

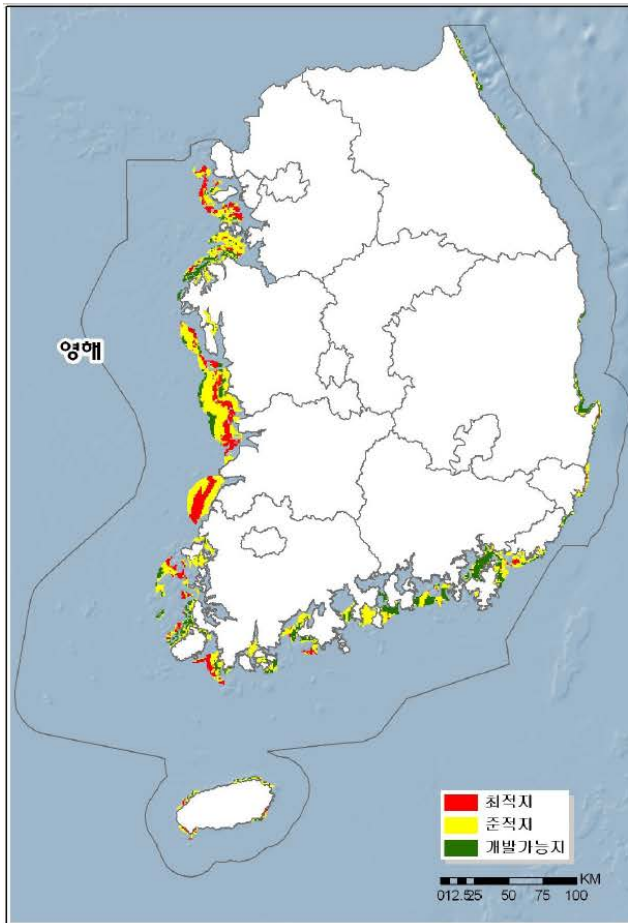


# 부유식 해상 풍력의 경제성

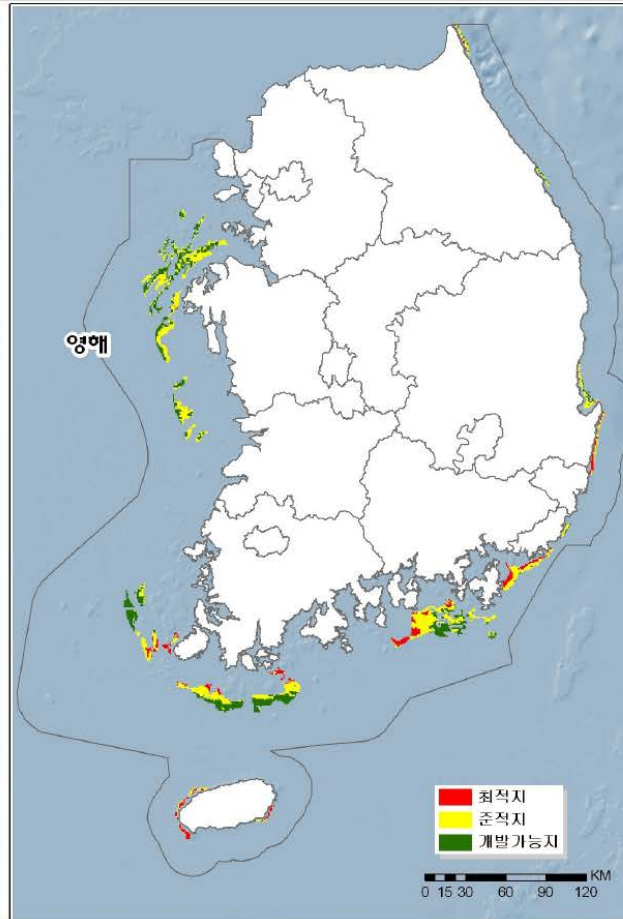




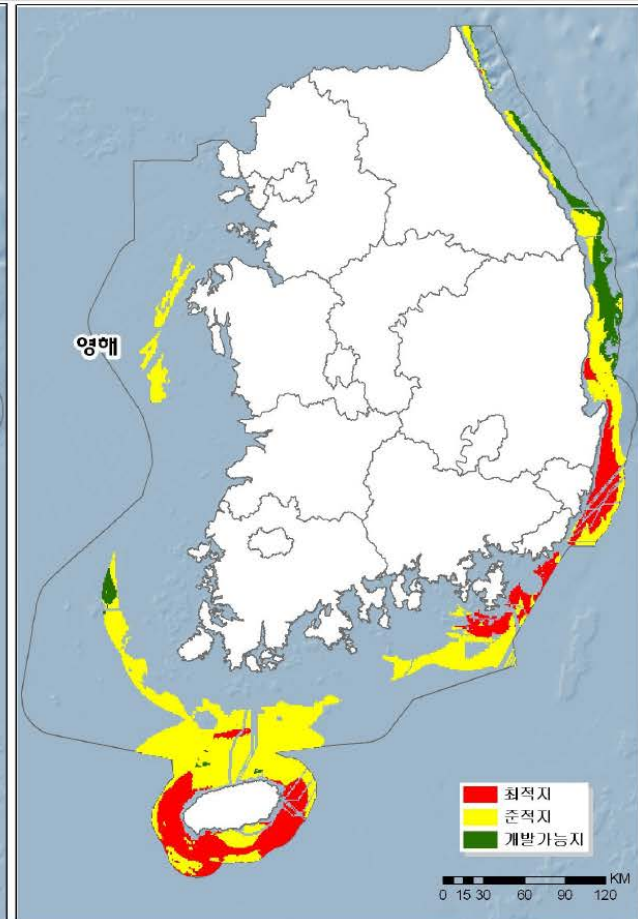
# Priority regions for Offshore wind farm development.



