



New  
Business

Future Energy

Efficiency



Smart Energy



# 공존과 지속 가능한 우리 전력망

2017. 2.

서울대학교 공과대학  
문 승일



## 강연자 프로필

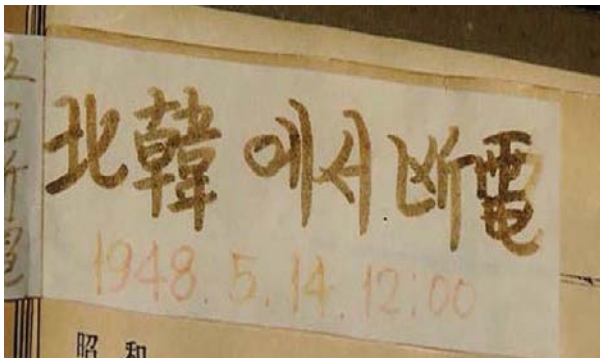
- 서울대학교 전기공학부 학사
- 오하이오 주립대학교 석·박사
- 서울대학교 교수
- 녹색성장위원회 위원 역임
- 녹색성장위원회 산업기술 분과위원장 역임
- 산업통상자원부 전력정책심의회 위원장 역임
- 국가에너지위원회 위원
- 전기산업 통일연구협의회 회장
- KBS 객원해설위원 역임
- 기초전력연구원 원장 역임





# 우리 전력망의 발전과 도전

## 시작은 미약했지만



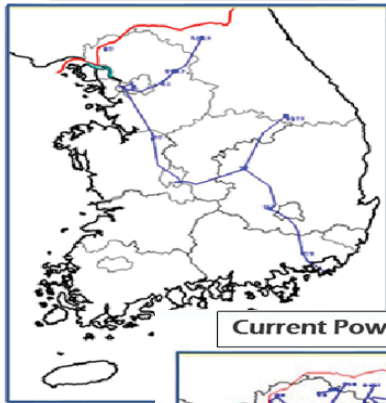
	대한 민국 (MW)	북한 (MW)	총합 (MW)
1945	198 (11.5%)	1,524 (88.5%)	1,722 (100%)
2014	93,216 (92.8%)	7,253 (7.2%)	100,469 (100%)

### 전기품질 국제비교

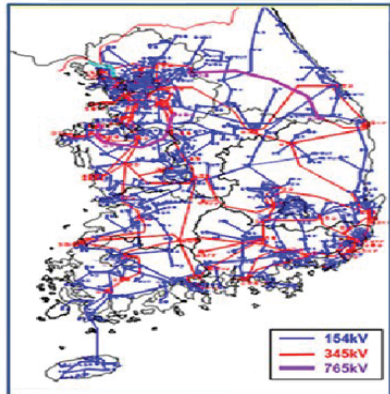
구분	대한민국	일본	미국
전압유지율(%)	99.93 (2012)	99.9 (1993)	-
호당정전시간(분)	10.88 (2014)	11 (2007)	120 (2009)
주파수유지율(%)	99.97 (2011)	99.9 (1994)	-
송배전손실률(%)	3.69 (2011)	4.8 (2011)	5.8 (2011)

# 시대와 상황이 변했다

Power System in 1968



Current Power System



출처 : KEPCO



Confidential - Do Not Distribute

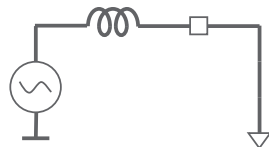
COPYRIGHTS © 2016 Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. ALL RIGHTS RESERVED.

- 5 -/66

KESRI 기초전력연구원  
Korea Electrical Engineering & Science Research Institute

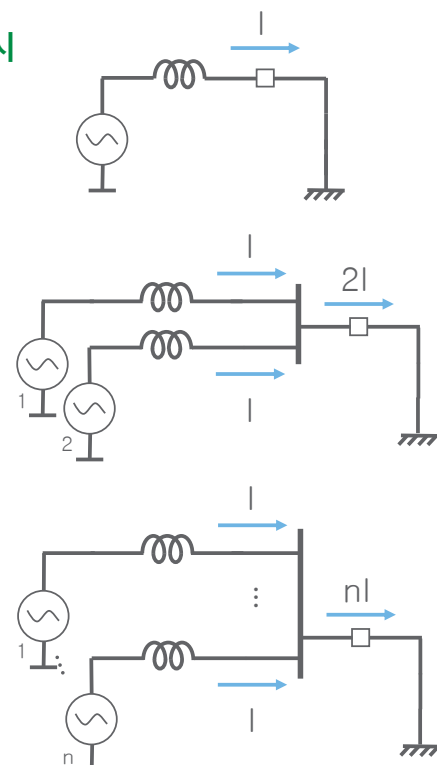
## 수도권 차단용량 초과 문제

정상상태



- 연결된 발전기의 수가 늘어날수록 사고전류 증가로 서킷브레이커의 부담 증가
- 과도한 네트워크 연결로 차단용량 초과되면 사고 시 문제 발생

사고 시



Confidential - Do Not Distribute

COPYRIGHTS © 2016 Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. ALL RIGHTS RESERVED.

- 6 -/80

KESRI 기초전력연구원  
Korea Electrical Engineering & Science Research Institute

## 증가하는 모선분리 개소

- 전력수요가 점차 증가하고 전력계통 규모가 확대됨에 따라 전력계통 운영이 더욱 복잡해질 것으로 예상
- 계통에서 사고 발생 시 선로 분리 또는 모선분리를 통해 고장전류 저감  
→ 지역별 모든 발전기가 운전되더라도 모선별 고장전류차단기 정격 내로 유지 가능
- 2015년 여름 모선 분리 개소는 총 116개소로 2014년 110개소에서 6개소 증가

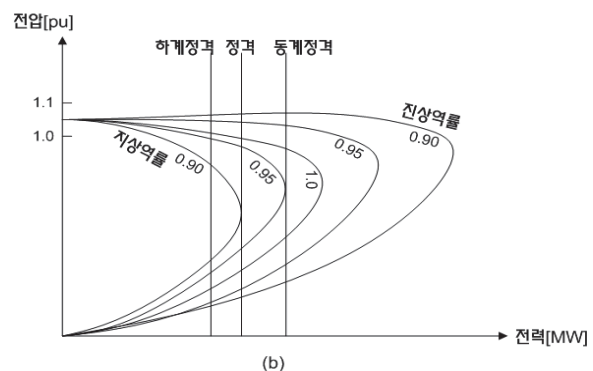
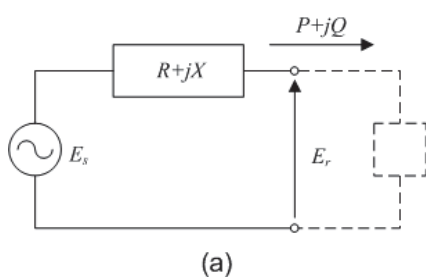
지역별 모선분리 개소 현황 (2015)

