

Hệ thống cáp động lực cho trang trại điện gió nổi ngoài khơi

Ryota TANINOKI *, Kazutoshi ABE, Takuya SUKEGAWA, Daisuke AZUMA và Masatoshi NISHIKAWA

Việc sản xuất điện gió nổi ngoài khơi ngày càng thu hút sự chú ý ở các vùng có mực nước biển sâu. Chúng tôi đã phát triển một hệ thống cáp động lực truyền tải ổn định giúp truyền tải điện từ các tuabin gió nổi ngoài khơi đến một trạm biến áp trên đất liền và đã thử nghiệm nó trong một dự án trình diễn do Bộ Môi trường Nhật Bản dẫn đầu. Trong quá trình biểu diễn, không có vấn đề gì xảy ra với hệ thống cáp và một cuộc điều tra sau đó không tìm thấy sự xuống cấp đáng kể nào. Các kết quả này khẳng định rằng hệ thống cáp chịu được ứng suất cơ học gây ra bởi sự di chuyển lớn của các tàu nổi kiểu spar lai. Chúng tôi cũng đã phát triển một phương pháp phân tích hành vi của cáp trên biển để tối ưu hóa thiết kế lắp đặt cáp và đảm bảo độ tin cậy lâu dài.

Từ khóa: phát điện gió ngoài khơi, cáp ngầm, cáp động lực

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, sản xuất điện gió ngoài khơi đã thu hút sự chú ý ngày càng tăng của công chúng do sự cần thiết của việc sử dụng năng lượng tái tạo như một giải pháp để đối phó với tình trạng nóng lên toàn cầu.

Sản xuất điện gió nổi ngoài khơi (tức là tuabin gió nổi trên biển) đã thu hút sự chú ý đáng kể của công chúng ở Nhật Bản, một quốc gia được bao quanh bởi vùng nước sâu. Cuộc trình diễn đầu tiên về sản xuất điện gió nổi ngoài khơi ở Nhật Bản được thực hiện dưới sự bảo trợ của Bộ Môi trường Nhật Bản.

Chúng tôi đã phát triển một hệ thống cáp động lực giúp truyền tải điện ổn định từ các cơ sở sản xuất điện gió nổi ngoài khơi (có thể chuyển động đáng kể) vào bờ và áp dụng cho dự án trình diễn này.

Bài báo này báo cáo về sự phát triển của hệ thống cáp động lực cho tuabin gió nổi ngoài khơi 100 kW (mô hình nửa tỷ lệ) và tuabin gió nổi ngoài khơi công suất 2MW (mô hình quy mô đầy đủ).

2. Tổng quan về sản xuất điện gió nổi ngoài khơi

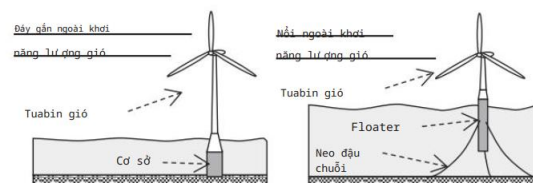
Sản xuất điện gió ngoài khơi có hai biến thể trong cấu hình lắp đặt (xem Hình 1). Tại Nhật Bản, sản xuất điện gió nổi ngoài khơi (trong đó thiết bị phát điện gió được thiết kế để nổi trên biển) đã là trọng tâm của các nỗ lực nghiên cứu và phát triển. Điều này là do các địa

điểm thích hợp để sản xuất điện gió ngoài khơi gần đây (trong đó thiết bị của các loại phong điện được thiết kế để gắn chặt vào đáy biển) bị hạn chế do nước sâu xung quanh bờ biển Nhật Bản.

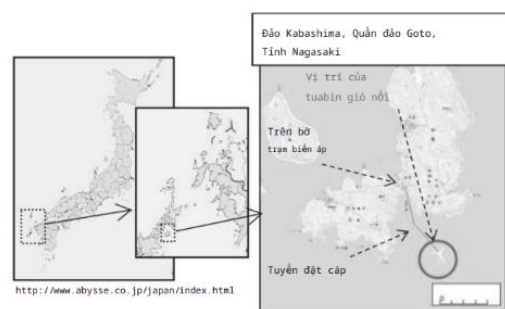
Sản xuất điện gió nổi ngoài khơi đang trong giai đoạn tăng trưởng trên khắp thế giới và đang tiến hành đánh giá để thương mại hóa nó. Tại Nhật Bản, dự án đầu tiên để thử nghiệm sản xuất

của các tuabin gió nổi ngoài khơi quần đảo Goto, tỉnh Nagasaki, được thực hiện dưới sự bảo trợ của Bộ Môi trường Nhật Bản.