Scenario I



Scenario II



Scenario III



- VESTAS는 2015년 7,486[MW] 공급
- 한국 1998년 제주 행원에 Vestas 600[kW]를 설치한 이후, 2015년까지 총 840[MW], 436[기] 설치. 평균 1.9[MW/기]
  - Vestas인 경우, 3,940[기/1.9MW] 공급임.
  - 17년 동안 설치된 한국의 풍력 시장은 280기 정도로서 Vestas의 1년 생산량의 1/10에 불과함
- 향후 한국의 육상풍력인 경우, 미래 설치 가능 용량은 ?
  - 국내 모든 규제를 해제하고 백두대간, 한라산의 백록담에도 모두 풍력터빈을 설치해도 10,000[MW]? ⇨ Vestas의 2년 생산 공급량
  - 풍력산업은 기술 아니라 대량생산의 시장 확보가 관건임.
    - 즉, 내수시장에서 실적, 경험 및 자본 축적 후 해외 수출 시장 진출 전략에 근본적인 문제가 있음.
    - 따라서 국내 전략은 적정 Margin을 확보하는 공공 기관에 공급하는 전략으로 근본적인 대책이 요구됨 ⇨ **부유식 해상 풍력**

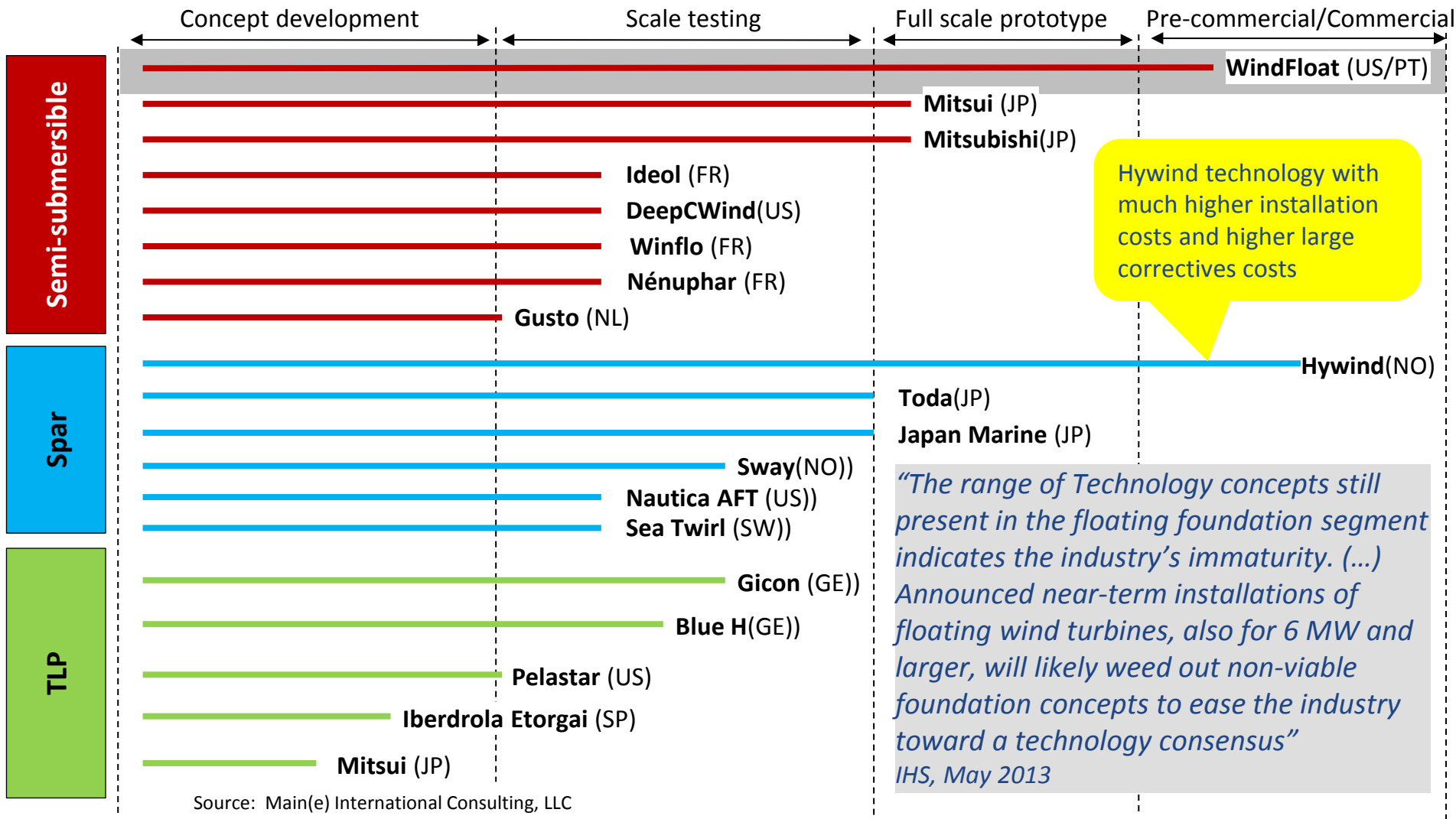


# Development Stage of Alternative Floating Technologies



**The WindFloat is ahead in commercial deployment vs. most competitors**

## State of development of selected floating turbine concepts







# Offshore wind is in a steep development phase



## WindFarm project size

- 육상풍력 50[MW]
- 고정식 해상풍력 300[MW]
- 부유식 해상풍력 500[MW]

	1990s	2000s	Present	2020+
Countries with offshore wind	3	7	12 ~ 15	20 +
Avg. wind farm/project size	6MW	90MW	~350MW	>500MW
Avg. yearly installed capacity	3MW	230MW	~3,000MW	6,000MW
Significant manufactures	2	3	6 ~ 7	>8
Avg. turbine size	< 0.5MW	3MW	5~6MW	>7MW
Avg. rotor diameter	37m	98m	120 ~ 130m	180 ~ 240m
Avg. water depth	5m	15m	~30m	Up to 200m
Customers	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scandinavian utilities</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>European utilities</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utility and non-utility investor</li> <li>European developers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utility and non-utility investor</li> <li>Large consortia</li> <li>International developers</li> </ul>

Note :

1) Source : E W EMEA of BD = Siemens AG Energy sector Wind power division Europe, Middle East and Africa

WindFloat market Strategy

Author : DHCHANG



# CAPEX Analysis for 2, 6, 12[MW] Float



	배수량	부유체중량	단위가격	예상가격	비고
2[MW]급	2,750[ton]	1,200[ton]	4,000[천원]	48[억원]	-
6[MW]급	6,000[ton]	2,000[ton]	4,000[천원]	80[억원]	-
12[MW]급	10,000[ton]	2,700[ton]	4,000[천원]	100[억원]	예상

