

무동력 수평 제어 알고리즘 기술 개발완료  
完成无动力水平控制算法技术的开发

Marine Energy Technology

CHANGI  
TECH CO., LTD.



동조질량댐퍼(Tuned Mass Damper, TMD)기술이 적용된 창이(주)의 타워-부유체  
조인트 분리 하이브리드형(Tower-Floater joint separation hybrid type)  
부유식 해상풍력발전 플랫폼

CHANGI 公司的调谐质量阻尼器 (TMD) 技术 塔-浮体漂联合分离混合式  
(Tower-Floater joint separation hybrid type) 浮动式海上风力发电平台

“Non-powered horizontal control”

“Dose not Crack”

기술주관사  
技術主管社

CHANGI  
CO., LTD.



[www.ocean-tech.co.kr](http://www.ocean-tech.co.kr)

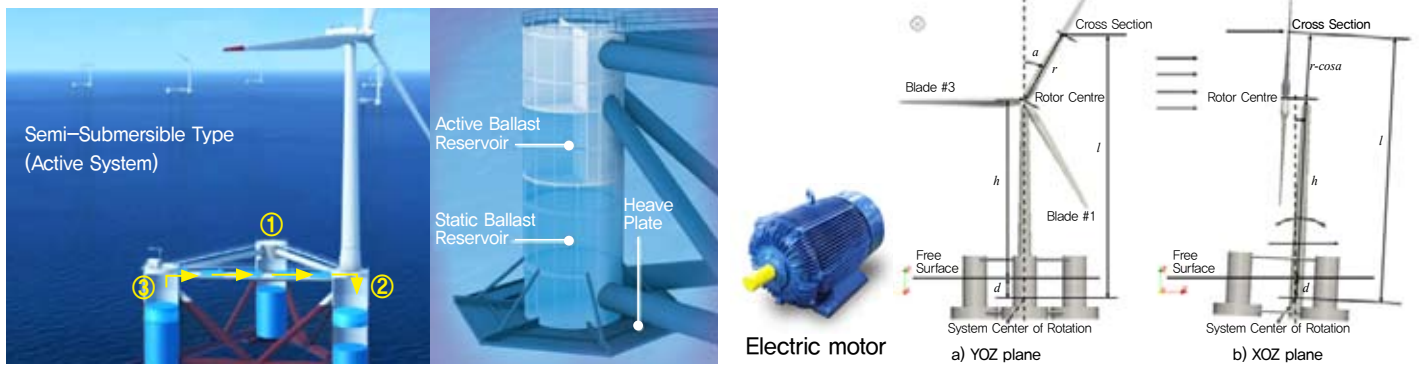
부유식 해상풍력 발전플랜트는 제2의 조선·해양플랜트 산업입니다.  
浮游式海上风力发电平台是第二个造船海洋平台成套设备产业

**기존 경쟁기술 타워-부유체 일체형(Tower-Floater integrated type) 부유식 해상풍력발전 플랫폼**  
**现有竞争技术塔-浮游体一体型 (Tower, floater integrated type) 浮游式海上风力发电平台**



**타워-부유체 일체형(Tower-Floater integrated type) 플랫폼 피치제어 방법**  
**塔-浮游体一体型 (Tower, floater integrated type) 平台变桨控制 (pitch control) 方法**