단위 : 개소

구분	모선(kV)		선로(kV)		모선	선로	합계
	345	154	345	154			
수도권	9	23	0	30	32	30	62
강원,충청	6	8	0	2	14	2	16
호남,제주	1	7	0	3	8	3	11
영남	7	9	2	9	16	11	27
합계	23	47	2	44	70	46	116

## 전압의 안정도 문제

- 지상 역률의 경우 약간의 부하 변화로 전압의 변화가 큰 임계점 존재  
→ 전압의 불안정성이 발생
- 전압 붕괴의 가능성은 부하의 성질에 의해 좌우  
→ 무효 전력 공급 필요





# 계통 안정도 문제

- 고장파급 방지 장치 (SPS)
  - 비정상적인 전력계통의 운전조건들을 검출하여 정상상태로 운전하기 위하여 교정조치를 취함
  - 전력계통 안정도를 유지하기 위해 부하차단 또는 전력계통 구성을 변화시킴

목적	조치	설치 개소
발전기 과도안정도 개선	발전기 차단, 출력감발	평택화력, 태안화력, 당진화력, 보령화력, 하동화력 울진원자력, 영광원자력, 양양양수
전압 불안정 개선	부하차단	수도권, 강릉, 서울 북부지역, 제주계통 청평양수, 거제지역, 전주지역, 정읍지역, 목포지역 한강수력계, 원주지역
	송변전 설비 차단	신안성, 신서산, 신태백, 신가평, 신인천변전소, 서인천 복합 리액터 차단
	부하차단	삼랑진 양수
과부하 해소	송변전 설비 차단	당진화력 주변압기
	발전기 차단	울산복합
저주파 해소	부하 차단	전국변전소 저주파계전기 부하 차단

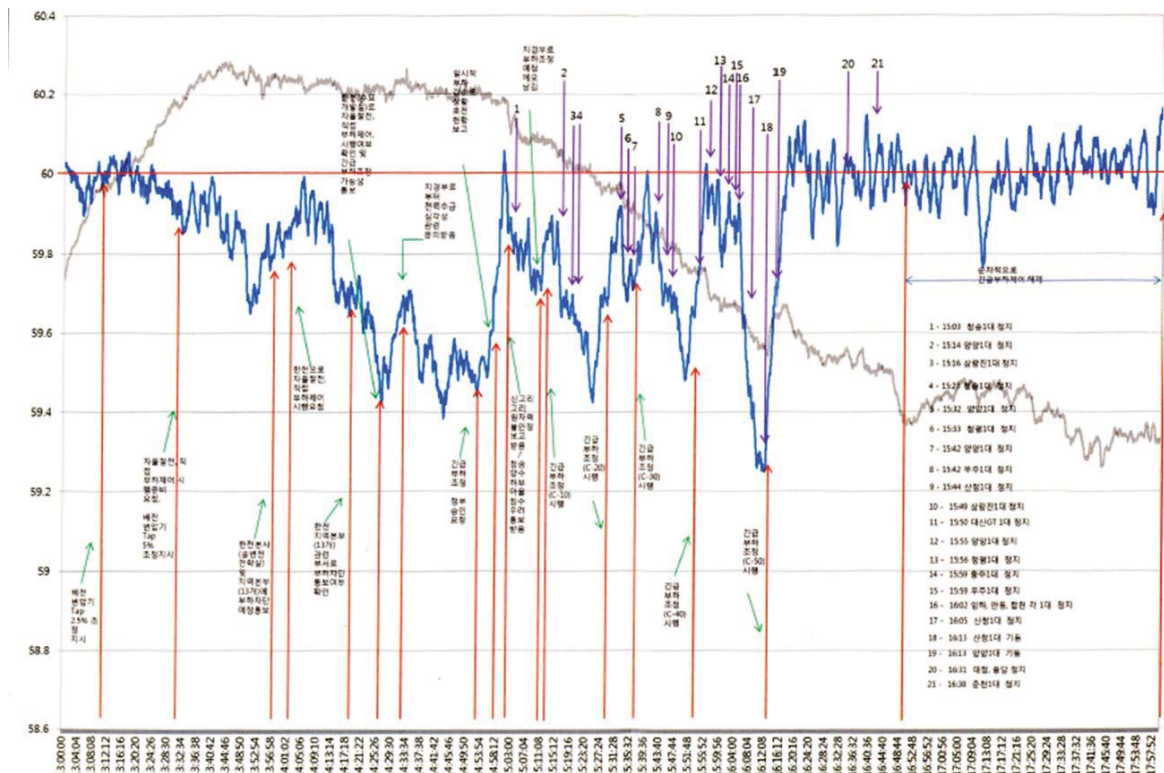
Confidential - Do Not Distribute

COPYRIGHTS © 2016 Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. ALL RIGHTS RESERVED.

- 9 -/80



## 9.15 순환단전: 전력수급 문제



## 우리의 전력 소비량은 적당한가?

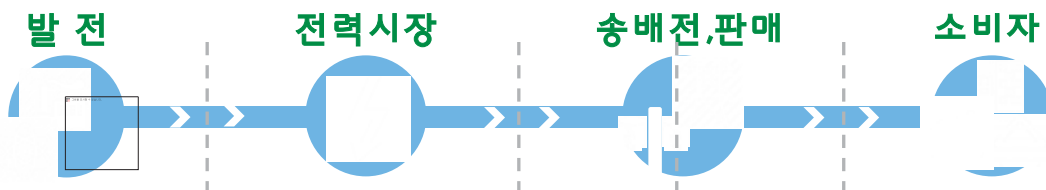
### OECD 상위 소득국 평균치보다 높은 전기 소비량

- 시내버스요금의 상승률과 비교해 보았을 때 전기 요금의 상승률 매우 작음
- 주거부문 1인당 전력 소비량은 OECD 평균의 약0.5배에 불과함
- 국내총생산 대비 전력 소비량은 OECD 평균의 1.75배에 이름
- 산업용 전기요금이 적용되는 제조업 등에서 전기가 과다하게 사용됨



국 가	국민 1인당 전체 전력 소비량
대한 민국	9,165.99(kWh)
일본	6,763.79(kWh)
독일	7,191.65(kWh)
영국	5,071.93(kWh)

## 현행 전기사업법 체계 : 100년 전과 비슷



칸막이를 파괴

프로슈머 (Prosumer) 시대 대비



# 세계 각국의 기후변화 대응



2030년 배출  
전망치 대비  
37% 감축목표  
제시

국 가	'30년 감축목표(INDC)
미국	2005년 대비 26 ~ 28% 감축
중국	2005년 대비 60 ~ 65% 감축
일본	2013년 대비 26% 감축
EU	1990년 대비 40% 감축
호주	2005년 대비 26 ~ 28% 감축



## 전력 신기술과 변화하는 기업

# 전력설비 개념을 바꾸자

## 기존 전력 설비



송·변전선로



변압기



변전소



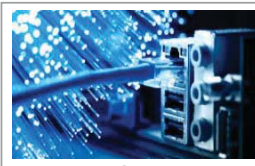
화력발전소



원자력 발전소

발전소, 송변전선로, 변압기, 변전소만 전력설비인가?