24.0[억원/MW]  
13.3[억원/MW]  
8.3[억원/MW]

Description			WindFloat (단위:1,000kg)		
			2MW	6MW	12MW
Displacement			2,750.0	6,000.0	10,000.0
Total weight			2,726.0	5,920.0	9,867.0
Platform mass	Total		2,500.0	5,200.0	8,667.0
		Steel	1,200.0	2,000.0	3,334.0
		Ballast water	1,300.0	3,000.0	5,000.0
		Aux.	-	200.0	333.0
WTG Total Weight			226.0	720.0	1,200.0
Top side	Total		89.0	360.0	500.0
		Blades	1.95	-	168.0
		Hub	18.0	-	145.0
		Nacelle	69.0	360.0	160.0
		ETC	-	-	27.0
Tower Weight			137.0 <sup>17)</sup>	360.0 <sup>18)</sup>	700.0 <sup>19)</sup>
Scale Ratio(6 to 12MW)			WTG 중량 기준 1.1856 <sup>20)</sup> 을 적용함.		

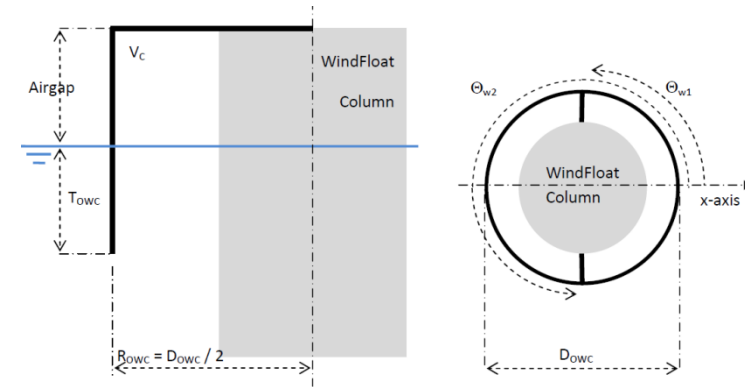
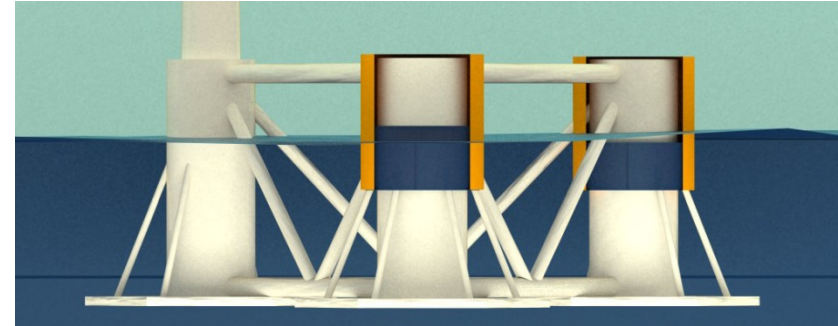


# Floating offshore wind turbine

## Additional = Inducing Wave energy



- ☐ Oscillating water column
- ☐ Spherical wave energy device
- ☐ Oscillating vertical plates





# Floating offshore wind turbine 부가적 효과



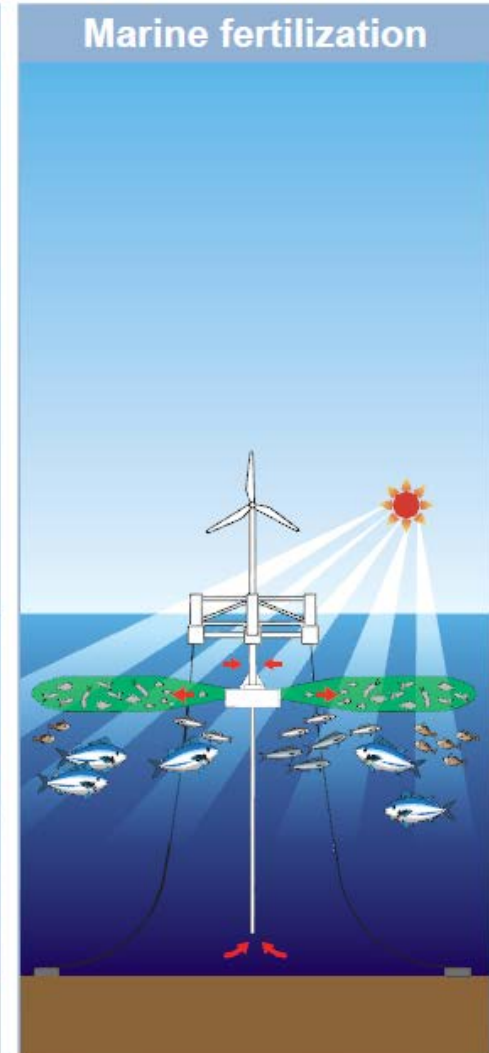
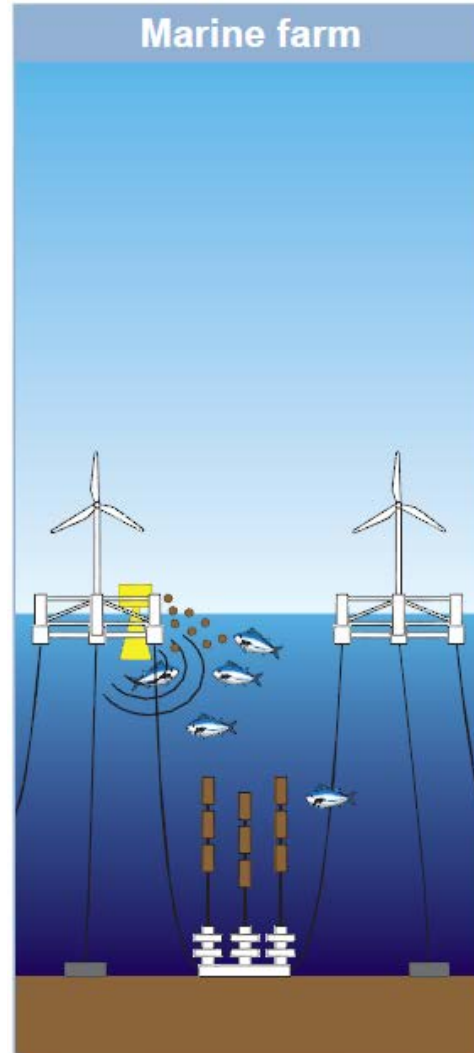
## ❑ 생태계 기반 조성

- Wave power로 심층수를 Pumping하여 심해의 풍부한 질소, 인산, 칼륨등의 영양염과 미네랄 공급으로 해양생태계 활성화 수산자원 증강
- 인공어초의 탁월한 저층과 상층의 혼합효과
- WindFloat의 하부에 LED Lamp 설치로 야행성 치어 생태계 환경 조성.

