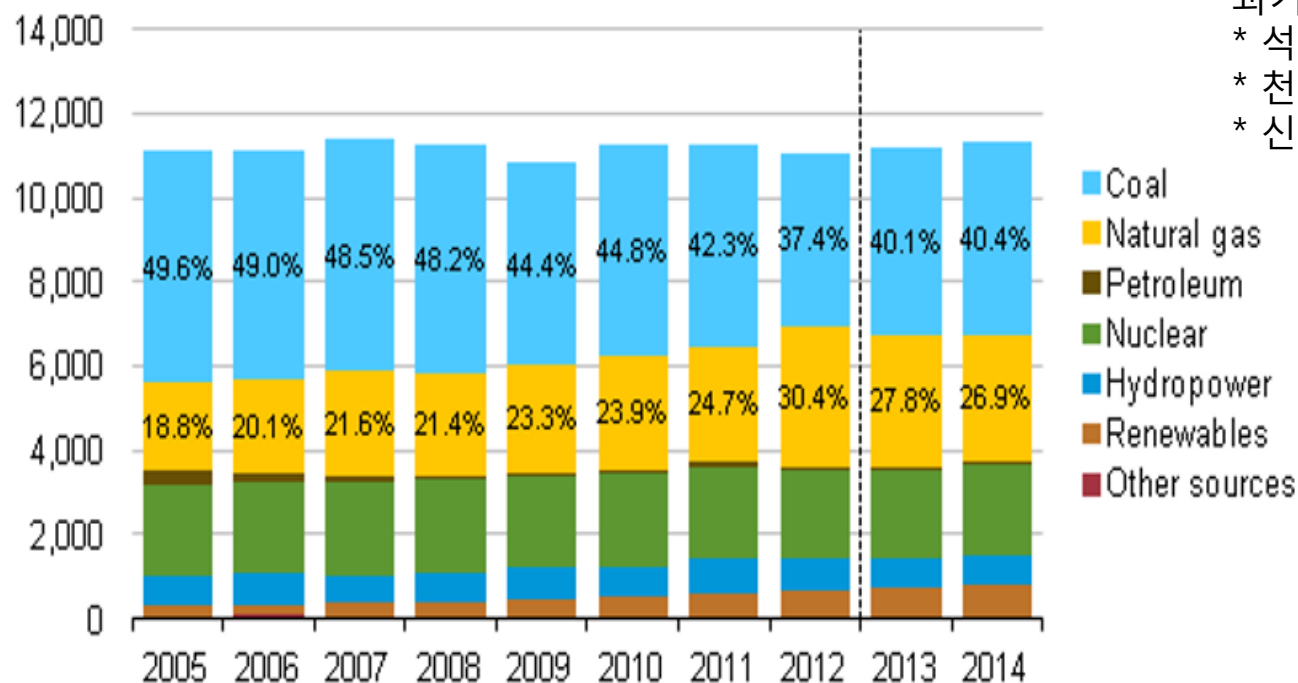
출처: IEA/AIE (2008)

* 1980년대부터 전력계통과 에너지시스템 분산화 추진
(핵심 분산 자원으로 소형 열병합 설비 선정. 수익 보전. 인센티브/세제 정책)

미국의 에너지원별 발전량 실적 추이 (2005-2014)

• 미국의 에너지원별 발전량 실적 추이

thousand megawatt hours per day



과거 10년 동안

* 석탄발전량 비중 10% 하락

* 천연가스 비중 10% 상승

* 신재생 비중 지속적 증가

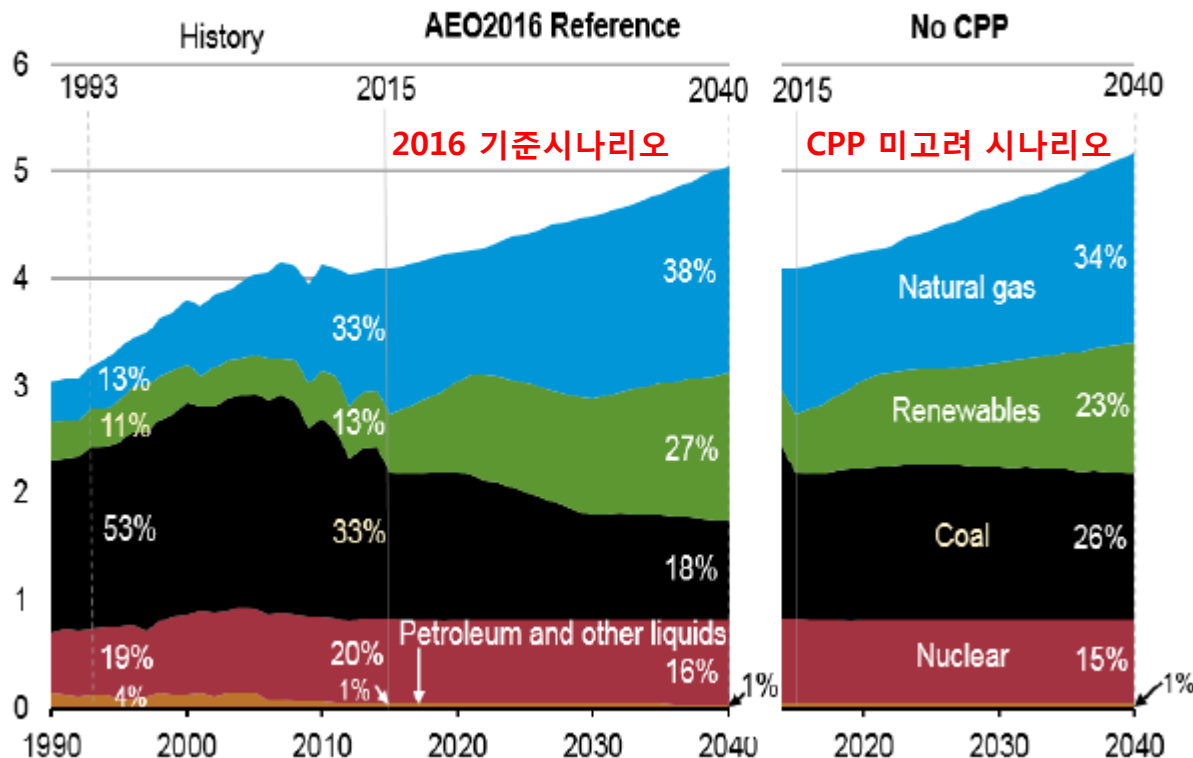
Note: Labels show percentage share of total generation provided by coal and natural gas.