## 새로운 전력 설비



전력 ICT



신재생에너지



ESS



HVDC



전기차 충·방전

전력 설비의 개념을 바꾸자

# 우리도 변한다

## 거대 전력망 시대



Source: 인터넷환경일보

## 마이크로그리드 시대



Source: 에너지경제신문

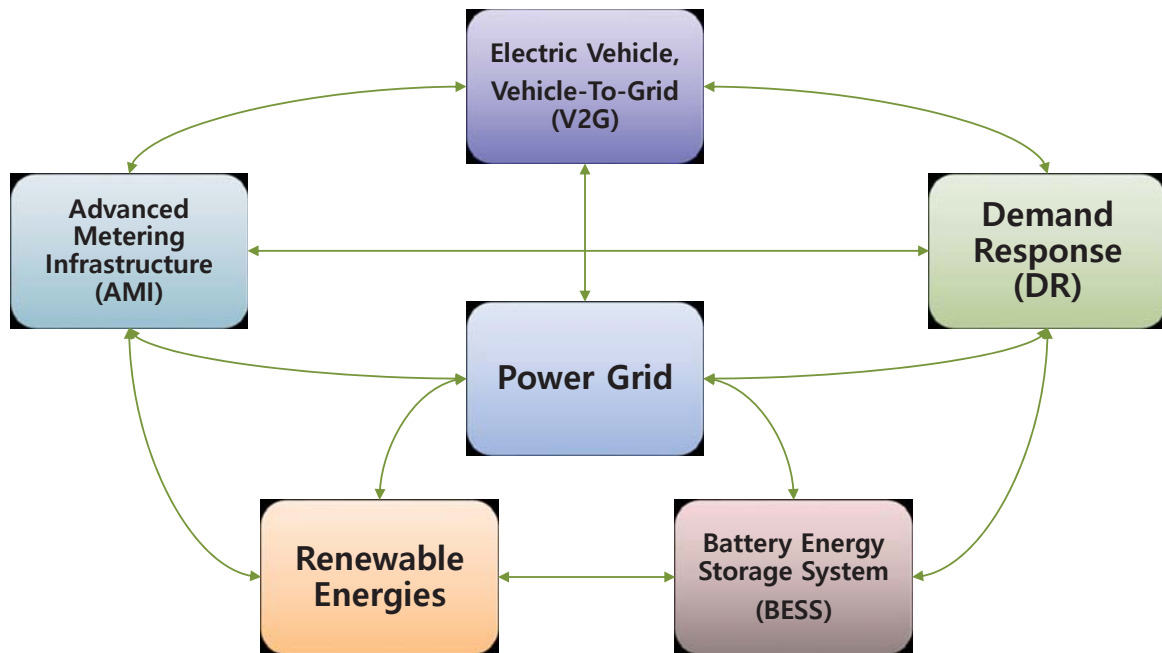
## 전기차 V2G 시대



Source: Korea Blog



# 창조경제의 해법: Smart Grid



# 제주 스마트그리드 실증단지



# 스마트그리드 확산사업 주요 내용



Confidential - Do Not Distribute

COPYRIGHTS © 2016 Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. ALL RIGHTS RESERVED.

- 19 -/66

KESRI 기초전력연구원  
Korea Electrical Engineering & Science Research Institute

# 에너지 신산업 사업 모델



전기자동차



친환경 에너지타운



수요자원거래시장



제로에너지빌딩



에너지 자립섬



발전소 온배수열 활용



ESS 통합서비스



태양광 대여

출처 : Committee of Green Growth

Confidential - Do Not Distribute

COPYRIGHTS © 2016 Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. ALL RIGHTS RESERVED.

- 20 -/66

KESRI 기초전력연구원  
Korea Electrical Engineering & Science Research Institute

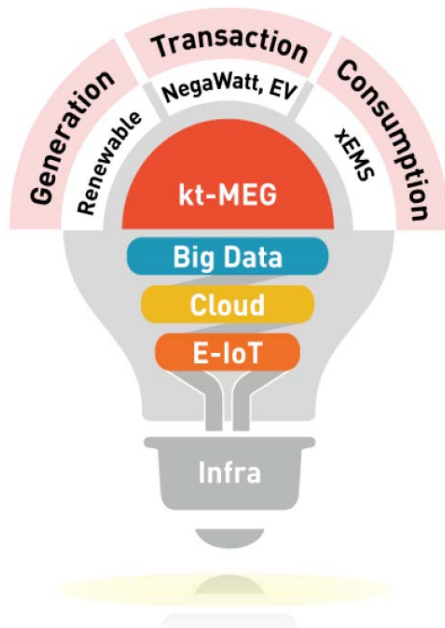


# Energy = Electricity

## LG의 에너지신산업 계획



## Future Energy Service 최적 운영을 가능케 하는 핵심 플랫폼



### 실시간 통합 O&M

Energy IoT와 Cloud 기반으로  
경제적인 실시간 O&M 서비스 제공

### 지능형 분석엔진

Big Data 기반 Energy Intelligence 제공

### 저비용 Cloud EMS

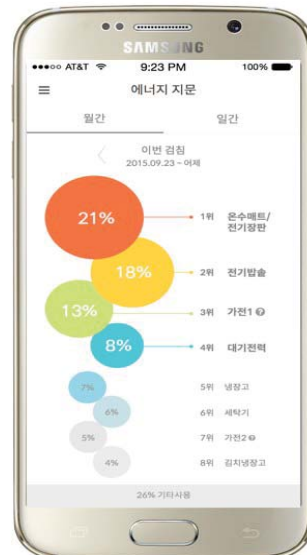
경제적인 에너지관리서비스 제공

### Multi-Service 관제

고객에게 개별 서비스들의  
통합관리 기능 제공

## 인코어드 사례

### 1초에 모든 가전제품 정보 업데이트





## KEPCO FR ESS 사업 현황



- '17년까지 누적 설치량 500MW
- 기대효과 : 한전의 연평균 약 3,500억원 전력구입비 절감 가능
- 주파수 조정을 통한 전기품질 확보 및 전력계통 운영효율 향상
- ESS 관련 산업 활성화 및 새로운 일자리 창출
- ESS track record 확보로 해외시장 진출기반 마련