**① Active Pitch Control Algorithm**

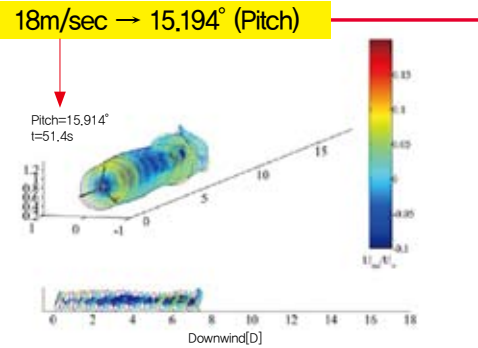
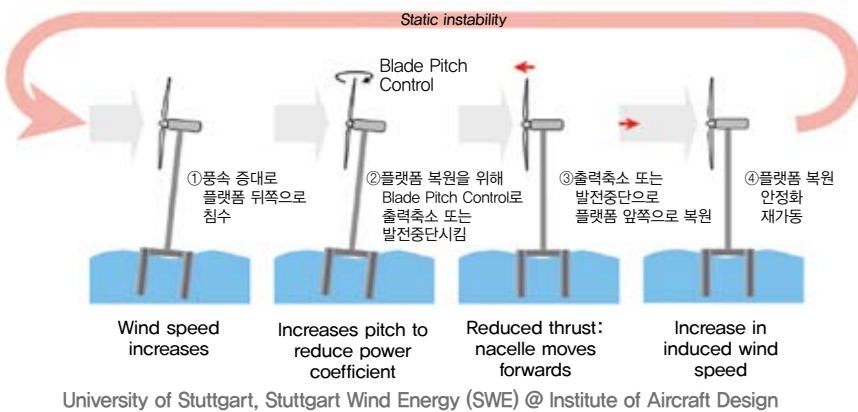


①②③발란서 탱크에 해수를 펌핑(Pumping)하기 위해 해저 케이블로 플랫폼 내부 11기 모터펌프에 동력을 투입해야 되기 때문에 경제성 확보가 어렵고, 해수의 발란서 탱크 이동시간 지연으로 수시로 변화되는 바람방향 제어에 어려움 있음 또한 기울기 14° (Wind Speed 17m/s)부터 플랫폼에 균열발생 (일체형 플랫폼 경사각도에 따른 발전효율 TSR 4~12 및 구조 안정성 결과보고서 2건 별도 첨부 참조)

为了给①②③平台水箱中注入海水, 就必须要用海底电缆给平台内部11台发动泵注入动力, 因此很难保证其经济性; 因为海水的平台水箱移动时间延迟, 很难控制随时变化的风向, 再加上平台倾斜度从14° (Wind Speed 17m/s)时便会发生破裂。

(参考一体化平台倾斜角度对应的发电效率TSR 4~12, 及结构稳定性结果报告, 2个附件)

**② Passive Pitch Control Algorithm**



<https://www.youtube.com/watch?v=eAF54V12aU>

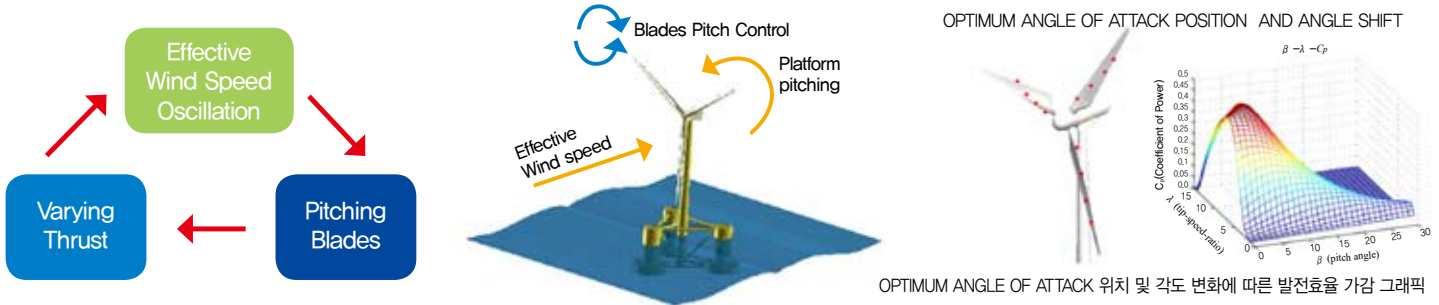
Blade Pitch Control시 출력감소 또는 발전중단 되어 이용률이 급속하게 감소됨 또한 기울기 14° (Wind Speed 17m/s)부터 플랫폼에 균열 발생 (일체형 플랫폼 경사각도에 따른 발전효율 TSR 4~12 및 구조 안정성 결과보고서 2건 별도 첨부 참조)