출처: DOE EIA

미국의 에너지원별 발전량 실적 추이 및 전망 요약 (1990-2040)

• 미국의 에너지원별 발전량 실적(GWh) 추이

electricity net generation
trillion kilowatthours



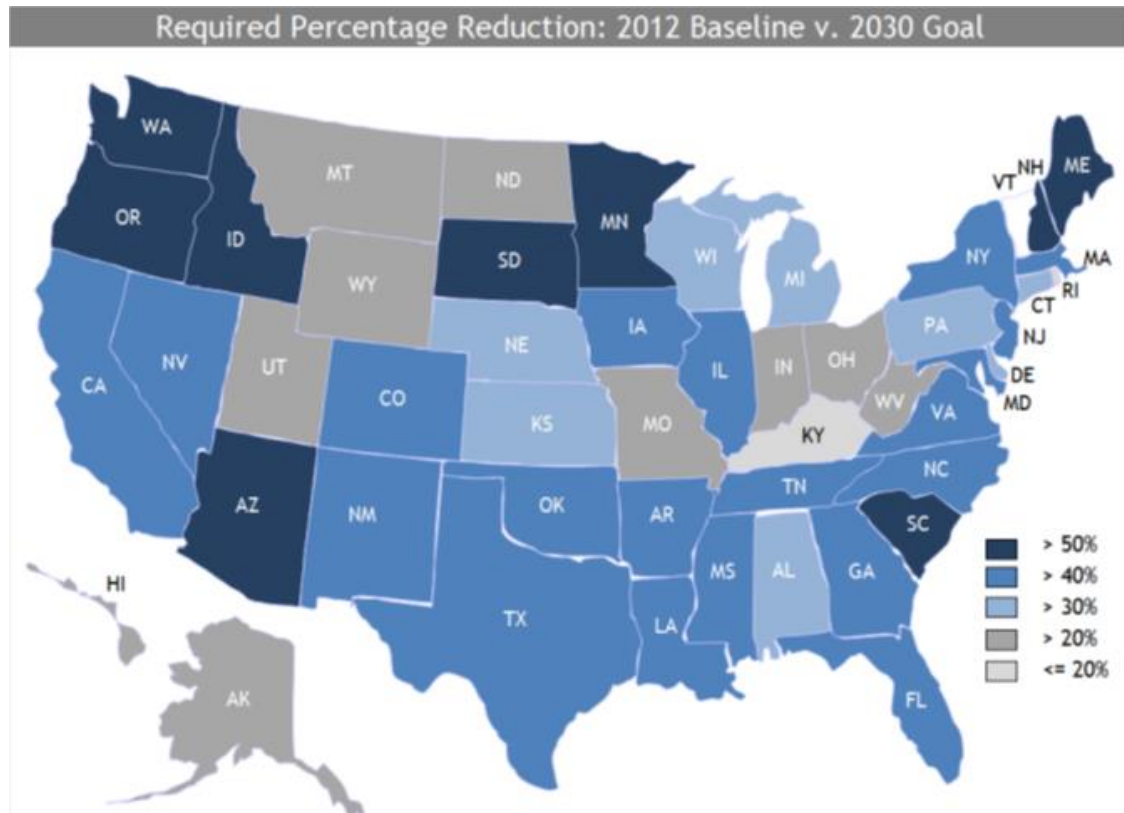
출처: DOE EIA, AEO 2016.