Vị trí của địa điểm trình diễn được thể hiện trong Hình 2.



Hình 1. Tổng quan về sản xuất điện gió ngoài khơi



Hình 2. Vị trí của dự án trình diễn được thực hiện dưới sự bảo trợ của Bộ Môi trường Nhật Bản

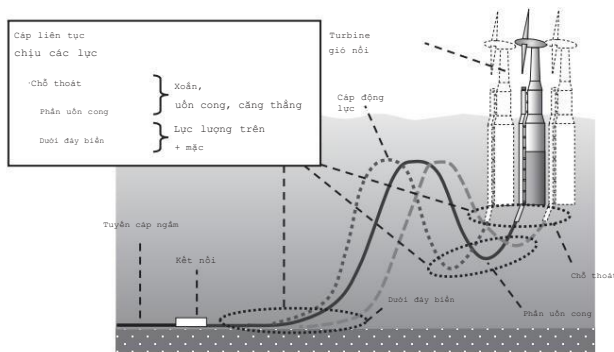
điện gió nổi ngoài khơi đã bắt đầu vào năm 2010 sử dụng 100 kW và công suất 2 MW.

3. Phát triển hệ thống cáp động

3-1 Cáp động lực là gì?

Trong khi cáp ngầm thông thường được lắp đặt hoặc bảo đảm dưới đáy biển, thì cáp cho điện gió nổi ngoài khơi đòi hỏi chúng có thể di chuyển thông qua một bộ phận nổi (xem Hình 3). Lý do vì các dây cáp liên tục chịu các lực uốn và xoắn, v.v... do dòng thủy triều và phản ứng của phao nổi; do đó, chúng có khả năng bị hư hỏng cơ học ở các phần khác nhau nếu lắp cố định. (1)

Việc truyền tải điện ổn định từ các tuabin gió ngoài khơi vào bờ cần có các loại cáp động lực với độ bền cơ học cực tốt.



Hình 3. Ví dụ về kết nối cáp với cơ sở sản xuất điện gió nổi ngoài khơi

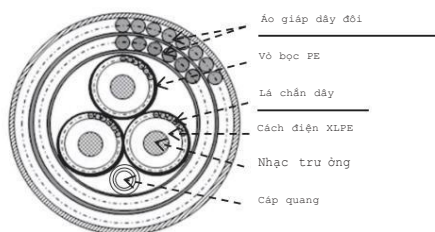
3-2 Phát triển cáp cho tuabin gió nổi ngoài khơi 100 kW

(1) Cấu trúc của cáp cho tuabin gió 100 kW

Chúng tôi đã chọn **cáp XLPE** loại ba lõi cáp 6,6 kV bằng cách tính đến công suất máy phát và điện áp lưới trên bờ để đấu nối.

Cáp có khả năng chịu các lực xoắn theo hướng bên, bị hư hỏng bên ngoài đối với cách điện sơ cấp do các vật trôi nổi trên biển gây ra và thử nghiệm gây ra sự mài mòn lặp đi lặp lại liên tục do tiếp xúc với đáy biển. Để đối phó với sự xoắn và hư hại bên ngoài, chúng tôi đã sử dụng áo giáp cáp được sản xuất với kỹ thuật cuộn dây xen kẽ đôi.

Ngoài ra, một tấm chắn dây được sử dụng để đối phó với sự căng thẳng trên cáp do hoạt động lặp đi lặp lại của bộ nổi. Hình 4 cho thấy cấu trúc của cáp XLPE ba lõi được trang bị áo giáp dây đôi.



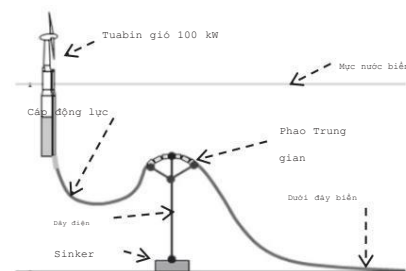
Hình 4. Cấu trúc cáp XLPE ba lõi được trang bị áo giáp dây đôi

(2) Thiết kế đặt cáp cho tuabin gió 100 kW

Khoảng cách di chuyển của phao nổi của tuabin gió 100 kW trong điều kiện bão (ví dụ như bão) được dự kiến là ± 25 m. Chúng tôi đã sử dụng thiết kế bù cáp có thể đảm bảo khoảng cách di chuyển tự do của phao nổi.