## ❑ Marine fishing farm

## ❑ Grid parity solution

## ❑ Wave wind power







# 해양 안보 확보와 해양 경관



Floating offshore wind energy can supply electrical power leodo Ocean site. If electrical power remains..., we can use fertilizing energy for marine echo.



leodo Ocean site

Floating wind turbine

- 이어도의 전력 공급
- 여분의 전력은 수자원 증강에 활용
- 해안 경관 km  
3.2; 4.8; 6.4; 8; 16; 24; 32





해양 주권 확립.

독도는 우리 땅!!





# 2030년 온실가스 감축목표 37% 감축방안 ⇒ 부유식 해상 풍력 ⇐ 11.3%를 국내 시장에서 조달



## □ 국내 감축 방안

- 정부 INDC (자발적 기여 방안)에 따라 `30년 감축목표 37%.
- 2014년 COP20 페루 리마 총회에서 INDC “감축목표 후퇴방지”
- 37% 중 **18.3% 부유식 해상 풍력**으로 전환 할 경우,
  - **11.3%**는 국제시장(IMM, International Market Mechanism)을 통해 배출권 구입  
⇒ **11.3% 부유식 해상풍력**으로 전환
  - **25.7%**는 국내 감축을 통해 달성 ⇒ **7% 부유식 해상풍력** 담당

㉠ '2030 총 온실가스 발생량	850,600,000[톤]	-
㉡ '2030 감축 목표	314,722,000[톤]	㉠ X 0.37
㉢ 18.3% 감축량	155,659,800[톤]	㉠ X (0.113+0.07)
㉣ 18.3%의 풍력 요구 발전량	259,433,000[MWh]	㉢ / 0.6[톤/kWh] ⇐ 풍력 1MWh당 온실가스 감축량
㉤ 풍력 발전 설치 요구량	84,249[MW]	㉣ / (8,760Hr X 0.35) ⇐ 연간 시간과 이용율
㉦ 5.5[MW] WTG + Float 가격	190[억원]	WTG 110[억원], Float 80[억원], 단, 20기 이상. 설치비 제외
㉧ 풍력시장 규모 (수량)	15,369[Set]	㉤ / 5.5[MW]
㉨ 풍력시장 규모 (금액)	2,920,102[억원]	㉧ X ㉦

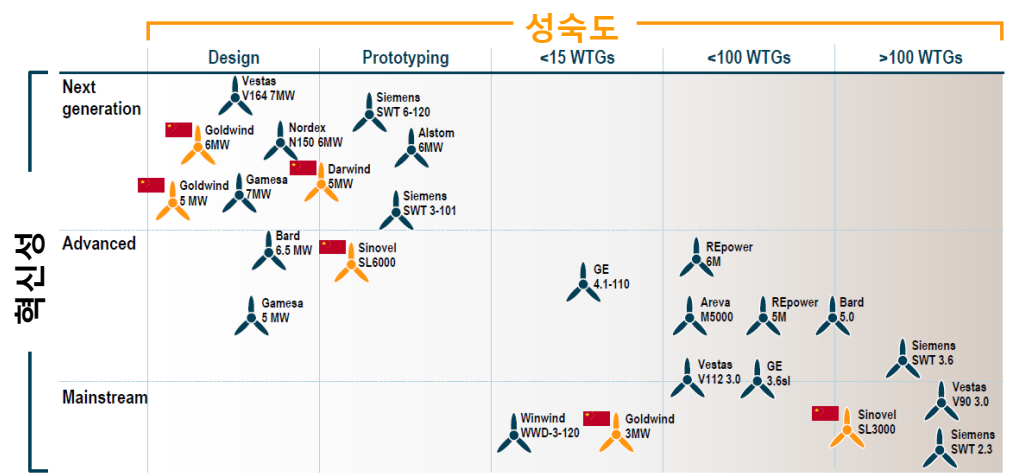
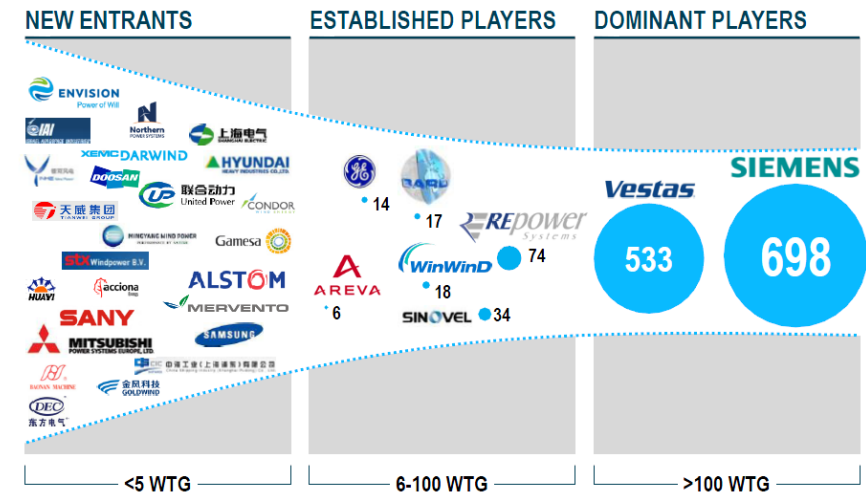
COP21의 온실가스 배출 목표치를 달성하기 위한  
**부유식해상풍력의 내수시장은 300조원 임**