구분	'14	'15	'16	'17
FR용 ESS 설치량	50MW	50MW	200MW	200MW

출처 : 에너지 경제신문

## ESS 비상전원 활용 길 열려

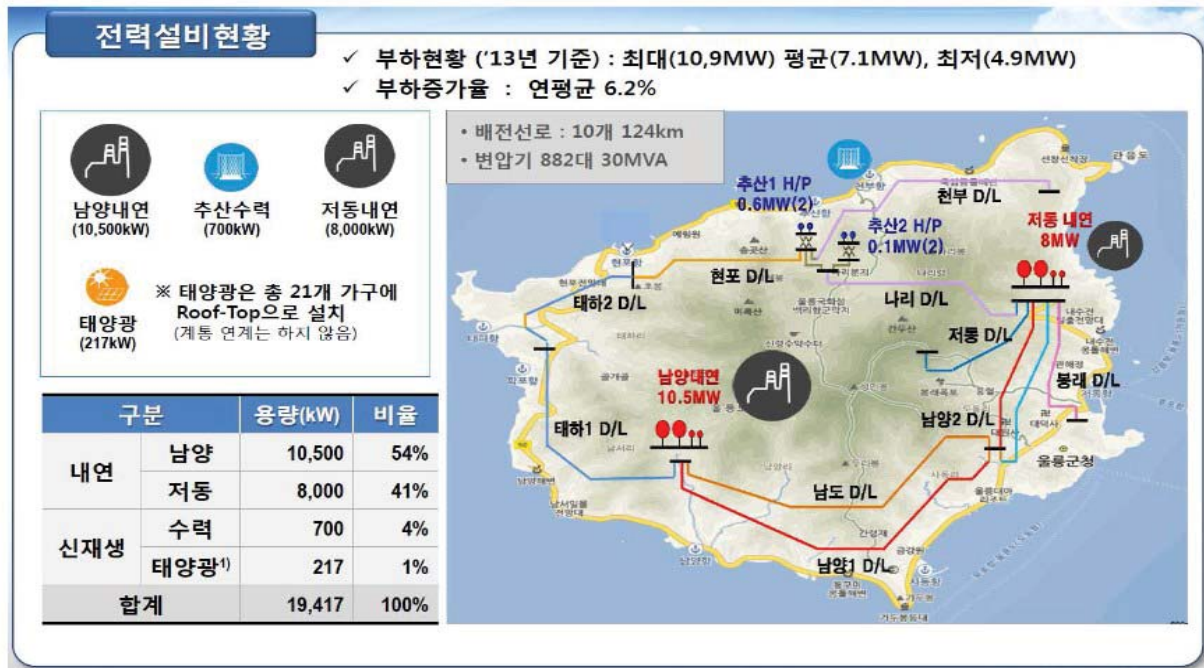
- 관련규정의 비상전원 또는 예비 전원 중 축전지 설비에 전기저장장치(ESS)가 포함될 수 있도록 허용
  - 관련 규정에는 축전지 설비에 대한 정의가 미비하여, 가이드라인을 통해 ESS도 포함될 수 있도록 유권해석의 근거 마련

<관련 규정 현황 (예시)>

구분	관련 규정	주요 내용
건축물 (호텔, 아파트, 오피스텔 등)	개별 화재안전기준의 비상전원 설치기준	비상전원은 자가발전설비 또는 축전지설비로 설치
	건축전기설비설계기준	5장. 예비전원설비 1.4 축전지설비
사업장	비상전원의 선정 및 설치에 관한 기술지침	4.1 비상전원의 종류와 특성 비상전원설비로는 비상발전기설비, 축전지설비, 비상전원용 수전설비 등으로 구분하며 각각의 비상전원설비별의 종류 및 특성은 다음과 같다.



# 울릉도 친환경 에너지 자립성 추진 계획



# 서울대학교 Campus Microgrid

## 컨소시엄 특징- 융복합



## 단계별 사업화 전략



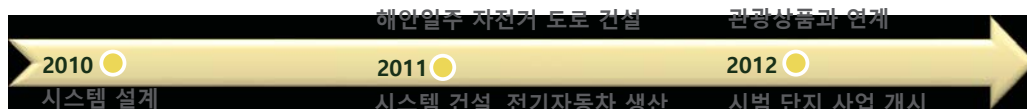
녹색성장 위원회 정책 제안

## 대한민국 녹색 성장의 상징 “Carbon Free Island, 제주도”

2009. 3.  
녹색성장위원회 위원  
서울대학교 공과대학 문승일



# 제주도 그린카 시범 단지 사업 제안



## 제주 Carbon Free Island 2030

### 2030년 까지 전력을 포함한 전 부문에서 탄소 없는 섬 조성 계획

- 제주특별자치도, Lg 그룹의 공동 사업 추진



# 제주에서 부터 변화가 시작된다

## 신재생 에너지의 단계별 목표

단계	현재	1단계 (~'18년)	2단계 ('19년~'20년)	3단계 ('21년~'30년)
신재생 발전원	간헐 풍력 156MW 태양광 54MW	730MW 풍력 522MW 태양광 200MW 기타 8MW	1,350MW (최소 950MW) 풍력 1,090MW 태양광 250MW 기타 10MW	2,690MW (최소 1,480MW) 풍력 2,350MW 태양광 300MW 기타 40MW
	기저 -	-	60MW 연료전지 60MW	520MW 연료전지 520MW
ESS (배터리)	-	410MW (670MWh) 출력안정화 104MW 피크절감 306MW	670MW (1,010MWh) 출력안정화 218MW 피크절감 452MW	1,300MW (1,900MWh) 출력안정화 470MW 피크절감 830MW
신재생 비율	13%	35% 이상	55% 이상	85~100%

※ 신재생 간헐발전원 중 기타는 바이오, 해양, 지열 에너지  
 ※ 신재생 전환율 = 연간신재생발전량 / (연간전력수요량 - HVDC 연평균수전량)  
 ※ 각 발전원별 용량 목표는 국가 경제 변화 및 신기술 발전 등에 따라 조정될 수 있음