Hình 5 cho thấy biên dạng bù đắp cho tuabin gió 100 kW.

Để duy trì biên dạng bù đắp, phao được sử dụng trên phần trung gian của cáp. Để tránh cho cáp bị gấp khúc gần đáy biển, vị trí phao được cố định bằng cách sử dụng dây và dây chìm để hạn chế phạm vi di chuyển của phao và giảm thiểu sự thay đổi hình dạng từ phao xuống đáy biển.



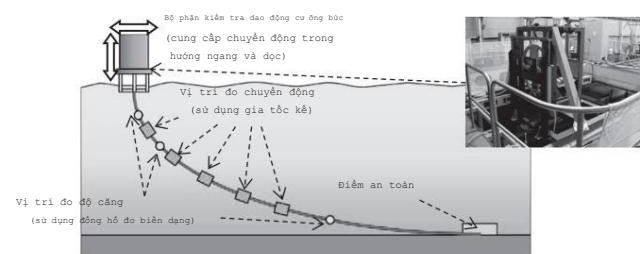
Hình 5. Cầu hình bù đắp cho tuabin gió 100 kW

(3) Thử nghiệm mô phỏng hoạt động của cáp dưới đáy biển

Chúng tôi đã tiến hành thử nghiệm dao động cưỡng bức với cáp thực tế dưới đáy biển như một mô hình để xác định các lực cơ học tác động lên cáp. Hình 6 cho thấy tổng quan về thử nghiệm mô phỏng hành vi được thực hiện với cáp dưới đáy biển và Bảng 1 liệt kê các điều kiện thử nghiệm.

Chúng tôi sử dụng một bộ phận kiểm tra dao động cường độ để dao động đầu trên của cáp với lực định trước và đo lực căng tác dụng lên áo giáp dây. Chúng tôi xác nhận rằng lực căng do lớp giáp dây của cáp không gây ra bất kỳ vấn đề gì đối với việc sử dụng thực tế. (4)

Chúng tôi cũng so sánh các giá trị đo được của sự thay đổi biên dạng cáp với kết quả của trạng thái mô phỏng của cáp thu được bằng phần mềm phân tích. Để xác định sự thay đổi biên dạng cáp, chúng tôi đo những thay đổi trong góc giữa cáp và đáy biển bằng cách sử dụng gia tốc kế.



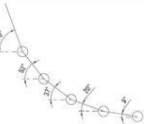
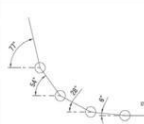
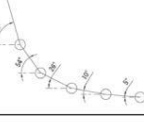
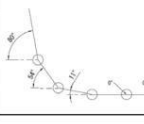
Hình 6. Toàn cảnh bài kiểm tra mô phỏng ứng xử với cáp dưới đáy biển

Bảng 1. Điều kiện thử nghiệm mô phỏng đối với cáp dự ới đáy biển

Điều kiện vận động	Hướng đi	-	Theo chiều dọc	Nằm ngang
	Khoảng thời gian của chu kỳ	giây	3 - 20	3 - 20
	Khoảng cách của dao động	mm	10 - 248 30 - 130	
Vị trí đo độ căng *		mm		1000
		mm		3000
		mm		8500
Vị trí đo chuyển động *		mm		1500
		mm		2500
		mm		3500
		mm		4500
		mm		5500
		mm		5500

* Đầu ra của thiết bị thử nghiệm (đầu trên cùng của cáp) được sử dụng làm chuẩn (0 mm)

Kết quả thay đổi hồ sơ cho cáp dưới đáy biển được thể hiện trong Hình 7. Cáp không bị uốn quá mức nào và sự khác biệt về góc thay đổi giữa các giá trị đo được và mô phỏng là tối đa 6 °, cho thấy rằng mô phỏng cung cấp một dự đoán tốt về sự thay đổi cấu hình cáp. Chúng tôi đã có thể xác nhận tính hợp lệ của phân tích.