# 사전준비성 및 계획의 구체성과 타당성 한국은 부유식 해상풍력에서 경쟁해야 합니다.



- 개발 대상 5.5[MW]는 국내 최고의 기술 수준임.
    - 110[억원/기], 20[억원/MW]
  - 해외 기술
    - MHI VESTAS OFFSHORE WIND
      - 용량 : 8.0[MW], BLADE 직경 : 164[m]
      - 약 193[억원/기], 24.1[억원/MW]
    - SIEMENS
      - 용량 : 6.0[MW], BLADE 직경 : 154[m]
      - 약 158[억원/기], 26.4[억원/MW]
    - SENVION
      - 용량 : 6.15[MW], BLADE 직경 : 152[m]
- VESTAS 3[MW]의 풍력터빈 국제시장가격은 약33억원, 11[억원/MW]
- 세계적으로 6[MW]급의 풍력터빈은 상용전 단계로 경쟁하지 않는 시장임.
- 해상풍력은 극히 제한된 경쟁 구조임.
  - 해상풍력은 3~4[MW]급이 설치 운영됨.
  - 해상풍력은 경쟁력 있는 LCOE를 확보하기 위하여 6[MW]급의 시장이 형성되고 있는 시점임.
  - 부유식 표준을 따르는 WTG는 현재 없음.



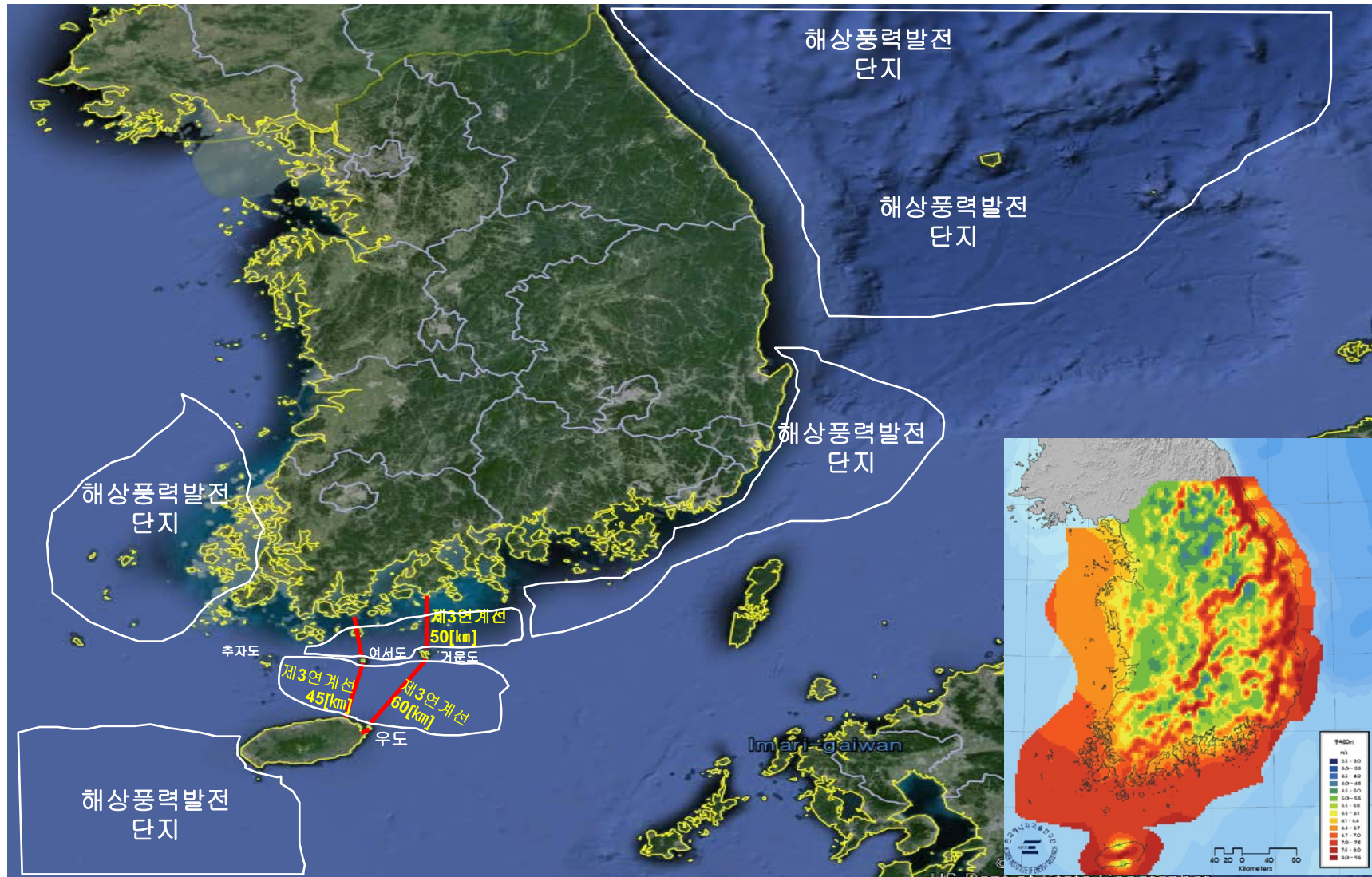




# 해상풍력발전 시장

본토와 울릉도간 연계 거리 150[km] ?