오바마 행정부의
청정발전계획(CPP)의 영향

- * 천연가스발전량 > 석탄발전량 : 2015
- * 신재생발전량 > 석탄발전량 : 2027

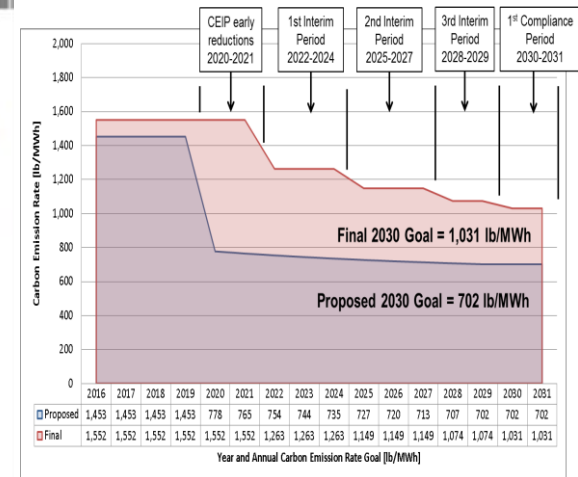
미국의 청정발전계획(CPP)의 목표 및 영향

- 주정부별(지역별) CO2 배출 원단위 규제 및 감축 목표

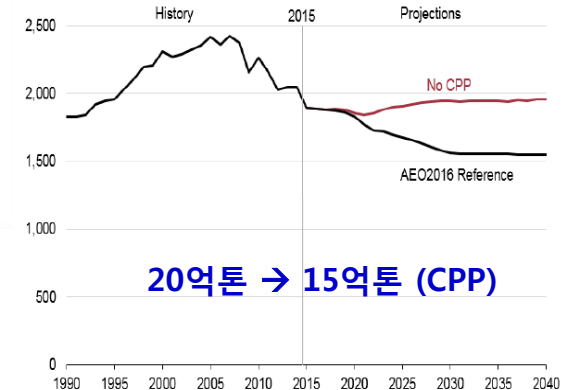


2012년: 베이스라인 2022년: 중간이행 2030년: 목표연도

- 아리조나 주정부 감축목표

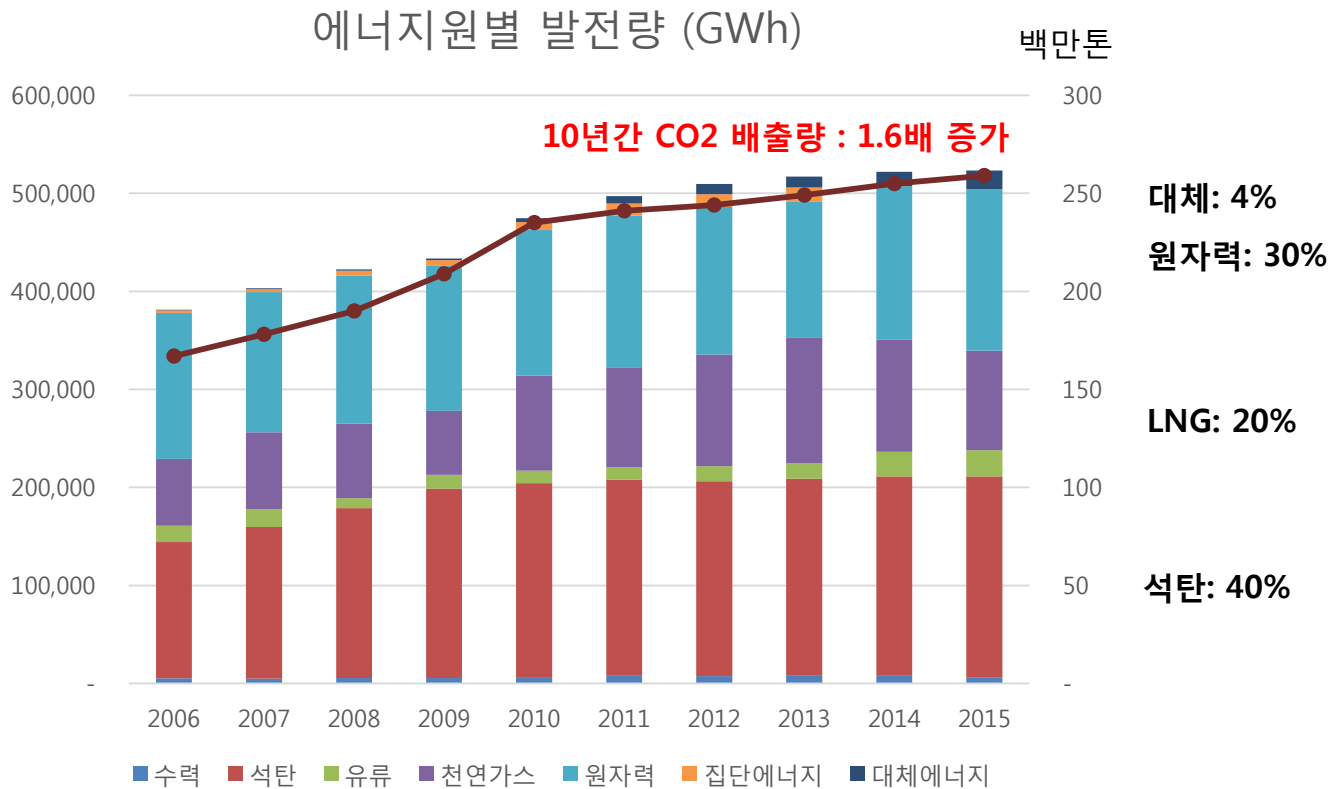


electric power sector carbon dioxide emissions
million metric tons



지난 10년간 우리나라 에너지원별 발전량 실적 (2006-2015)