	Kết quả đo gia tốc kẻ		Hồ sơ của cáp dưới đáy biển	
	Vị trí * (mm)	Thay đổi góc (độ)	Ban đầu (Chuyển động 0 mm)	Chuyển động tối đa (chuyển động 248 mm)
Kết quả mô phỏng	1500	7		
	2500	2		
	3500	9		
	4500	14		
	5500	9		
Kết quả đo lường	1500	6		
	2500	0		
	3500	15		
	4500	10		
	5500	5		

* Đầu ra của thiết bị thử nghiệm (đầu trên của cáp) được sử dụng làm chuẩn (0 mm).

Hình 7. Kết quả đo thay đổi cấu hình cho cáp dưới đáy biển

(4) Kết quả trình diễn cho 100 kW nổi ngoài khơi tuabin gió

Chúng tôi đã đặt một sợi cáp dài khoảng 2 km giữa tuabin gió 100 kW (ngoài khơi đảo Kabashima thuộc quần đảo Goto ở tỉnh Nagasaki) và trạm biến áp trên đảo Kabashima. Ảnh 1 là công việc lắp đặt cáp.

Kết nối với lưới điện bắt đầu vào ngày 26 tháng 7 năm 2012.



Ảnh 1. Đặt cáp vào tuabin gió 100 kW

Cuộc thử nghiệm tiếp tục trong khoảng một năm cho đến tháng 5 năm 2013.

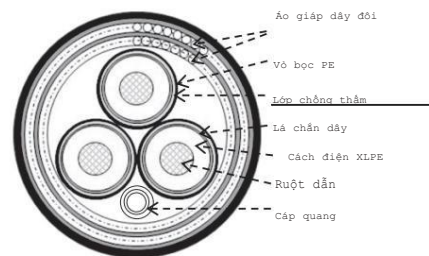
Trong khoảng thời gian này, khu vực này đã bị ảnh hưởng bởi các cơn bão số 15 và số 16 (cả hai đều là những cơn bão rất mạnh), khiến tàu nổi di chuyển tới 21 m. (2) Cáp động lực chịu được các chuyển động lặp đi lặp lại đáng kể được sản xuất và vẫn hoạt động mà không có bất kỳ vấn đề nào phát sinh.

3-3 Phát triển cáp cho tuabin gió nổi ngoài khơi công suất 2 MW

(1) Cấu trúc của cáp cho tuabin gió 2 MW

Trong tương lai, cáp 66 kV sẽ là loại cáp chủ đạo cho các trang trại điện gió. Chúng cần phải có một lớp chống thấm để ngăn chặn sự xâm nhập của hơi ẩm và đảm bảo hiệu suất cách điện lâu dài trong điều kiện ngập nước. Đối với nhà máy điện gió 2 MW, cáp 6,6 kV được sử dụng với các lớp chống thấm được cung cấp xung quanh lớp cách điện XLPE của nó để mô phỏng cáp 66 kV.

Lớp chống thấm được thiết kế để có đặc tính chống ăn mòn và chống mối rất tốt. Hình 8 mô tả cấu trúc của cáp động được trang bị một lớp chống thấm nước.

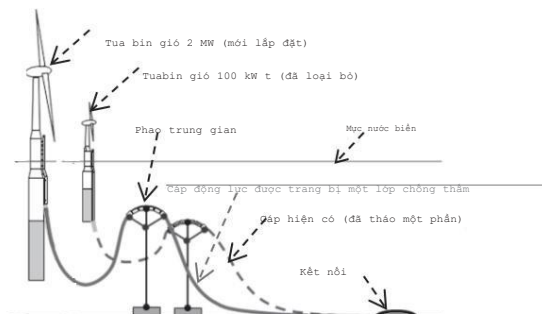


Hình 8. Cấu trúc của cáp động lực được trang bị một lớp chống thấm nước

(2) Thiết kế đặt cáp cho tuabin gió 2 MW

Cùng với việc thay thế tuabin gió 100 kW bằng tuabin 2 MW, chúng tôi đã xem xét khả năng loại bỏ một phần cáp hiện có và thay thế bằng cáp động lực được trang bị lớp chống thấm.

Hình 9 cho thấy một sơ đồ khái niệm của cấu hình đặt cáp cho tuabin gió 2 MW.