当桨距控制时, 输出减少或发电中断, 利用率迅速下降. 并且平台倾斜度从14° (Wind Speed 17m/s)时便会发生破裂。

(参考一体化平台倾斜角度对应的发电效率TSR 4~12, 及结构稳定性结果报告, 2个附件)

# 기존 경쟁기술 타워-부유체 일체형 주요 플랫폼 수평제어 알고리즘 기술개발 현황

当前竞争技术塔-浮游体动集成主平台水平控制算法技术发展现状



- 블레이드 피치제어에 따른 발전효율 감소로 경제성 확보가 어려움  
通过桨距控制降低发电效率，难以确保经济可行性
- 태풍 및 >17m/s 부터 플랫폼에 균열이 발생하여 상용화가 어려움  
由于台风和 >17m/s 的裂缝导致平台难以商业化

경쟁기술 타워-부유체 일체형 Spar Type에 적용된 NREL 5MW급 블레이드 피치 각(Blade Pitch Angle) 변화에 따른 발전효율 가감표 샘플-TSR 7  
竞争技术根据发电效率的变化，将塔-浮游体动流体集成式Spar类型应用于NREL 5MW级叶片桨距角样本图-TSR 7

[ CHANGI Tech Co., Ltd's Flow Analysis Result Report ]

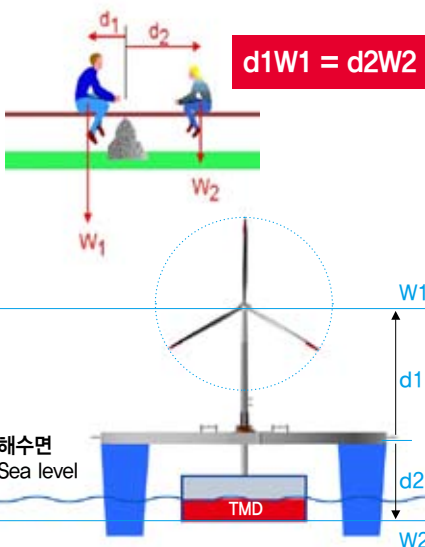
TSR (ramda)	beta(°) (ANGLE OF ATTACK)	beta(rad)	c1	c2	c3	c4	c5	c6	ramda_i	Cpmax	generating efficiency(%)
7	0	0	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	9.271523	0.451282393	100
7	1	0.017444444	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	8.081269	0.392316245	86.9336474
7	2	0.034888889	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.365076	0.345120072	76.47541251
7	3	0.052333333	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.30612	0.330378094	73.2087267
7	4	0.069777778	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.348966	0.320520038	71.0242727
7	5	0.087222222	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.415242	0.311086056	68.93378965
7	6	0.104666667	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.489035	0.301171759	66.7368734
7	7	0.122111111	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.56582	0.290521224	64.37681332
7	8	0.139555556	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.643984	0.279040841	61.8328668
7	9	0.157	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.722859	0.26668816	59.09562712
7	10	0.174444444	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.802128	0.253439901	56.15993542
7	11	0.191888889	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.881632	0.239281064	53.0224683
7	12	0.209333333	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	7.961283	0.224200725	49.68080488
7	13	0.226777778	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	8.041029	0.20819023	46.13302747
7	14	0.244222222	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	8.120841	0.191242357	42.37753553
7	15	0.261666667	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	8.200697	0.17335089	38.41295223
7	16	0.279111111	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	8.280586	0.1545104	34.23807414
7	17	0.296555556	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	8.360498	0.134716108	29.85184218
7	18	0.314	0.5176	116	0.4	5	21	0.0068	8.440427	0.113963803	25.25222257

Blade Pitch Angle 1° 변화시 발전효율 13% 감소됨  
桨距角 1° 变化时的发电效率减少13%

# 창이(주)의 타워-부유체 조인트 분리 하이브리드형 플랫폼 수평제어 알고리즘 기술개발 완료

CHANGI 公司塔-浮游体联合分离混合平台水平控制算法技术完成开发 (Tower-Floater joint separation hybrid type)

$$\text{POWER IN THE WIND} = \rho (\text{DENSITY OF AIR}) \times D^2 (\text{TURBINE BLADE DIAMETER}) \times V^3 (\text{VELOCITY OF WIND})^3 \times C (\text{A CONSTANT})$$