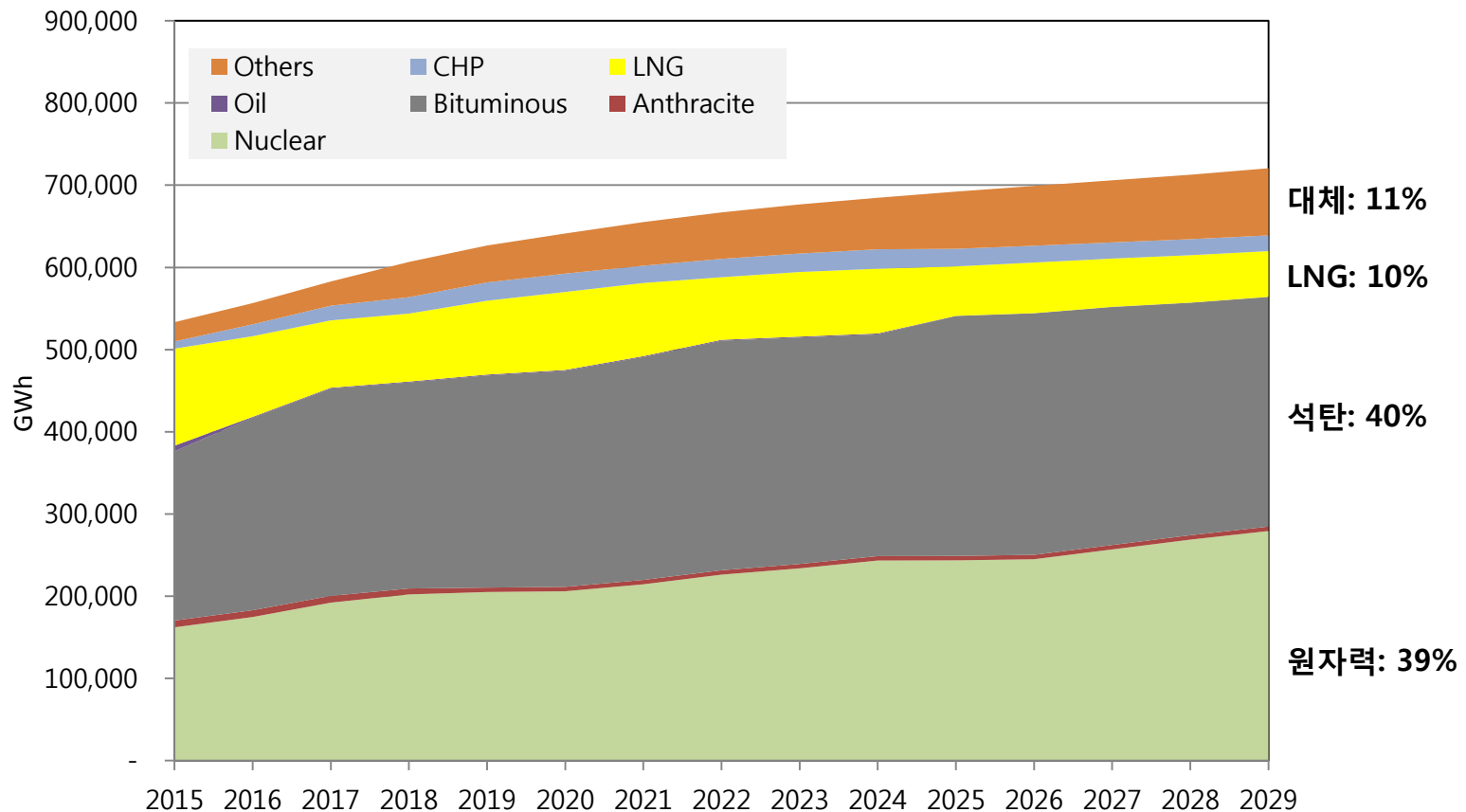
- 전력부문 에너지원별 발전량 실적(GWh)과 CO2 배출량



출처: 한국전력통계 2016.

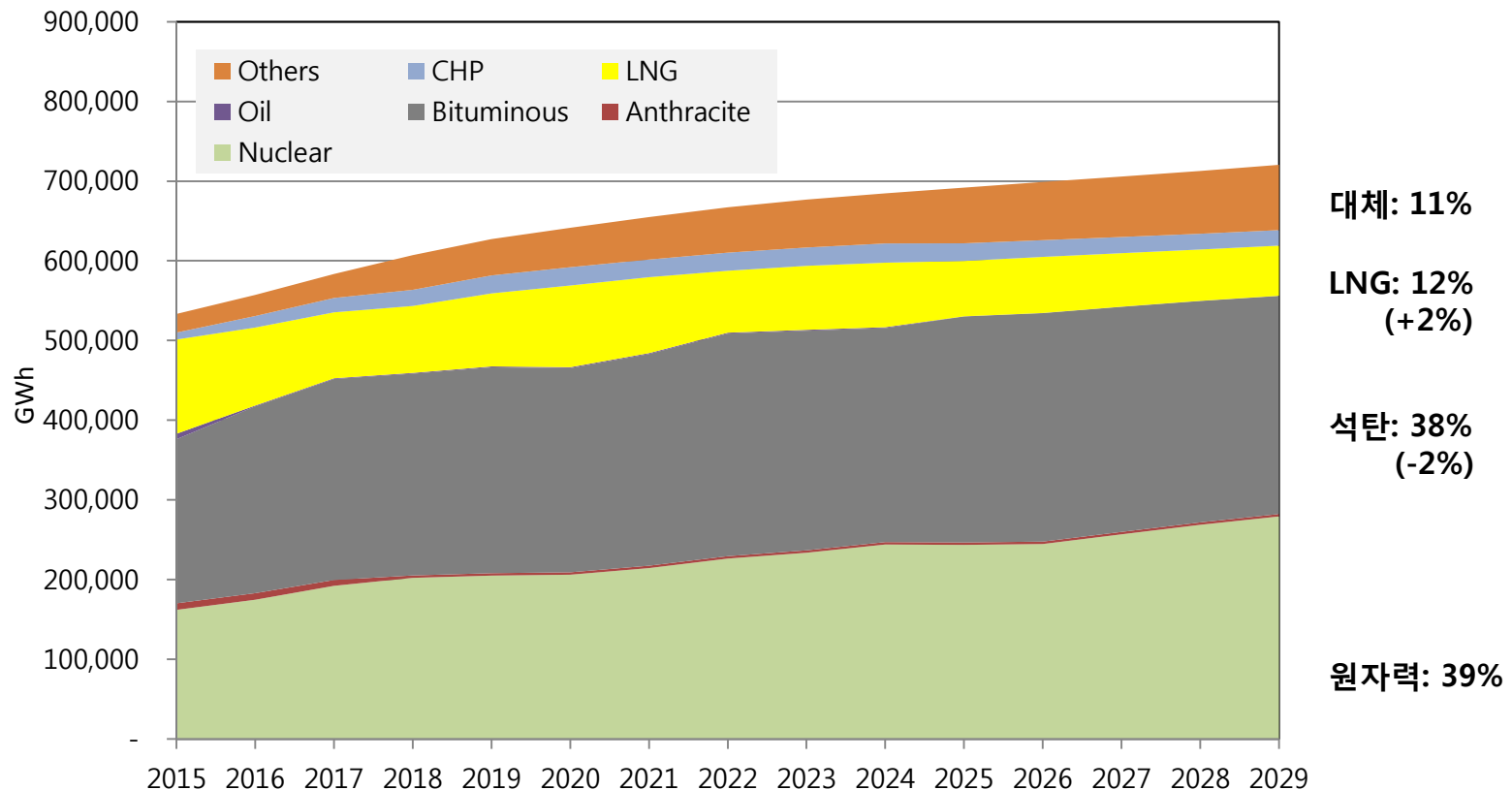
7차수급 기반 우리나라 에너지원별 발전량 전망 (2015-2029)

- 7차수급 목표수요 기반의 에너지원별 발전량 전망(GWh)