Hình 9. Sơ đồ khái niệm về cấu hình đặt cáp cho tuabin gió 2 MW công suất 2 MW

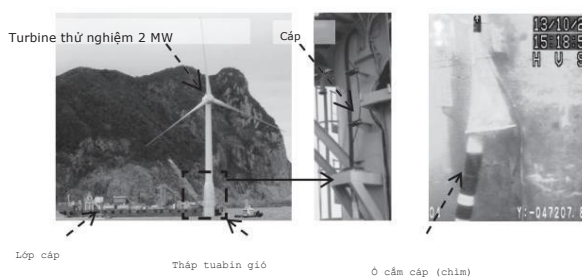
Dựa vào kết quả mô phỏng thiết kế phao nổi, khoảng cách di chuyển lớn nhất của tuabin gió công suất 2 MW được tính toán là ± 40 m. Cấu hình cáp được thiết kế để hấp thụ khoảng cách này.

(3) Kết quả trình diễn cho tuabin gió 2 MW

Cùng với việc loại bỏ tuabin gió 10 kW, một phần của cáp hiện có gần tuabin đã được loại bỏ và kết nối với cáp động lực. Cáp được đặt vào tuabin gió đang neo trong khi tạo thành biên dạng định trước. Ảnh 2 cho thấy công việc đặt cáp vào tuabin gió công suất 2 MW.

Công việc đặt cáp (bao gồm kết nối ngoài khơi với cáp hiện có) đã được hoàn thành một cách an toàn và việc phát điện bắt đầu vào tháng 10 năm 2013. Việc trình diễn tiếp tục trong khoảng hai năm cho đến cuối năm 2015.

Cáp động lực đã thực hiện đúng trong thời gian diễn ra quý và việc thử nghiệm đã được hoàn thành một cách an toàn.

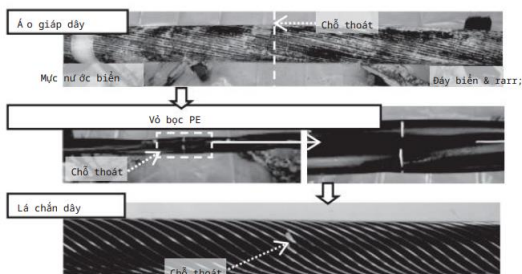


Ảnh 2. Đặt cáp cho tuabin gió công suất 2 MW

(4) Kết quả điều tra việc tháo dỡ cáp

Mặc dù có lo ngại về khả năng hư hỏng cáp do thay đổi độ cong lặp đi lặp lại, lõi cáp và lớp chống thấm vẫn còn nguyên vẹn. Không tìm thấy sự xâm nhập của độ ẩm bên trong lớp chống thấm.

Kết quả trên cho thấy cáp động lực của chúng tôi phù hợp để phát điện gió nổi ngoài khơi cả



Ảnh 3. Kết quả điều tra và tháo dỡ cáp

về tính năng (để chịu đủ ứng suất cơ học tác dụng lên cáp) và cấu trúc (để hấp thụ ứng suất cơ học với biên dạng bù đắp được sử dụng cho cấu hình đặt cáp).

4. Phát triển kỹ thuật phân tích hành vi cáp

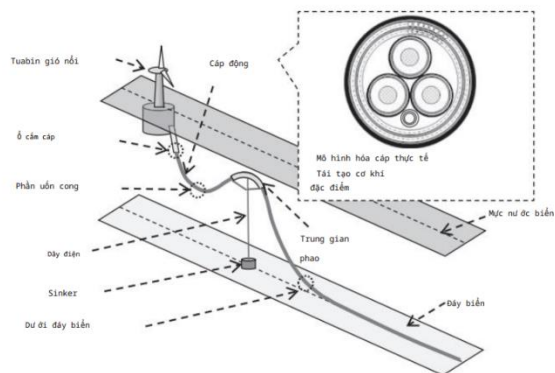
4-1 Các vấn đề trong việc đánh giá độ tin cậy lâu dài của cáp

Để đánh giá độ tin cậy lâu dài của hệ thống cáp động lực phát điện gió nổi ngoài khơi, lực cơ học tác dụng lên cáp phải được xác định. Nó có hiệu quả để thực hiện phân tích hành vi của cáp trong các vùng nước có điều kiện hải dương học khác nhau. Chúng tôi đã phát triển một kỹ thuật phân tích tập trung vào hành vi của cáp.