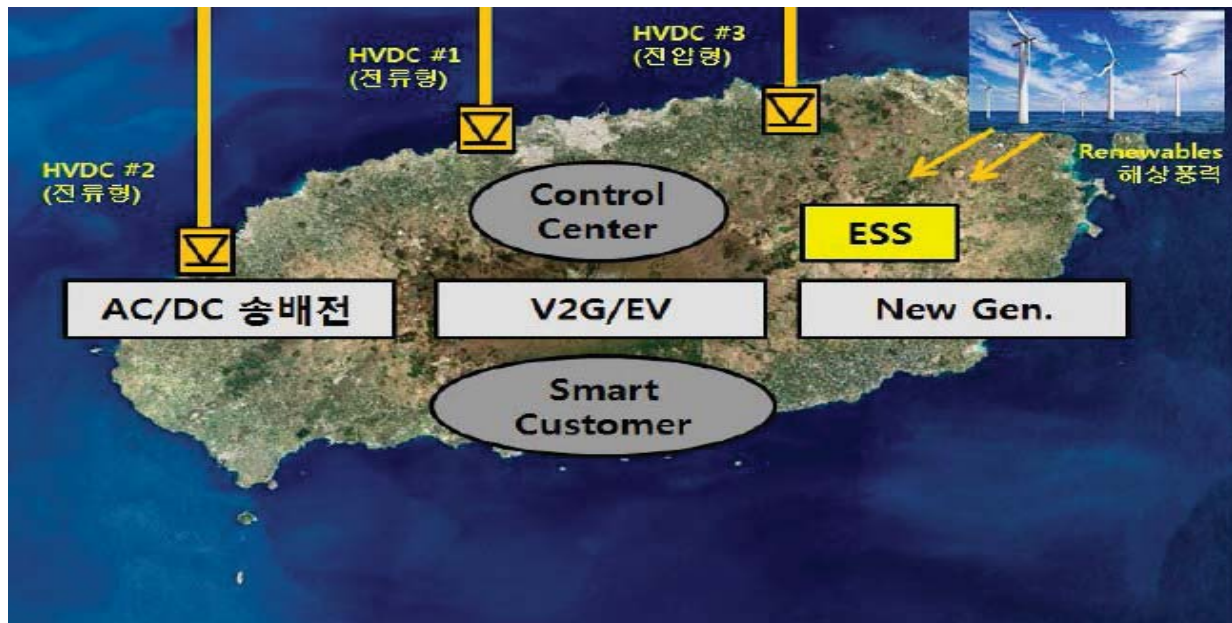
# 제주에서 부터 변화가 시작된다

## 전기자동차 단계별 목표

단계	현재 ('14년 말 기준)	1단계 (~'18년)	2단계 ('19년~'20년)	3단계 ('21년~'30년) <sup>1)</sup>
전기차 전환 <sup>2)</sup>	민간	788대	52,000대	125,000대
	택시	6대	850대	1,700대
	렌터카	58대	2,250대	8,200대
	버스 (승합)	(노선) 171대 -	(노선) 275대 -	(노선) 566대 (전세/승합) <sup>3)</sup> 23,000대
전환대수 (비율)	852대 (약 0.3%)	약 55,000대 (20%)	약 135,000대 (40%)	약 377,000대 (100%)
급속충전 인프라	79기	3,100기 <sup>4)</sup>	5,400기	15,000기

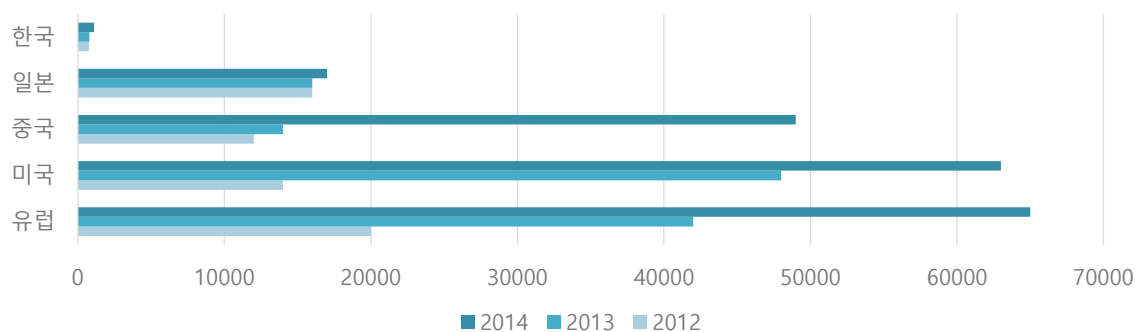
1) 특수차량 약 7,500대 포함 시 2030년 약 377,000대  
 2) 배터리스타트 외 잔여 차량을 연계사업 적용 가정  
 3) 전세버스 4,647대, 승합(밴) 18,004대

## 제주 New Grid 개념도



## 대한민국의 전기차 현황

### 전기차 판매량



### '10년 정부계획 상 목표대비 전기차 보급실적

(단위: 대, 누적)

구분	'11	'12	'13	'14
정책목표	800	4,000	13,200	35,100
보급실적	338	1,091	1,871	(2,800전망)
달성률	42.2%	27.2%	14.1%	7.9%

출처: 녹색성장위원회



## 중국 전기차의 약진



출처: 한국경제신문

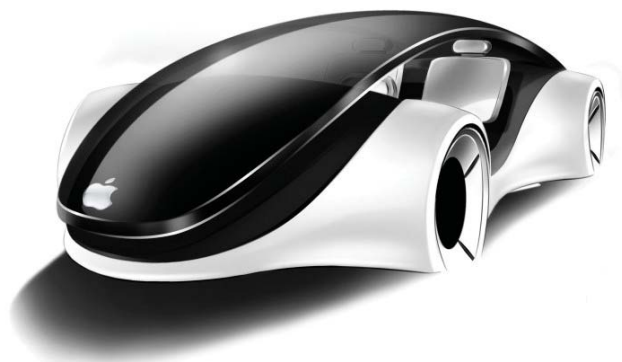


## 구글과 애플의 전기자동차



출처: 구글 홈페이지

출처: <http://insideevs.com/>



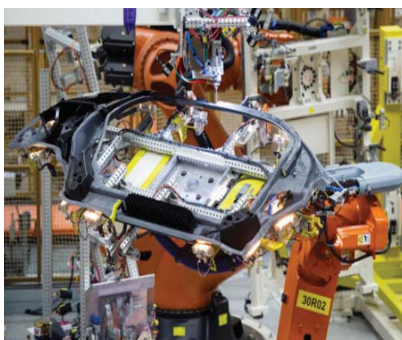
# 알파고는 왜 왔을까?