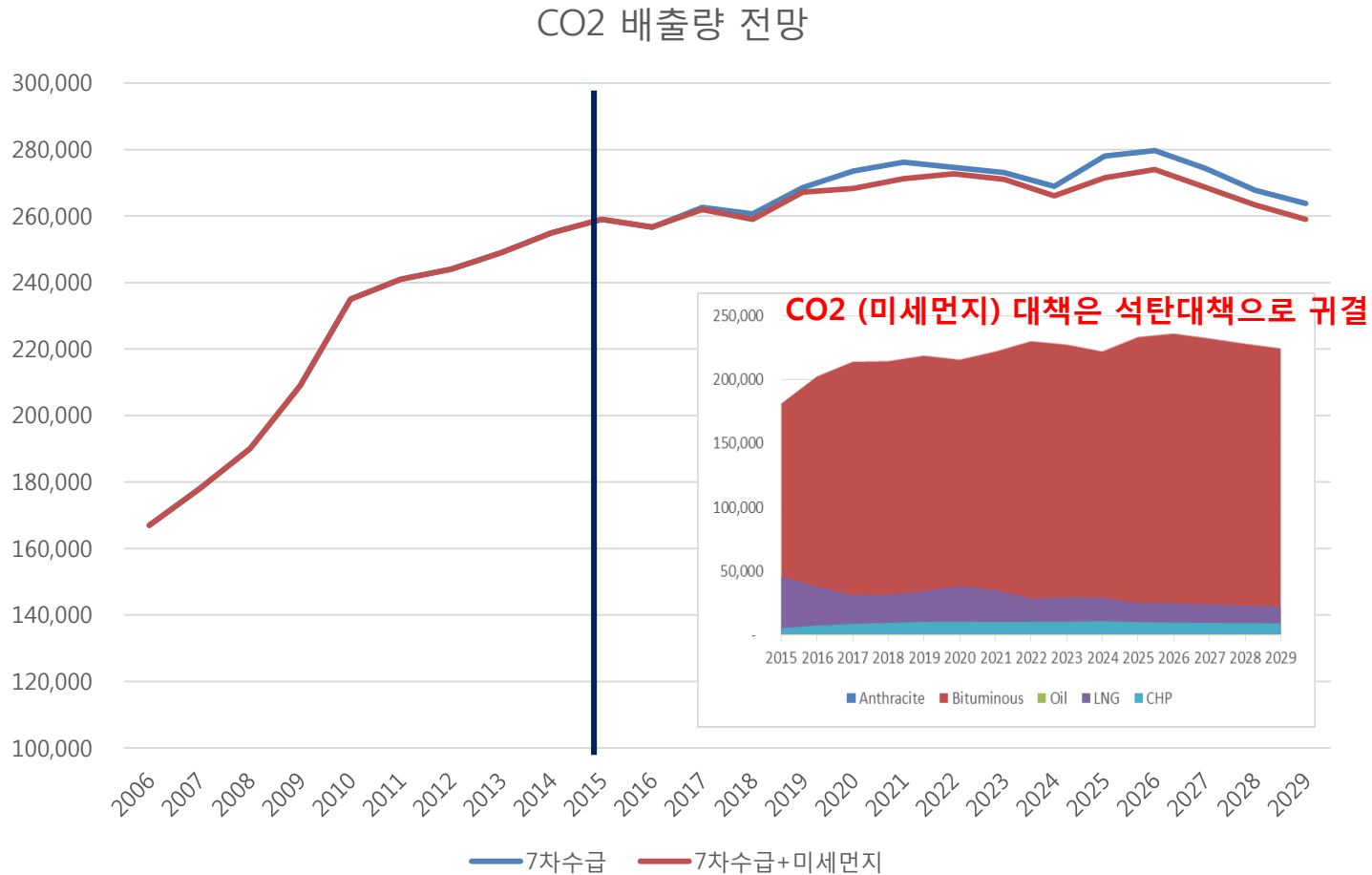
7차수급과 미세먼지 대책 반영 에너지원별 발전량 전망 (2015-2029)

- 7차수급(산업부 7.6 미세먼지대책) 기반의 에너지원별 발전량 전망(GWh)



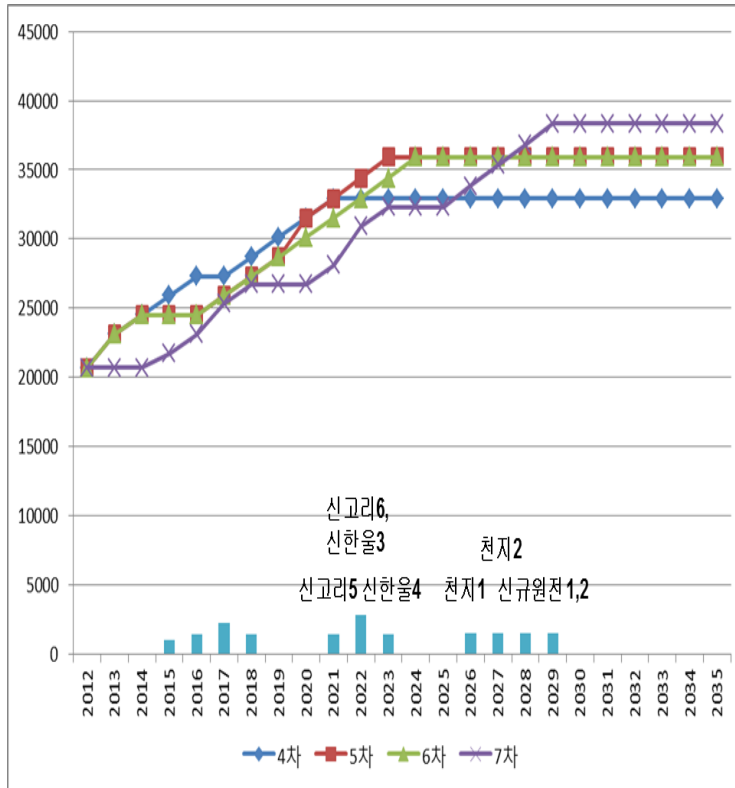
7차수급과 미세먼지 대책 반영 CO2 배출량 전망 (2015-2029)

- 7차수급과 산업부 미세먼지대책 기반 CO2 배출량 전망 (2015-2029)