⇒ 독일 BorWin 125[km], SyWin 160[km]





# 지속 성장이 가능한 부유식 해상 풍력의 내수 시장 바다를 보면 시장이 보입니다.

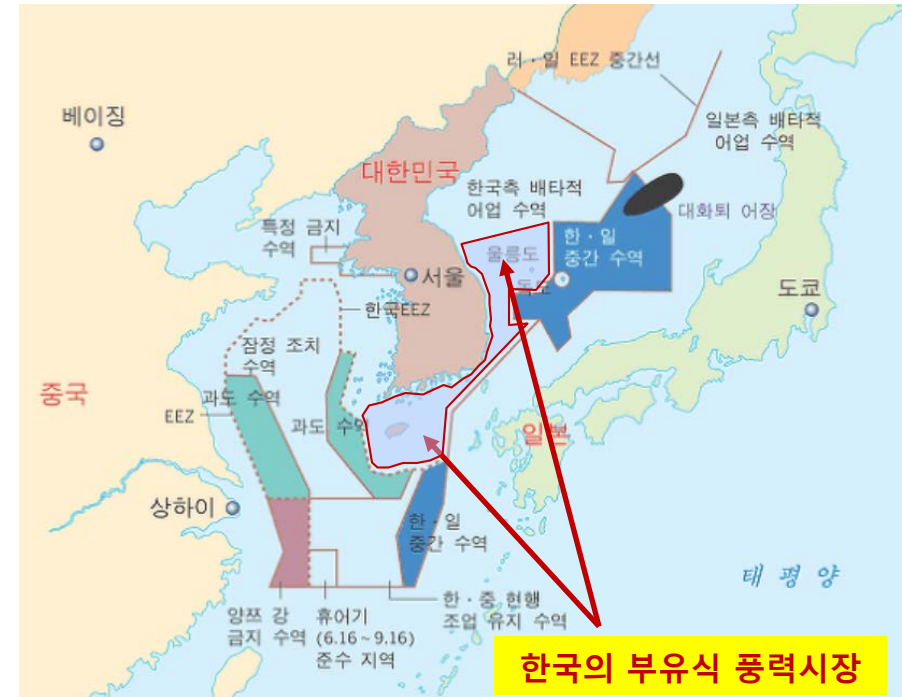


## □ COP 21 신기후 체제 37% : 84[GW] until 2030

- 11.3% 해상풍력으로 전환
- 기존 25.7%에서 7%를 해상풍력 부분으로 할당

## □ RPS 시장 : 20[GW] until 2024

- 2024년 제7차 전력수급기본계획  
625,000,000[MWh]  $\Rightarrow$  10[%] Renewables energy  $\Rightarrow$  62,500,000[MWh]
- $62,500,000[MWh] / 8,760Hr / 0.35[이용율] \Rightarrow 20,385[MW]$



## □ 제2차 국가에너지 기본계획 및 제4차 신·재생에너지 기본계획 : 9[GW] until 2035

- 2035년까지 육상풍력 3,000[MW], 해상풍력 10,000[MW]



# WindFloat Pacific Demonstration Project Budget



Descriptions	FY13 BP1	FY14 BP2	FY15 BP3	FY16 BP4	FY17 BP5	Total
	Values calculated from RLS		Values calculated from LCOE model			
DOE Funding available	4,000,000.00	6,700,000.00	13,300,000.00	13,300,000.00	13,300,000.00	50,600,000.00
PPI and Partners	4,935,294.00	7,849,773.65	1,650,000.00	3,611,210.00	4,066,210.00	22,112,487.65
Permitting	590,039.00	788,712.00	-	-	-	1,378,751.00
Engineering	3,009,000.00	4,410,827.00	-	-	-	7,419,827.00
Site assessment	823,000.00	860,234.65	-	-	-	1,683,234.65
Research and Development	-	695,000.00	-	-	440,000.00	1,135,000.00
Certification	30,000.00	430,000.00	400,000.00	400,000.00	400,000.00	1,660,000.00
Project management	483,255.00	665,000.00	1,100,000.00	1,100,000.00	1,100,000.00	4,448,255.00
Contingency			150,000.00	150,000.00	194,000.00	494,000.00
Insurance during construction			-	1,932,210.00	1,932,210.00	3,864,420.00
Surely bond			-	29,000.00	-	29,000.00
Siemens wind power	-	-	28,800,000.00	43,200,000.00	-	72,000,000.00
Turbin supply aggreement	-	-	28,800,000.00	43,200,000.00	-	72,000,000.00
Fabricator	-	-	15,552,000.00	23,328,000.00	-	38,880,000.00
WindFloat Hull supply			11,736,000.00	17,604,000.00	-	29,340,000.00
Secondary Steel + Marine systems			993,600.00	1,490,400.00	-	2,484,000.00
Anchoring system			2,822,400.00	4,233,600.00	-	7,056,000.00
Marine contractor	-	-	39,674,800.00	26,999,280.00	6,611,220.00	73,285,300.00
Ports and staging	-	-	-	2,160,000.00	3,240,000.00	5,400,000.00
Turbine and substrucutre and install	-	-	-	1,584,000.00	2,376,000.00	3,960,000.00
Electric procure	-	-	36,068,000.00	-	-	36,068,000.00
Electric install	-	-	-	20,538,000.00	-	20,538,000.00
Control safety and condition monitoring	-	-	-	262,800.00	394,200.00	657,000.00
Contingency	-	-	3,606,800.00	2,454,480.00	601,020.00	6,662,300.00
Total project cost	4,935,294.00	7,849,773.65	85,676,800.00	97,138,490.00	10,677,430.00	206,277,787.65
DOE Funding Requested	4,000,001.00	6,279,819.00	13,300,000.00	13,300,000.00	13,300,000.00	50,179,820.00
Total project cost after DOE funds	935,293.00	1,569,954.65	72,376,800.00	83,838,490.00	- 2,622,570.00	156,097,967.65





# FOWT CAPEX

## Bigger is Better! But Technical Challenge Market



❑ Oregon WFP Project CAPEX 97[억원/MW] @ 30[MW]

❑ Korea FOWT CAPEX 45[억원/MW] @ 500[MW]