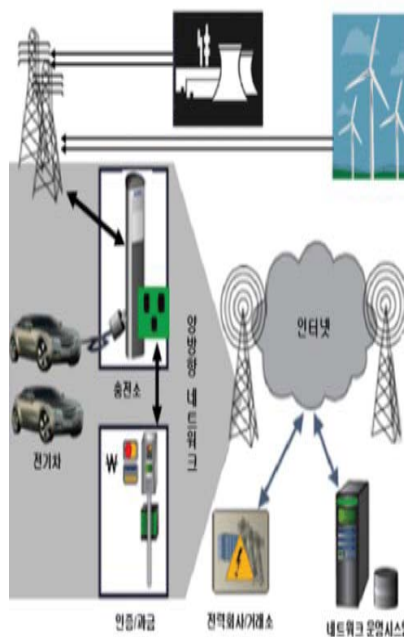
출처 : sbs

# 전기차가 세상을 바꾼다

## Transportation



## Energy Carrier (V2G)



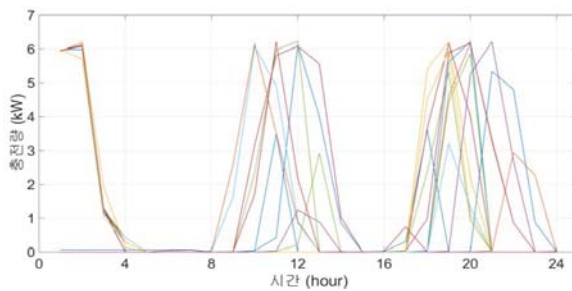
## ICT Platform



SOURCE : 한전 홍보센터

## 서울대학교 내 시범사업 중간 결과

- 서울대학교 내 39동 건물과 전기차가 연계된 V2B 수행 중
- V2G 제어시스템과 충전기 사이의 연계 문제로 데이터 확보가 늦어짐
  - 1시간 단위의 개별 EV 충·방전량 존재
  - 5개 EV에 대해 각각의 7~8월 데이터 확보
  - 누락데이터, 불량데이터를 제외한 약50일 데이터
  - 충방전 효율이 고려된 실제 충·방전량 존재
  - 전체 방전량은 충전량 대비 36%



EV의 하루 동안의 충전 패턴 및 충전량



# 대한민국 신재생 에너지의 현황

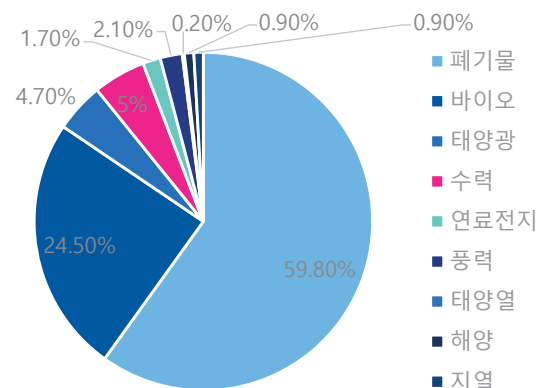
## 2035년까지 1차 에너지 대비 신재생에너지 총당률 11% 계획

- 2030년까지 일본 20%, EU 27%, 중국 30%, 미국 주에 따라 최대 40%
- 박근혜 대통령은 COP21에서 BAU(2030년 온실가스 배출 전망치)대비 37% 감축 목표 제시
- 폐기물과 바이오 84.3% → 진정한 신재생 에너지로 보기 어려움
- 풍력 태양광과 같은 탄소 배출이 없는 신재생 에너지 대규모 보급 불가피

1차 에너지 대비 신재생에너지 생산량 증가 추이



2014년 에너지원별 생산량 비중



Source : 2014년 신재생에너지 보급 통계 2015년 판



# 화석에너지에서 친환경에너지 시대도래



출처 : Future  
Horison(2015)

## 친환경에너지의 산업화

### Portugal runs for four days straight on renewable energy alone

Zero emission milestone reached as country is powered by just wind, solar and hydro-generated electricity for 107 hours



2016.5.7~5.11 총 4일간 107동안 신재생에너지로 포르투갈 전체 전력소비 대응

발전원 : 태양력 + 풍력 + 수력

### Renewables peak at 95% of German electricity demand

09 MAY 2016 | GLOBAL PV MARKETS, MARKETS & TRENDS, TOP NEWS | BY: SANDRA ENIG-HARDT

On Sunday, May 8, renewables reached a record 95 % of German electricity consumption at 11 AM.



On Sunday, about 95% of the country's energy demand could be covered by renewable energy sources  
Fotomontage Tom Baerwald/Solarpraxis

According to the calculations by [Agora Energiewende](#), due to the weather conditions on May 8, renewable energy generation in Germany reached a new high. At 11 AM local time, renewables covered a record 95 % of the country's electricity consumption.

On Sunday, May 8, the sun was shining bright on most of the German territory, and the wind was strong as well. Due to the weather conditions, total capacity of PV installations in use in the country reached 26.11 GW. At the same time, the capacity of wind power plants reached 20.83 GW, Agora Energiewende says.

2016.5.9 11시, 신재생에너지 출력 54.8GW달성  
독일 전체 소비 전력(57.8GW)의 95%에 달함

발전원 : 태양력 + 풍력 + 수력

출처 : the guardian(2016)

# 신재생 에너지 (태양광 vs 풍력)



태양광

VS



풍력

전자장치	특 성	기계장치
小 ~ 大	필요 공간	大
사용하는 셀만 같으면 효율 같음	효 율	장치가 클수록 효율 좋음 (규모의 경제)
태양광 근처에 주거 가능	주 거 환 경	풍력기 근처에 거주 힘들