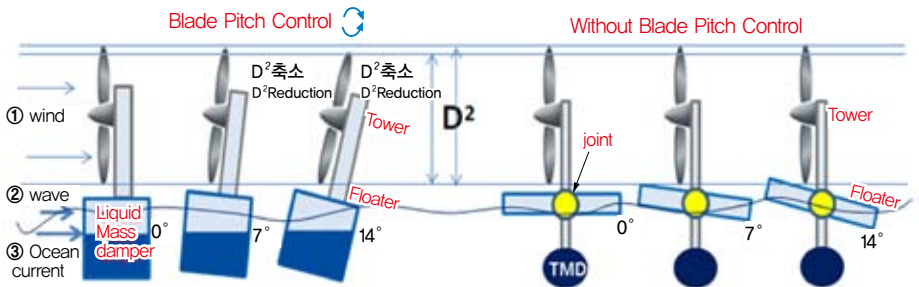


## • 해상외력 ①②③에 의한 플랫폼 경사각도 비교 변화도

海上倾斜作用下平台倾角的相对梯度①②③

기존의 경쟁기술 타워-부유체 일체형  
现有竞争技术塔-浮游体一体式

창이(주)의 타워-부유체 조인트 분리 하이브리드형  
CHANGI 公司塔-浮游体联合分离混合动力型  
(Tower-Floater joint separation hybrid type)



- 플랫폼 경사각도에 의해서 D<sup>2</sup>가 축소되어  
①발전효율이 감소되고 ②플랫폼에 균열이 발생한다.  
D<sup>2</sup>通过平台倾斜角度减小 ①发电效率降低, ②平台破裂。

• 태풍 발생시 평균풍속 35m/s  
台风发生时平均风速35m/s

# 기존 경쟁기술 타워-부유체 일체형(Tower-Floater integrated type) 부유식 해상풍력발전 플랫폼 경사각도에 따른 구조 안전성 해석 보고서 샘플

(일체형 플랫폼 경사각도에 따른 발전효율 TSR 4~12 및 구조 안정성 결과보고서 2건 별도 첨부 참조)

现有竞争技术塔式, 浮游体一体型 (Tower, floater integrated type) 浮游式海上风力发电平台, 根据倾斜角度的结构安全性解释报告书样本

(参考一体化平台倾斜角度对应的发电效率TSR 4~12, 及结构稳定性结果报告, 2个附件)

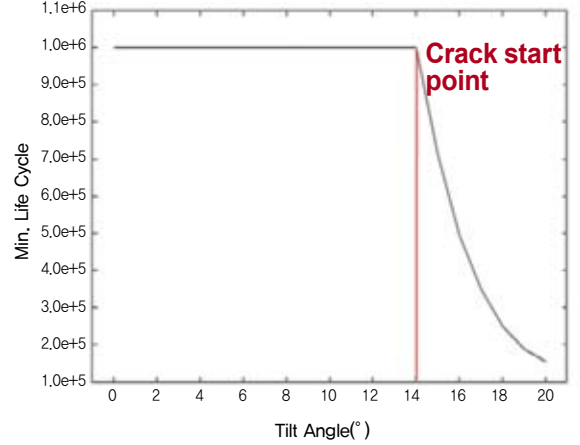
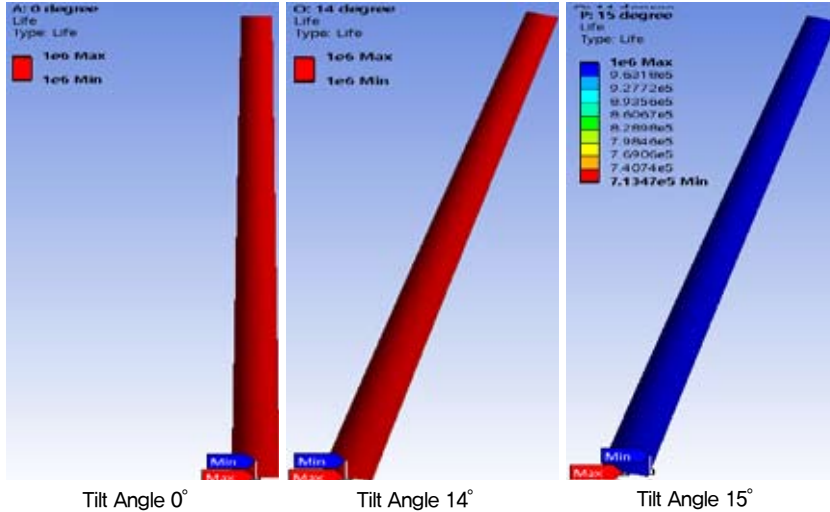