4-2 Xem xét kỹ thuật phân tích

(1) Mô hình phân tích hành vi

Chúng tôi đã chọn một loại cáp động được trang bị lớp chống nước để phân tích. Đối với cấu hình đặt cáp, chúng tôi đã chọn một biên dạng bù đắp và phân tích các phần của cáp có khả năng bị hư hỏng đặc biệt do cơ học (ví dụ: các phần gần đầu ra cáp từ phao nổi và gần đáy biển). Mô hình phân tích được thể hiện trong Hình 10.



Hình 10. Mô hình phân tích hành vi của cáp

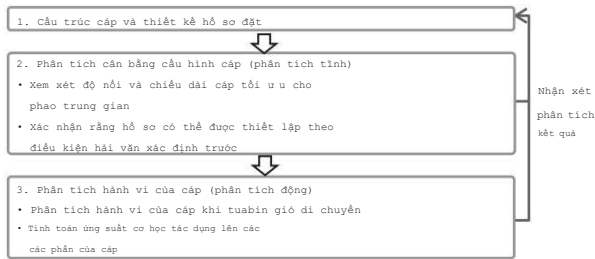
(2) Quy trình phân tích

Sau khi thiết kế cấu trúc cáp và cấu hình đặt cáp, chúng tôi thực hiện phân tích theo quy trình được chỉ ra trong Hình 11.

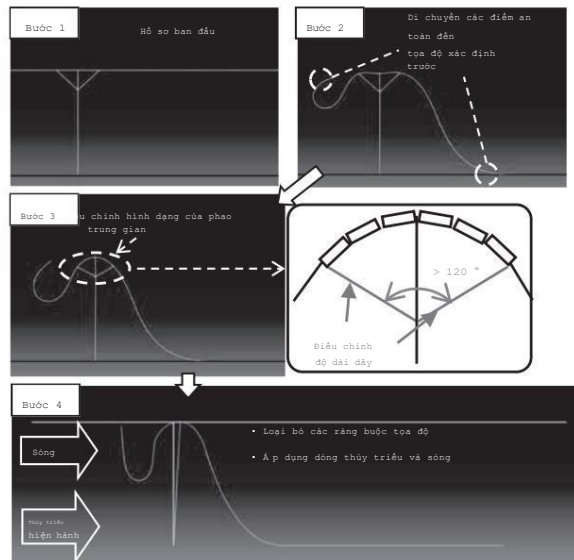
4-3 Kết quả phân tích hành vi của cáp

(1) Kết quả phân tích sơ bộ hồ sơ ban đầu của cáp

Chúng tôi đã nhập các điều kiện ngoại lực (ví dụ: trọng lượng cáp, sức nổi và dòng chảy của đại dương) và hằng số cơ học của cáp vào phần mềm phân tích để xác định xem liệu tôi có thể hình thành biên dạng bù thích hợp trong các điều kiện ban đầu hay không. Hình 12 cho thấy kết quả phân tích sự cân bằng của việc đặt cáp ban đầu cấu hình.



Hình 11. Quy trình phân tích hành vi của cáp

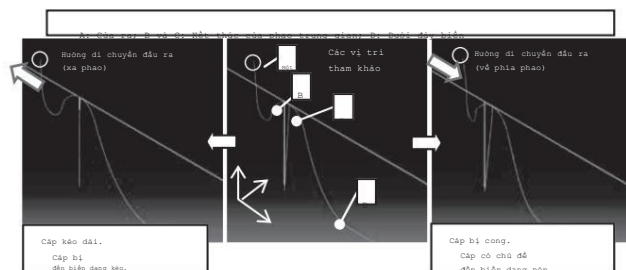


Hình 12. Cân bằng của cấu hình đặt cáp ban đầu

Chúng tôi xác nhận rằng biên dạng bù được xác định trước có thể được thực hiện sau khi cân bằng các lực bên ngoài, chẳng hạn như trọng lực, dòng thủy triều và sóng.