# 에너지밸리 조성계획

전력과 ICT의 융합으로 에너지 신성장을 창조하는  
전력 IT 클러스터 구축

- 빛가람 에너지 밸리 + 제주 New Grid 에너지 산업 벨트화

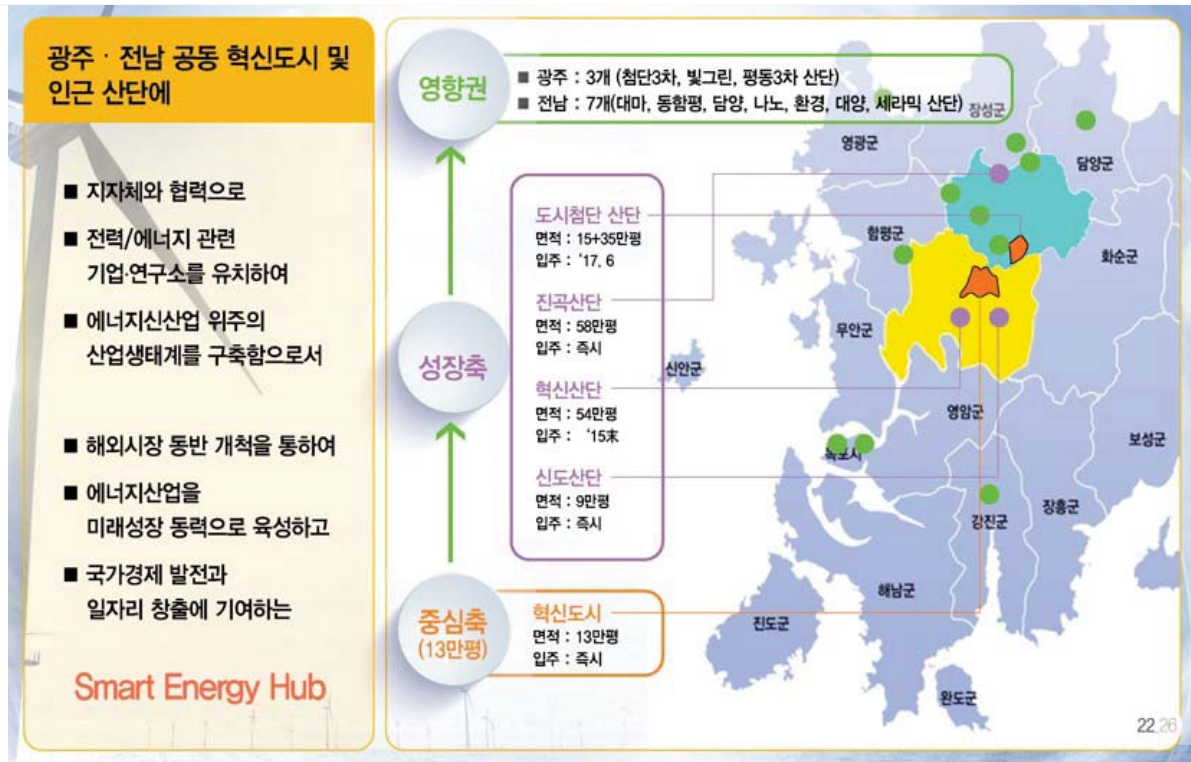
에너지신산업 산업체 클러스터 조성 방안

- 2016년 3월 초 기준 105개 기업과 MOU 체결, 외국기업 투자유치 추진
- 2020년까지 유망 중소기업 500개 유치, 3만명 고용창출 기대





# 에너지밸리로의 진출



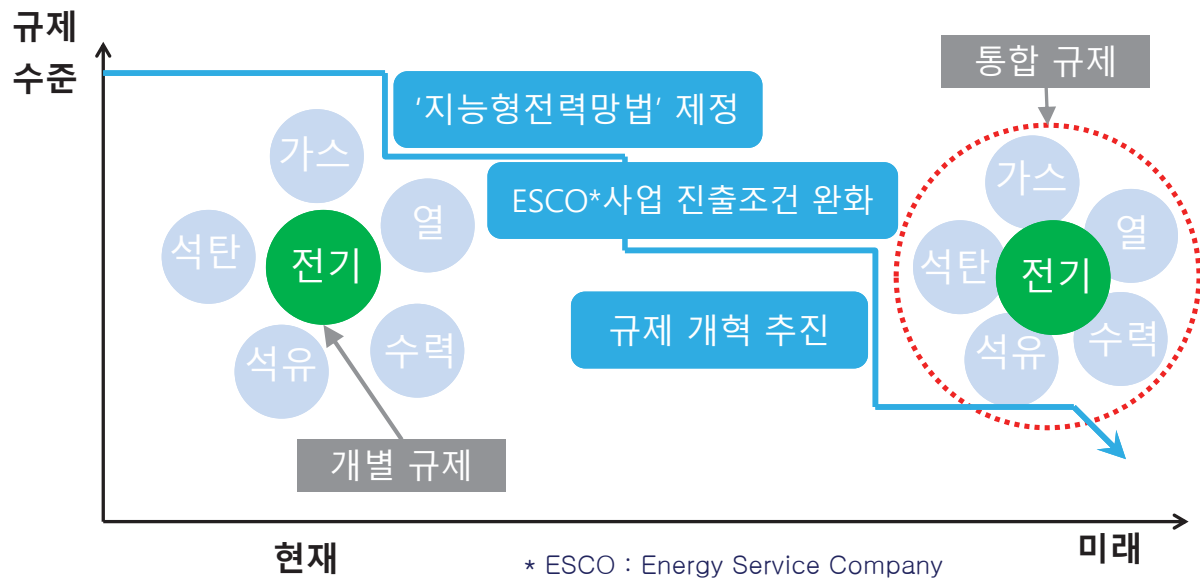
# 우리 에너지 공기업의 힘

## Forbes The World's Biggest Public Companies

	#97	Korea Electric Power	South Korea
	#104	Enel	Italy
	#139	Iberdrola	Spain
	#148	Duke Energy	United States
	#160	National Grid	United Kingdom
	#191	Exelon	United States
	#212	NextEra Energy	United States