Exchange rate

1,100 ₩/\$

Sub-module (Unit : 1M KRW)		6[MW] FOWT BASE based on Oregon project						5.5[MW] FOWT BASE					
		1[MW]		6[MW]		30[MW]		1[MW]		5.5[MW]		500.5[MW]	
		Price	%	Price	%	Price	%	Price	%	Price	%	Price	%
WTG		2,640	27.2%	15,840	27.2%	79,200	27.2%	2,000	45.2%	11,000	45.3%	1,001,000	45.4%
Float Total		1,426	14.7%	8,554	14.7%	42,768	14.7%	1,527	34.5%	8,399	34.6%	764,291	34.7%
WindFloat		1,076	11.1%	6,455	11.1%	32,274	11.1%	1,145	25.9%	6,300	25.9%	573,300	26.0%
Secondary steel + Marine system		91	0.9%	546	0.9%	2,732	0.9%	99	2.2%	546	2.3%	49,730	2.3%
Anchoring system		259	2.7%	1,552	2.7%	7,762	2.7%	282	6.4%	1,552	6.4%	141,261	6.4%
BOP		5,654	50.3%	33,927	50.3%	169,635	50.3%	894	18.1%	4,885	18.1%	438,156	17.9%
Develop Wind Farm	Subtotal	769	7.9%	4,615	7.9%	23,075	7.9%	93	2.1%	484	2.0%	44,033	2.0%
	Permitting	51	0.5%	303	0.5%	1,517	0.5%	15	0.3%	65.93	0.3%	6,000	0.3%
	Engineering	272	2.8%	1,632	2.8%	8,162	2.8%	12	0.3%	54.95	0.2%	5,000	0.2%
	Research & Development	62	0.6%	370	0.6%	1,852	0.6%	5	0.1%	28	0.1%	2,503	0.1%
	Certification	61	0.6%	365	0.6%	1,826	0.6%	10	0.2%	55	0.2%	5,005	0.2%
	Project Management	163	1.7%	979	1.7%	4,893	1.7%	10	0.2%	55	0.2%	5,005	0.2%
	Contingency	18	0.2%	109	0.2%	543	0.2%	10	0.2%	55	0.2%	5,005	0.2%
	Insurance during construction	142	1.5%	850	1.5%	4,251	1.5%	30	0.7%	165	0.7%	15,015	0.7%
	Surely bond	1	0.0%	6	0.0%	32	0.0%	1	0.0%	6	0.0%	501	0.0%
Electric	Subtotal	2,076	21.4%	12,453	21.4%	62,267	21.4%	554	12.5%	3,048	12.6%	271,000	12.3%
	Inner array cable	1,322	13.6%	7,935	13.6%	39,675	13.6%	364	8.2%	2,000	8.2%	182,000	8.3%
	Export cable	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	73	1.6%	400	1.6%	30,000	1.4%
	Substation & etc.	753	7.7%	4,518	7.7%	22,592	7.7%	118	2.7%	648	2.7%	59,000	2.7%
Transportation		198	2.0%	1,188	2.0%	5,940	2.0%	19	0.4%	105	0.4%	9,510	0.4%
Installation @sea		145	1.5%	869	1.5%	4,345	1.5%	13	0.3%	72	0.3%	6,507	0.3%
Control safety and CMS		24	0.2%	145	0.2%	723	0.2%	24	0.5%	132	0.5%	12,012	0.5%
Contingency		2,443	25.1%	14,657	25.1%	73,285	25.1%	190	4.3%	1,045	4.3%	95,095	4.3%
Grand total with Electric (Grid)		9,720	100.0%	58,321	100.0%	291,603	100.0%	4,421	100.0%	24,284	112.6%	2,203,447	100.0%
Grand total without Electric (Grid)		7,645	78.6%	45,867	78.6%	229,336	78.6%	3,867	87.5%	21,236	87.4%	1,932,447	87.7%





# Future Offshore wind costs analysis

## Validation

4-A-14 : 4[MW] – A site – 2014 FID (Final Investment Decision)

Future renewable energy costs: Offshore wind, KIC InnoEnergy, 2014

Element	Units	4-A-14	4-A-20	4-A-25	8-A-14	8-A-20	8-A-25
Development	€k/MW	101	101	101	90	91	91
Turbine	€k/MW	1,279	1,254	1,240	1,498	1,450	1,427
Support structure	€k/MW	677	617	583	689	628	591
Array electrical	€k/MW	98	90	74	89	82	68
Construction	€k/MW	543	488	448	320	284	262
Operations and planned maintenance	€k/MW/yr	31	30	30	23	23	23
Unplanned service and other OPEX	€k/MW/yr	65	58	55	48	40	37
Net capacity factor	%	41.4	42.3	42.9	42.8	44.2	45.2

Element	Units	4-D-14	4-D-20	4-D-25	8-D-14	8-D-20	8-D-25
Development	€k/MW	108	108	108	95	96	96
Turbine	€k/MW	1,279	1,254	1,240	1,498	1,450	1,427
Support structure	€k/MW	861	785	741	722	662	614
Array electrical	€k/MW	99	90	74	91	83	68
Construction	€k/MW	645	569	515	496	415	371
Operations and planned maintenance	€k/MW/yr	37	36	35	28	27	26
Unplanned service and other OPEX	€k/MW/yr	78	68	62	57	47	42
Net capacity factor	%	47.4	48.4	49.1	48.7	50.2	51.4

	Water depth	Base port distance	Wind Speed	UK wind site
Type A	25[m]	40[km]	9[m/s]	Walney 1&2, Westernmost Rough
Type B	35[m]	125[km]	10[m/s]	Creyke Beck (Doggrer Bank), Horon (Hornsea)



## 5.5[MW] 부유식 풍력발전 CAPEX



풍력터빈  
700[톤]

190[억원/T]  
@3,000[톤]

풍력터빈 110[억원/기]

부유체  
80[억원/기]

부유체  
2,300[톤]

### □ 분야 산업별 Structure 제조 가격

- Offshore structure : 약 1[천만원/MT]
- Ship structure : 약 45[십만원/MT]
- Fixed WTG foundation : 약 28[십만원/MT]
- Road Bridge structure : 약 24[십만원/MT]
- Wind Tower structure : 약 20[십만원/MT]
- Floater의 제조 가격의 목표 : < 3[백만원/MT]