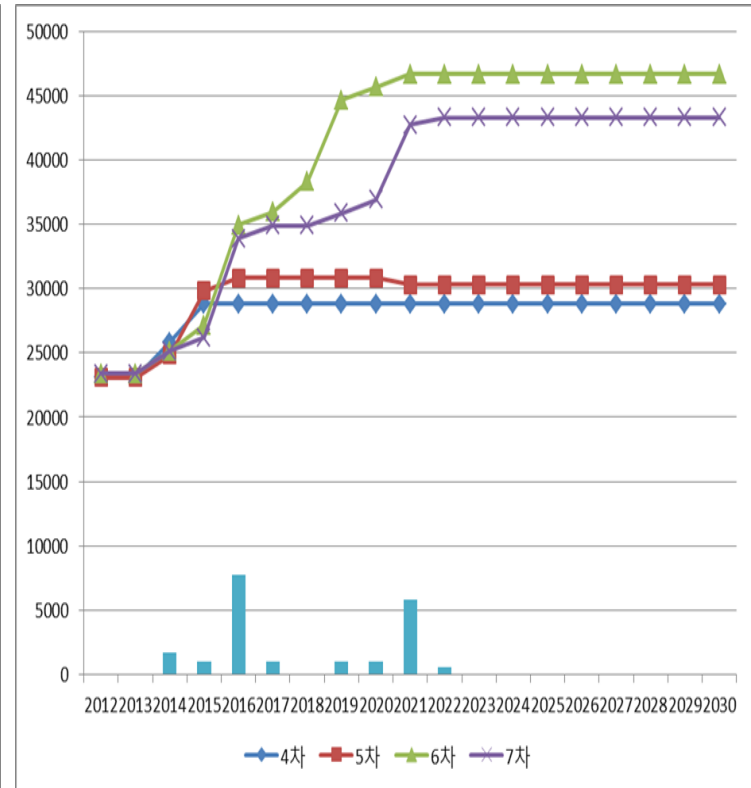


7차수급의 이행 불확실성과 CO2 배출량 불확실성 상존

- 원전의 지연 실적 및 지연 가능성



역대 원전 건설계획



역대 석탄 건설계획

7차수급의 이행 불확실성과 CO2 배출량 불확실성 상존

- 원전의 지연 가능성과 신재생에너지원의 이행 불확실성

연 도	수 력	풍 력	해 양	태양광	바이오	폐기물	부 생 가 스	연 료 전 지	IGCC	계
2014. 12	1,767	604	255	1,791	137	152	1373	161	0	6,240
2015. 12	1,767	732	260	2,354	173	155	1373	241	300	7,355
2016. 12	1,767	1,204	260	3,403	177	155	1373	321	300	8,960
2017. 12	1,767	1,785	275	4,218	179	155	1373	410	300	10,462
2018. 12	1,767	2,375	275	5,084	179	155	2800	481	300	13,416
2019. 12	1,769	2,955	315	6,004	193	155	2800	561	300	15,052
2020. 12	1,779	3,588	835	6,982	193	155	2800	641	300	17,273
2021. 12	1,784	4,114	835	8,018	193	155	2800	721	300	18,920
2022. 12	1,789	4,534	835	9,103	193	168	2800	801	300	20,523
2023. 12	1,794	4,967	835	10,223	193	168	2800	861	300	22,141
2024. 12	1,799	5,414	835	11,355	193	168	2800	961	300	23,825
2025. 12	1,804	5,884	835	12,473	193	168	2800	1,041	900	26,098
2026. 12	1,809	6,380	925	13,549	193	168	2800	1,121	900	27,845
2027. 12	1,814	6,905	925	14,563	193	168	2800	1,201	900	29,469
2028. 12	1,819	7,464	925	15,505	193	168	2800	1,281	900	31,055
2029. 12	1,824	8,064	1,025	16,565	193	168	2800	1,351	900	32,890

CO2와 미세먼지 감축을 위한 대안 선정시 고려 요소

- CO2 및 미세먼지 감축 방안시 고려할 점

사회적 갈등

한계 감축비용 (원/CO2)
- 외부비용 고려

물리적 구현 가능성



에너지안보
(독립, 포트폴리오)

기술개발(기술자립)

전력계통 안정도

CO2와 미세먼지 감축을 위한 대안의 장단점 비교 (직관적 접근)

- 원전 추가 건설 ➔ 사회적 합의
 - 감축비용(O), 에너지안보(O), 기술개발(O), 물리적 구현(△), 계통안정성(X), 사회적갈등(X)
- 신재생 추가 건설 ➔ **중장기 최종 목표**
 - 감축비용(X), 에너지안보(O), 기술개발(△), 물리적 구현(△), 계통안정성(X), 사회적갈등(O)
- 연료전환 (석탄 ➔ LNG) ➔ **중기적(Bridge) 대안**
 - 감축비용(△), 에너지안보(△), 기술개발(X), 물리적 구현(O), 계통안정성(O), 사회적갈등(O)
- 일정 수준의 석탄 유지
 - 기술개발(초초임계압), 에너지안보(포트폴리오), CCS연계

연료전환(석탄 → 천연가스)의 방법론과 관련 이슈

- 노후석탄의 폐쇄(예: 30년)와 LNG 발전의 등가적 증가
 - 저효율 노후 석탄의 폐쇄. 유틸리티의 활용 방안과 연계 필요.
- 신규석탄의 진입 금지와 LNG 발전의 등가적 증가
 - 신규투자 경제효과와 고효율석탄(초초임계압)의 국산화 문제 일부 연계.
- 석탄발전의 출력저감과 LNG 발전의 출력 증가
 - CO₂ 배출권 할당과 거래 (총량규제)
 - SO_x, NO_x, (분진)의 경우도 배출권 할당 방식의 총량규제 고민 필요 (미국의 사례)
우리나라 현재의 정책은 ppm 기반 농도 규제
 - **석탄 및 LNG의 도매전력시장 보상방식** 정립 필요
- 제반 연료전환 방식과 장단점 정량적 분석, 제도 개선 방안, 사회적 합의 등에 대한 향후 지속적인 연구 필요
 - 석탄, LNG 연료비용 수준에 따라 60,000[원/CO₂Ton] – 120,000[원/CO₂Ton] 추정