# 에너지 간 다양한 융·복합화 가속



편리하고 깨끗한 전기를 중심으로 에너지원간 다양한 결합 발생

# 융합이 해법이다





# 통일로 세계로

---

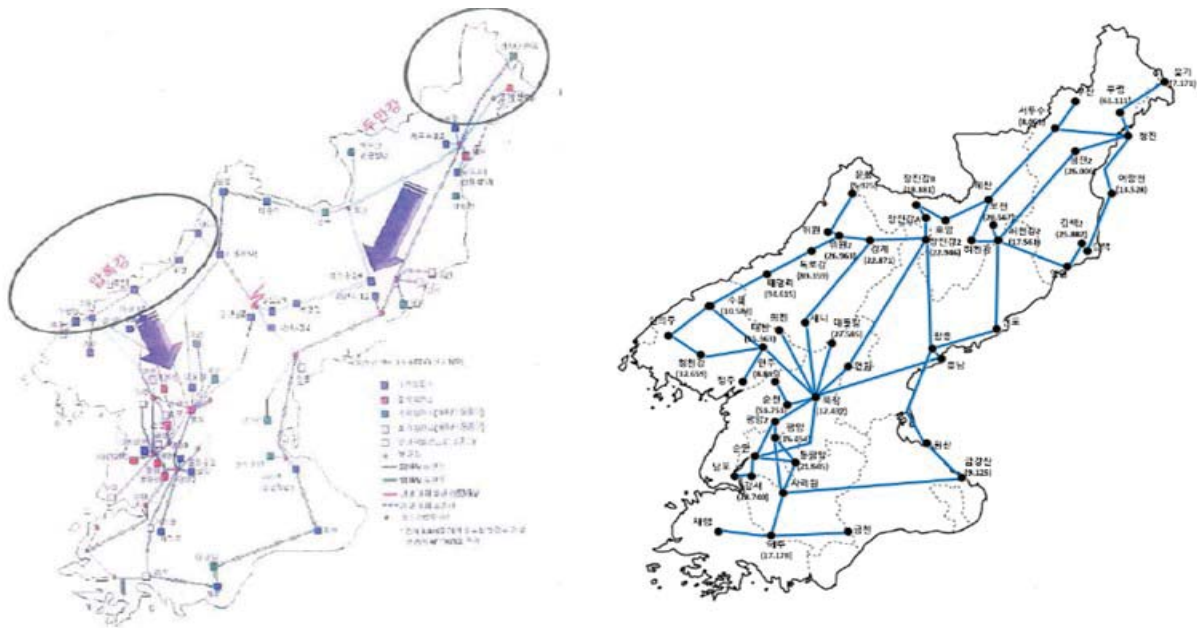
## 전기가 통해야 통일이 된다

---



# 북한 전력계통 운영 현황

## 전력계통도(추정)



Confidential - Do Not Distribute

COPYRIGHTS © 2016 Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. ALL RIGHTS RESERVED.

- 53 -/80

KESRI 기초전력연구원  
Korea Electrical Engineering & Science Research Institute

# 북한 전력계통 운영 현황

## 전력계통도(추정)



Confidential - Do Not Distribute

COPYRIGHTS © 2016 Korea Electrical Engineering & Science Research Institute. ALL RIGHTS RESERVED.

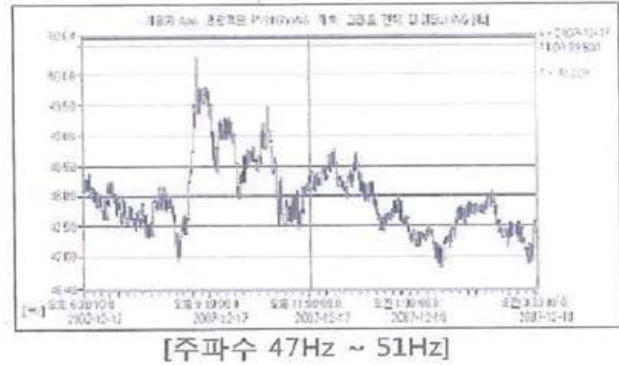
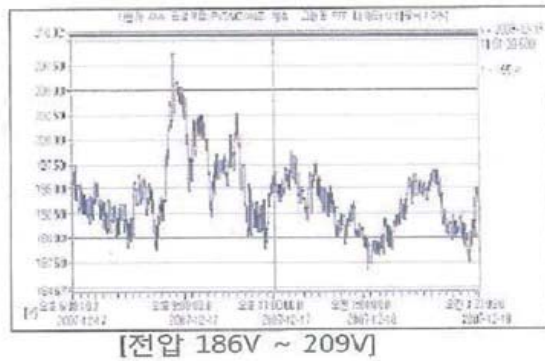
- 54 -/80

KESRI 기초전력연구원  
Korea Electrical Engineering & Science Research Institute



## 전력품질

- 정격주파수: 60Hz  $\pm$  5%
- 정격전압: 220V,  $\pm$  6%, -13%



- 역률 실적 매우 저조, 설비고장 및 전력부족에 의한 정전이 하루에도 다수 발생
- 저품질 주파수 및 저역률은 전기제품에 손상, 송배전설비 수명 단축

## 북한의 전력망



Source: '새로운 지하자원의 보고, 북한' 최경수 저



## KEDO는 왜 실패했을까?

- 북한 함경남도 금호지구(신포시 일대)에 경수로 건설
- 투입비용 총 15억 6200달러
- 2006년 1월 8일 공정률 34.5%에서 공식 중단
- 북한, 사용할 수 없는 전기에 왜 안달하겠는가



## 북한에 전기를 공급하는 3가지 방법

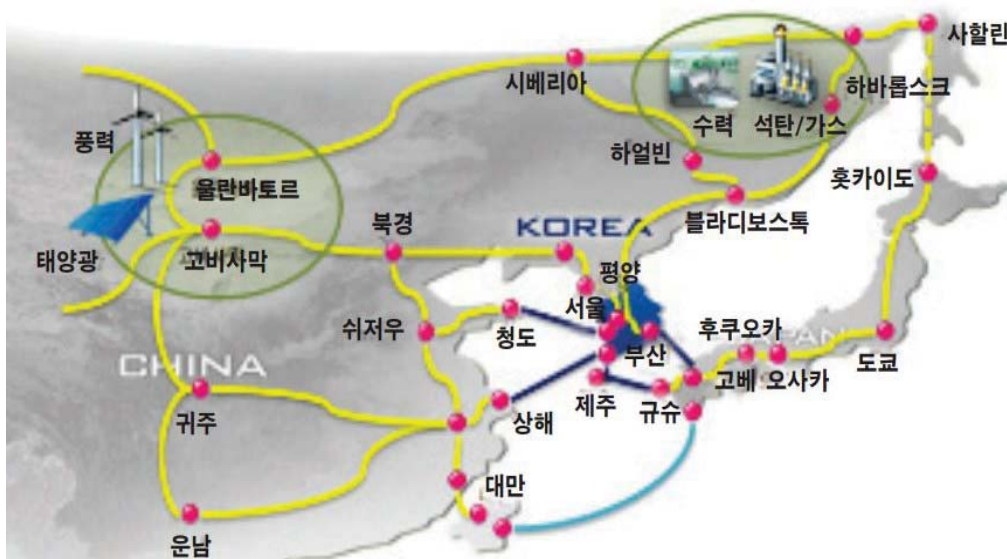
- 1. HVDC – 남한의 전기를 흐름을 조정하면서 공급한다
- 2. Micro Grid – 북한 지역별로 전기를 공급한다
- 3. 동북아 연계 Super Grid – 러시아, 중국의 전기를 공급한다



Source : NASA 홈페이지

## 통일과 Super Grid, 그 열쇠는 우리에게

### 한국전력 슈퍼그리드 계획



Source : 한국산업기술진흥협회



## 감사 합니다

---