그림. Tower 경사각도에 따른 최소 사용수명  
图片. 根据塔倾斜角度的最小使用寿命

경쟁기술 타워-부유체 일체형 플랫폼  
14° 이후 급격하게 사용수명 감소됨 (타워 균열 발생/보고서24Page 참조)  
竞争技术塔-浮游体一体型平台  
14° 以后使用寿命大大缩短 (塔台发生破裂/参考报告书24页)

Wind Speed(m/s)	경사각도 (Tilt angle, X, °)
6 m/s	1.749°
7 m/s	2.869416667°
8 m/s	3.989833333°
9 m/s	5.11025°
10 m/s	6.23066667°
11 m/s	7.351083333°
12 m/s	8.4715°
13 m/s	9.591916667°
14 m/s	10.71233333°
15 m/s	11.83275°
16 m/s	12.95316667°
<b>Crack start point</b> 17m/s	<b>14.07358333°</b>
18 m/s	15.194°
19 m/s	?
20 m/s	?
21 m/s	?
22 m/s	?
23 m/s	?
24 m/s	?
<b>25 m/s</b>	<b>Cut-Out Wind Speed</b>

## Gross Properties Chosen for the NREL 5-MW Baseline Wind Turbine

Rating	5MW
Rotor Orientation, Configuration	Upwind, 3 Blades
Control	Variable Speed, Collective Pitch
Drivetrain	High Speed, Multiple-Stage Gearbox
Rotor, Hub Diameter	126m, 3m
Hub Height	90m
<b>Cut-In, Rated, Cut-Out Wind Speed</b>	<b>3m/s      11.4m/s      25m/s</b>
Cut-In, Rated Rotor Speed	6.9rpm, 12.1rpm
Rated Tip Speed	80m/s
Overhang, Shaft Tilt, Precone	5m, 5°, 2.5°
Rotor Mass	110,000kg
Nacelle Mass	240,000kg
Tower Mass	347,460kg
Coordinate Location of Overall CM	(0.2m, 0.0m, 64.0m)

기존의 경쟁기술 타워-부유체 일체형(Tower-Floater integrated type) 부유식 해상풍력발전 플랫폼은 고진동(High Vibration)에 의한 플랫폼 균열을 방지하기 위해서 Cut-Out Wind Speed 25m/s까지 정상가동 가능한 발전기를 17m/s에서 블레이드 피치제어(Blade Pitch Control)로 Cut-Out 시켜야 되는 기술적 난제를 물리적으로 극복할 수가 없습니다. 상기 이유로 동일 해상 위치에 설치 비교시 해상고정식 및 창의(주)의 초저진동(Ultra low vibration Min1° ~Max2°) 타워-부유체 조인트 분리 하이브리드형(Tower-Floater joint separation hybrid type)플랫폼 대비 이용률이 현저히 낮습니다. ●일본 2018년 실증기 균열발생으로 실증 중단됨