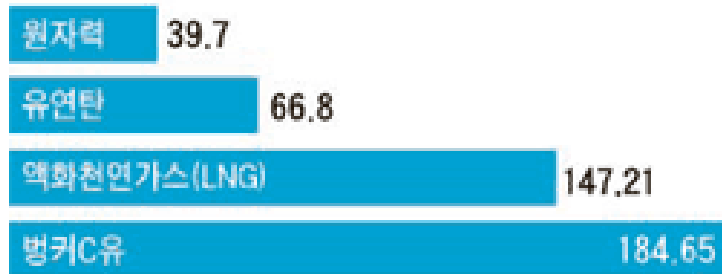


# 바닥 치는 유가는 한국 FOWT 산업에 어떤 영향을 미치는가?



## □ SMP ?

한전이 구입하는 전기 단가 단위:원/kWh



자료:한국전력공사

## □ 한국 23기를 모두 해체 비용 추정치

- 유럽감사원 (ECA) 기준 : 약 23.6조원
- 한국 기준 : 약 9.2조원

## □ 한국 원전 사업자의 사고 시 배상 책임?

- 약 5,000억원 유한책임으로 규정
- 500억원의 손해배상조치 (민간책임보험 및 정부보상계약) 만을 의무화
- 추가적 비용 적립 부재

## □ 원전 전력의 구입 발전단가는 40[원/kWh]?

### ■ 제외된 보이지 않은 무형의 발생 비용

- 체르노빌 (약265조원), 스리마일 섬(약2조원), 후쿠시마(최소81조원)의 사고발생 비용 (괄호는 사고복구 비용)
- 사용 후 해체 복구 비용
- 사용 후 고준위 핵 폐기물 처리 비용

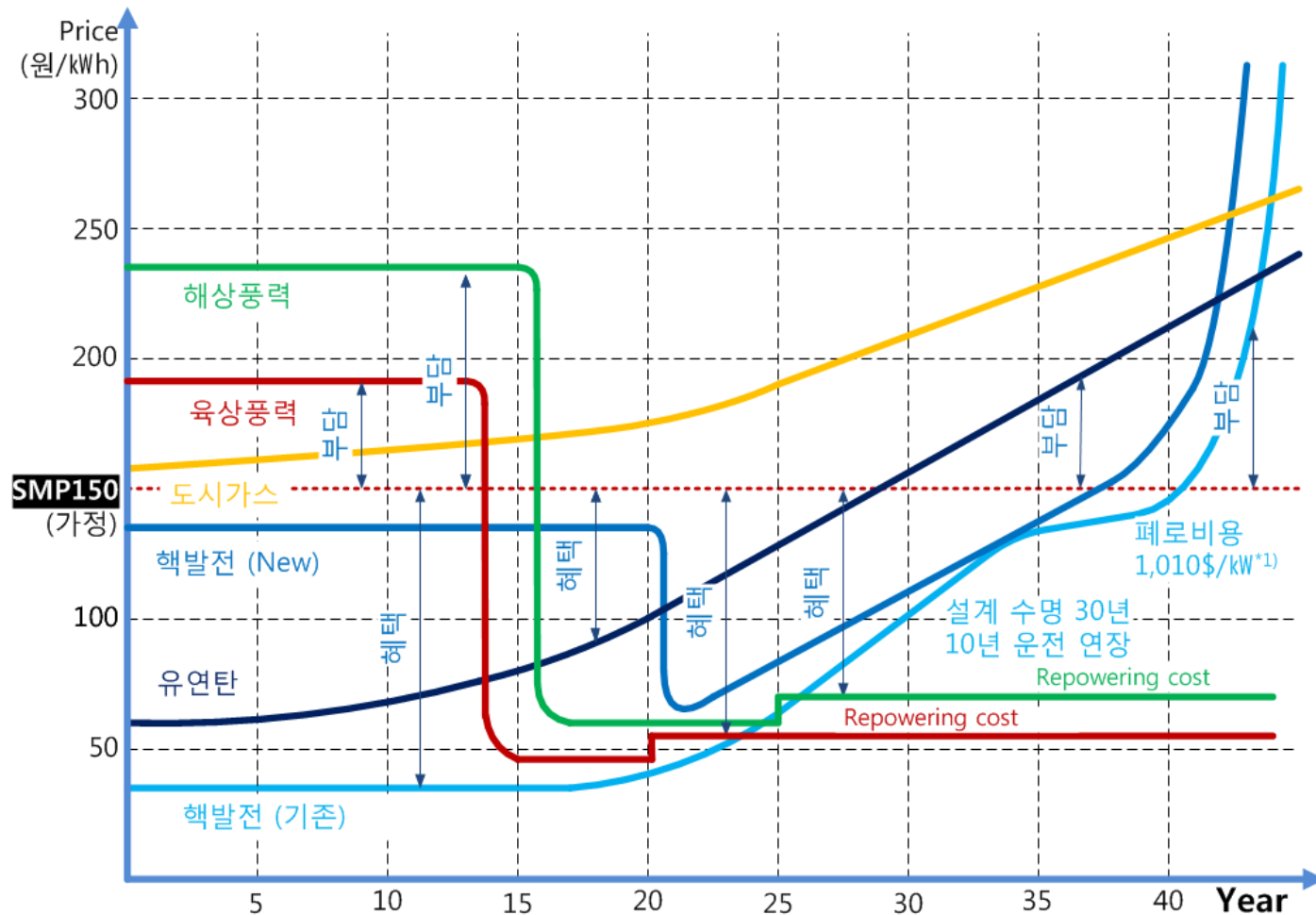
### ■ 모든 비용이 포함된 원전 전력 구입 단가 재 산정 작업

- 일본발전단가검증위원회 : 123.8[원/kWh]
- 미국의 MIT의 분석 자료 : 114.8[원/kWh]



# Energy LCOE based on time

핵발전 후손에게 빛!!, 부유식 해상풍력 후손에게 선물!!



Notes:

\*1) 1999년 IEA 자료 : 고리1호기 원자력 (587MW) 기준 폐로 비용 = \$592,870,000USD  
환율(1,195.8원) 및 물가상승률(39.1%)로 2011년 추산 폐로 비용 = 9,860억원





# Problems from Wind power. Provide FOWT with Solution.



## 자연 환경적 조건

풍부한 풍황지역의 깊은 수심



## 어족자원의 보호

여력의 전력으로 국내 어업 활성화



## 산업 환경적 조건

잘 구축된 조선·해양 산업



## 중·소 조선소 위기

강력한 구조조정과 산업전환 시기



## 신규 발전원 개발

화석연료와 원전의 대체 발전원 수요 발생



## 제철산업의 신규수요

제철산업 시장 포화로 신규 시장 창출 확보



## 좋은 신규 고용 창출

21.4명/MW, 10,700/500MW, 214,000/10GW

부유식해상풍력발전산업





## Conclusion ! Daihyun Chang's Word