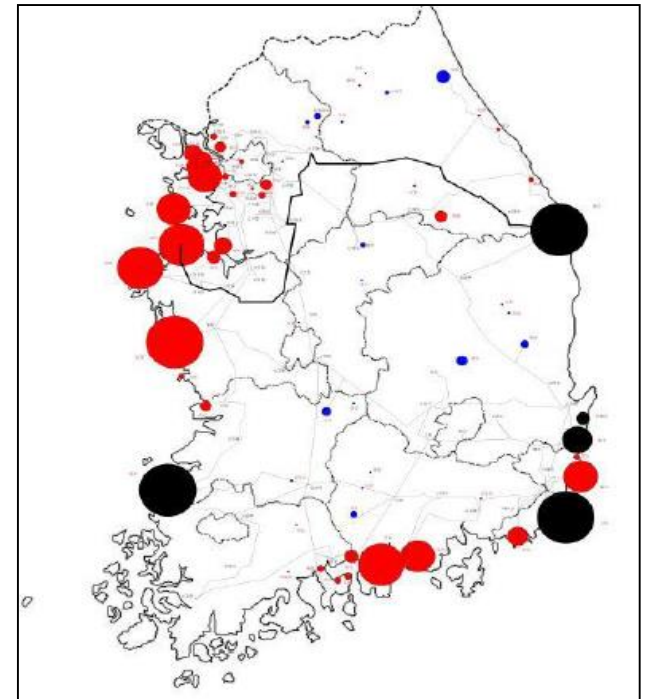
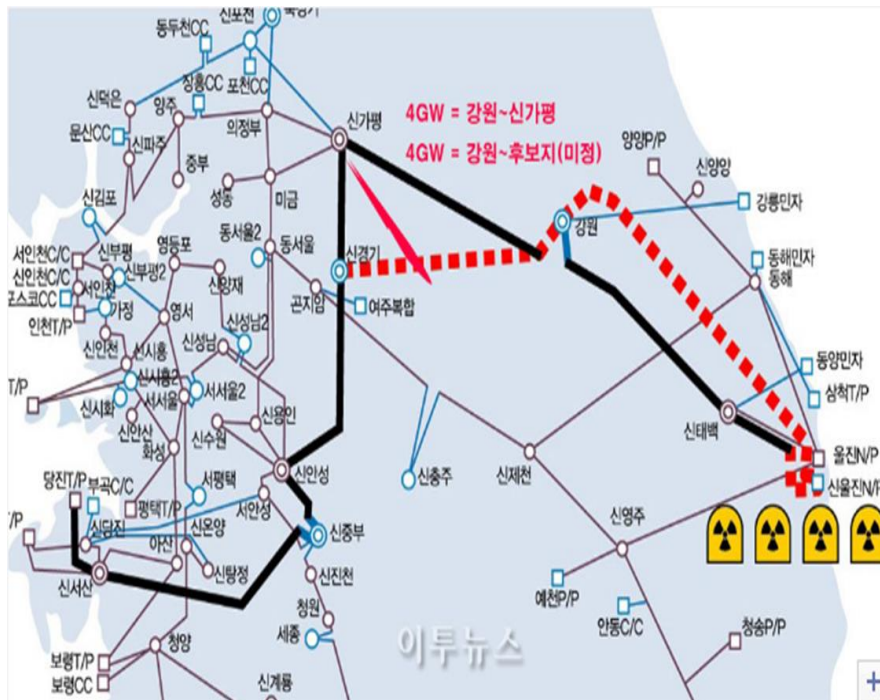
제도개선 영역과 이슈 (1)

- 전력수급계획 관련 주요 이슈

- 석탄의 비중에 대한 사회적 합의 도출 (CO₂, SO_x, NO_x, 분진)
- ‘발전계획 → 송변전계획’ 수립 등과 같은 순차적 수립 방식의 개선

: (발전계획)과 (송변전계획) 동시 구축 시스템 고려

: 대규모 기저발전 시스템 vs 소규모 분산전원 시스템

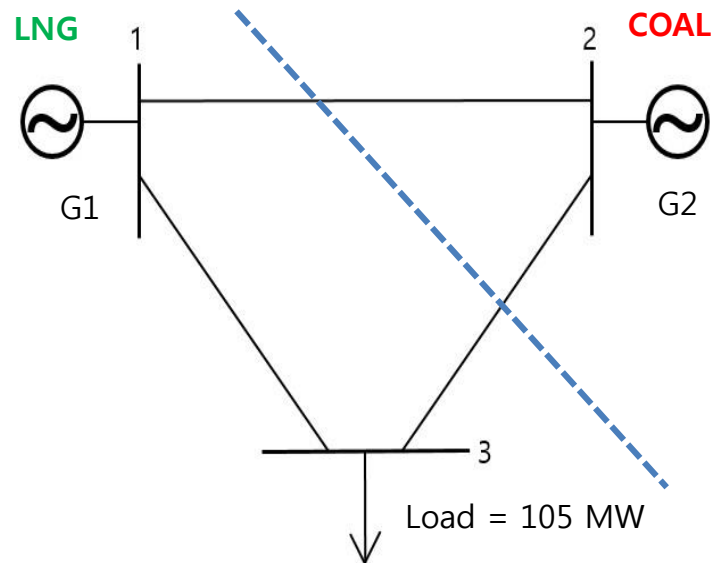


제도개선 영역과 이슈 (2)

- 도매전력시장의 가격결정과 LNG 발전의 수익성 (1)
 - 현행 우리나라 도매전력시장 가격 결정과 보상 방식은 비수도권 기저발전에 상대적 유리
: 분산전원 역할 LNG 발전의 수익성 한계
 - 송전망 제약, CO2/SOx/NOx/미세먼지 제약 가격 결정 방식의 개선 고민

구분	비용 함수	Min (MW)	Max (MW)
G1	$C_1 = 0.0161P_1^2 + 5.88P_1 + 307.45$	25	50
G2	$C_2 = 0.0114P_2^2 + 5.35P_2 + 144.89$	50	100