现有竞争技术塔式, 浮游体一体型 (Tower-Floater integrated type) 浮游式海上风力发电平台,有个物理性技术难题无法克服。即, 为了防止平台因高振动(High Vibration)而破裂, 正常运行最大Cut-Out Wind Speed可达25m/s的发电机在17m/s时, 必须要通过桨距控制(Blade Pitch Control)来Cut-Out。

由于以上原因, 与同海位置的安装相比, CHANGI 公司的船用固定式和Min1° ~Max2° 超低塔塔浮子联合分离混合式平台的利用率高。这明显更低。(Tower-Floater joint separation hybrid type)

●因日本实证机发生破裂, 实证中断 (2018年)

# 동조질량댐퍼(Tuned Mass Damper, TMD)기술이 적용된 창이(주)의 타워-부유체 조인트 분리 하이브리드형(Tower-Floater joint separation hybrid type) 부유식 해상풍력발전 플랫폼

## 采用调和质块阻尼器(Tuned Mass Damper, TMD)技术的CHANGI 公司 塔-浮游体接点分离型(Tower-Floater joint separation hybrid type)浮游式海上风力发电平台



● 별도의 외부동력이 필요한 Electric Motor가 필요 없습니다.  
无需依托额外的外部动力的电动马达

● 해류의 영향을 받지 않습니다. 不受当前影响

● 플랫폼 기울기 복원 블레이드 피치 제어가 필요 없어 출력감소 또는 발전중단이 되지 않아 풍력 발전기 발전효율 이론적 최대치(Theoretical maximum of wind power generation efficiency)  $C_{pmax}$  0.45(Betz Law) 까지 증대시킬 수 있는 국내외 유일의 부유식 해상풍력발전 플랫폼입니다. 상기 이유로 플랫폼 기울기 복원 블레이드 피치제어 알고리즘 설계 개발(Blade pitch control algorithm design development)이 필요 없어 상용화 완료 기간을 2~3년으로 단축 할 수 있습니다.

本产品是国内外唯一的浮游式海上风力发电平台, 平台的倾斜恢复无需桨距控制, 输出不减少且发电不中断, 可让风力发电机发电效率达到理论最大值(Theoretical maximum of wind power generation efficiency)  $C_{pmax}$  0.45(Betz Law).

因此, 平台倾斜恢复叶片的设计不需要叶片倾角控制算法的设计开发, 从而可以将商业化完成周期缩短至2~3年.

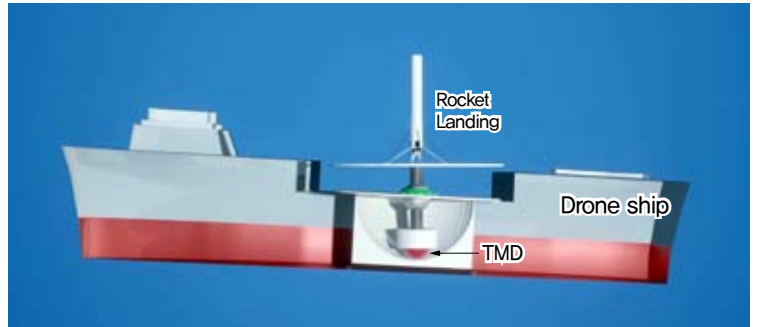
● 타워가 2° 이상 기울지 않는 초저진동  $Min1^\circ \sim Max2^\circ$  (Ultra low vibration  $Min1^\circ \sim Max2^\circ$ ) 에 의해서 초강력 태풍(Super Typhoon)에도 플랫폼 균열을 방지할 수 있습니다. 상기 이유로 사이클론(Cyclone), 허리케인(Hurricane) 발생지역 한국, 중국, 일본, 대만... 등 동아시아와 동남아시아, 서남아시아, 인도, 미국 등에서 안정적으로 운용·유지관리 될 수 있는 국내외 유일 부유식 해상풍력발전 플랫폼입니다.

依靠塔架倾斜不超过2°的 $Min1^\circ \sim Max2^\circ$ 的超低振动(Ultra low vibration  $Min1^\circ \sim Max2^\circ$ ), 即使在超级台风(Super Typhoon)中也能防止平台破裂. 正因为上述原因, 本产品是国内外唯一可以在飓风、龙卷风发生区域(韩国、中国、日本、台湾...等东亚和东南亚, 西南亚, 印度, 美国等地)稳定运作并保持管理的浮游式海上风力发电平台.