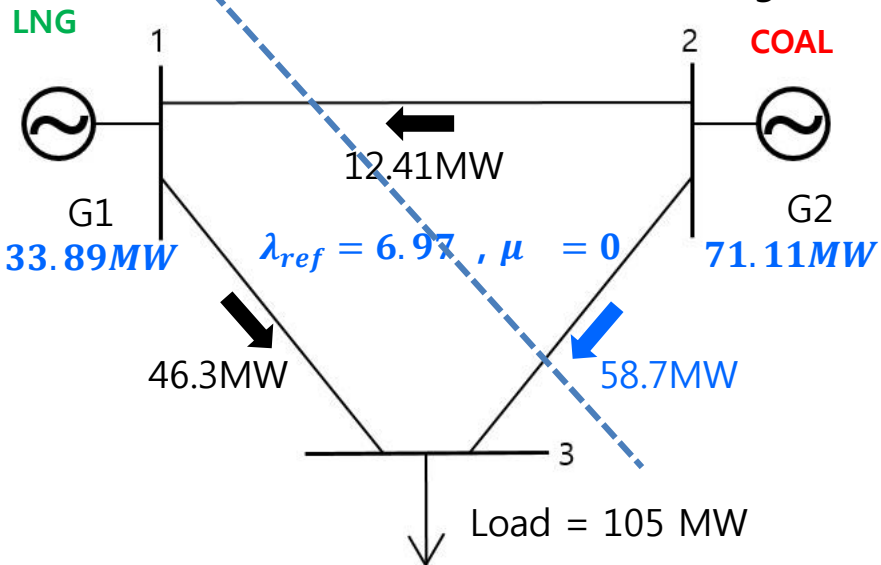
선로	리액턴스(p.u)	용량한계 (MW)
1 - 2	1	50
1 - 3	1	110
2 - 3	1	55



제도개선 영역과 이슈 (3)

• 도매전력시장의 가격결정과 LNG 발전의 수익성 (2)

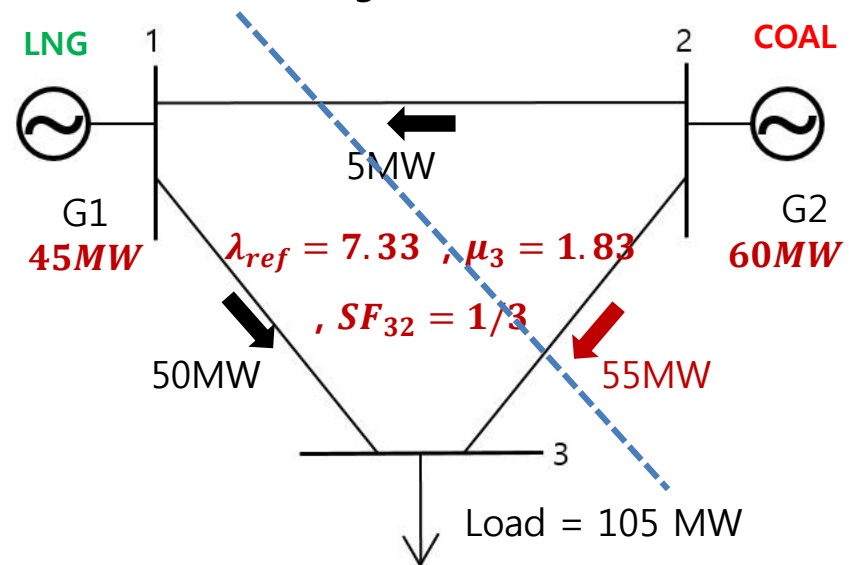
– 균일가격제도(Uniform Pricing)와 노선별가격제도(Nodal Pricing)의 결과 비교



$$LMP1 = \lambda_{ref} = \$6.97/MWh$$

$$LMP2 = \lambda_{ref} + 0 = \$6.97/MWh$$

$$LMP3 = \lambda_{ref} + 0 = \$6.97/MWh$$



$$LMP1 = \lambda_{ref} = \$7.33/MWh$$

$$LMP2 = \lambda_{ref} - 1.83 \times 1/3 = \$6.72/MWh$$

$$LMP3 = \lambda_{ref} + 1.83 \times 1/3 = \$7.94/MWh$$

구분	Case-1 정산
G1	$33.89MW \times \$6.97/MWh = \236.21
G2	$71.11MW \times \$6.97/MWh = \495.64
부하	$105 MW \times \$6.97/MWh = \731.85

구분	Case-2 정산
G1	$45.0MW \times \$7.33/MWh = \329.81
G2	$60.0MW \times \$6.72/MWh = \403.08
부하	$105 MW \times \$7.94/MWh = \833.70

제도개선 영역과 이슈 (4)

- 환경규제 방식의 검토
 - 총량규제 및 CAP & Trade 방식 (CO₂, SO_x, NO_x, 분진)
 - 발전사 자율의 총량규제 포트폴리오 구성 유인
 - SO_x, NO_x, 분진 등에 대한 ppm 규제와의 장단점 연구 필요
- 분산전원인 집단에너지 수익성 제고
 - 기존의 대표적 분산전원인 LNG CHP 등의 수익성 제고 필요

결론 및 제언

- 분산형 에너지시스템의 구축으로 전환 필요
 - 진입규제 (전력수급계획), 수익규제 (전력시장가격제도) 혁신 필요
 - 저탄소 천연가스, 무탄소 신재생(태양광, 풍력)의 시기적 역할론 합의
: 천연가스의 브릿지 역할과 신재생과의 조화 필요
- CO₂, SO_x, NO_x, 분진 등에 대한 통합적 환경 규제
 - 개별적인 환경규제 방식과 통합적인 환경규제 방식의 비교 검토
 - 총량규제방식과 원단위(ppm) 규제 방식의 비교 검토
 - 사회적 비용의 최소화와 이행 비용의 최소화 방안 도출
- 분산형 에너지시스템 구축을 위한 전력가격 결정방식 변화에 대한 고민 시작할 시기
- 에너지원(태양광, 풍력, 천연가스 등)에 대한 소비자(기업, 개인) 선택권 문제