### ● 응용사업 应用事业



[그림 1] 창이(주)의 타워-부유체 조인트 분리 하이브리드형 부유식 해상풍력 발전기 모델  
[图1] CHANGI 公司的塔浮联合分离混合式浮式海上风力发电机模型



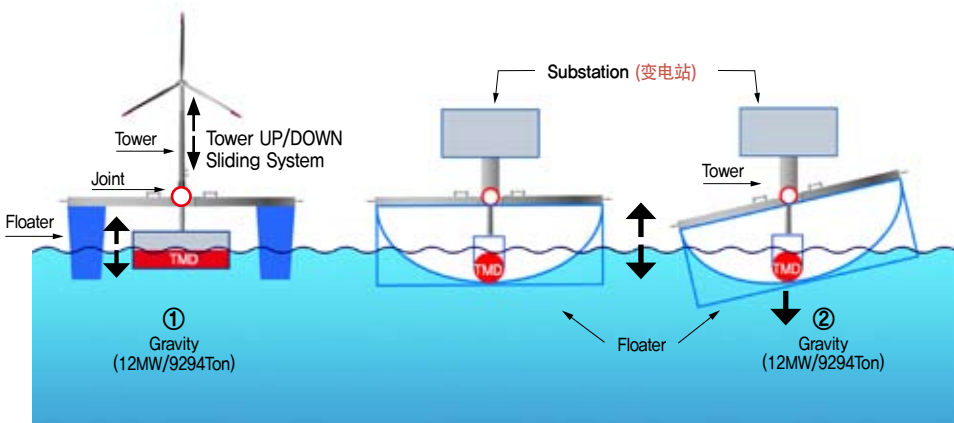
[그림 2] 미국 VL Offshore 社(www.vloffshore.com)와 공동기술개발 및 기술이전 계약체결 (2021년 2월 13일)  
[图2] 与VL Offshore (www.vloffshore.com) 签订联合技术开发和技术转让合同 2021年2月13日

### TMD Self Balancing System Tower-Floater joint separation Hybrid-Type

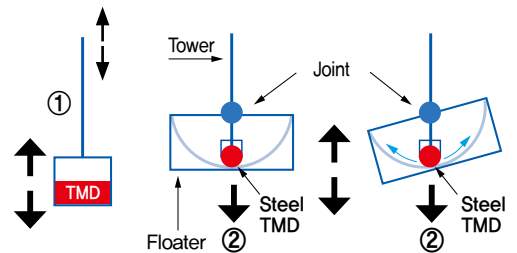


#### Commercialization Model(A-1 Type)

#### Substation(变电站)(B Type)



#### Tower UP/DOWN Sliding System



① ② 타워 수평제어 포스 방향  
① ② 타架水平控制力方向

① Neutral buoyancy (12MW/9294Ton) TMD

② TMD Gravity (12MW/9294Ton) TMD

## 부유식 해상풍력 발전플랜트는 제2의 조선·해양플랜트 산업이다.

浮游式海上风力发电平台是  
第二个造船海洋平台成套设备产业。



미래 해양에너지기술의 선도기업  
未来海洋能源技术的领先公司



부유식 해상풍력 발전플랜트  
浮动式海上风力发电厂



[www.ocean-tech.co.kr](http://www.ocean-tech.co.kr)

본사 (51242) 경남 창원시 마산회원구 내서읍 중리공단로 122 (중리 1250-1번지)  
전화 070-4237-6606 팩스 055-231-6829 휴대폰 010-3268-5687 이메일 keun9221@naver.com

总公司 庆尚南道昌原市马山会原区内西邑中里工业园区路122 (中里1250-1号)  
电话 +82-70-4237-6606 传真 +82-55-231-6829 手机号码 +82-10-3268-5687 邮箱 keun9221@naver.com