(2) Kết quả phân tích hành vi của cáp

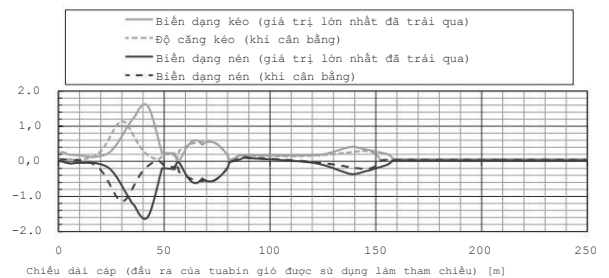
Chúng tôi đã phân tích sự thay đổi cấu hình cáp bằng cách tính đến hoạt động của cơ sở sản xuất điện gió nổi ngoài khơi và sự cân bằng của cấu hình đặt cáp ban đầu. Chúng tôi xác nhận rằng cấu hình cáp có thể hấp thụ hành vi nổi. Hình 13 cho thấy quy trình phân tích hoạt động của cáp.



Hình 13. Kết quả phân tích hành vi của cáp

Chúng tôi cũng tính toán biến dạng tác dụng lên cáp (xem Hình 14). Chúng tôi xác nhận rằng sự thay đổi về biên dạng đạt đến mức tối đa tại phần được treo của cáp (Phần A – B trong Hình 13), dẫn đến sự thay đổi đáng kể trong cấu hình cáp.

Trong khi đó, chúng tôi xác nhận rằng sự thay đổi sức căng giữa phao trung gian và đáy biển (Phần C– D trong Hình 13) là nhỏ và sự thay đổi biên dạng cáp gần đáy biển có thể được giảm thiểu bằng cách neo phao trung gian xuống đáy biển. (5)



Hình 14. Kết quả tính toán độ căng (đối với bề mặt cáp)

5. Kết luận

Chúng tôi sẽ xem xét độ tin cậy của cấu trúc cáp và thiết kế đặt cáp bằng cách sử dụng các dữ liệu hành vi khác nhau thu được từ dự án trình diễn và xác minh mô hình của tuabin gió 2 MW. Hơn nữa, chúng tôi sẽ tối ưu hóa cấu hình đặt cáp bằng kỹ thuật phân tích hành vi của cáp đã được phát triển.

Chúng tôi sẽ cung cấp lại kết quả của bài đánh giá này trong việc thiết kế hệ thống cáp động lực và đề xuất một hệ thống truyền tải điện ổn định để giúp mở rộng việc sử dụng năng lượng gió như một lựa chọn cho năng lượng tái tạo.

5. Lời cảm ơn

Chúng tôi muốn bày tỏ sự cảm kích sâu sắc nhất tới các nhân viên tại Toda Corporation, Đại học Kyushu và Viện Nghiên cứu Hàng hải Quốc gia vì đã cung cấp nhiều dữ liệu khác nhau (bao gồm dữ liệu trình diễn) và hướng dẫn trong dự án trình diễn sản xuất điện gió nổi ngoài khơi được thực hiện dưới sự bảo trợ của Bộ Môi trường Nhật Bản.

Điều khoản kỹ thuật

- Sản xuất điện gió ngoài khơi: Trong sản xuất điện gió, lực của gió làm quay tuabin gió, làm cho máy phát quay và tạo ra điện. Sản xuất điện gió ngoài khơi có thể sản xuất nhiều điện hơn so với phát điện gió trên bờ vì gió ngoài khơi phù hợp hơn và mạnh hơn gió trên bờ.
- Áo giáp cáp cuộn xen kẽ hai dây: Áo giáp dây đặc biệt đối với cáp ngầm. Nó được thiết kế để đảm bảo khả năng chống căng khi đặt cáp và bảo vệ cáp khỏi các tác hại bên ngoài do neo và dụng cụ đánh cá gây ra. Trong cuộn dây đôi xen kẽ, các lớp dây bên trong và bên ngoài được cuộn quanh cáp theo các hướng ngược nhau. Cấu trúc này giúp cân bằng độ cứng xoắn của cáp theo phương ngang.
- Tấm chắn dây: Lớp che chắn ngăn không cho điện trường do vật dẫn sản xuất ra bên ngoài cáp. Một tấm chắn dây bao gồm dây đồng được cuộn xoắn ốc xung quanh lõi cáp. Cấu trúc này giúp hấp thụ sự giãn nở và co lại của cáp khi cáp bị uốn cong.
- Thiết kế bù trừ: Một sợi cáp được đặt lỏng lẻo theo hình chữ S để hấp thụ chuyển động của tuabin gió nổi với phần chuyển động của cáp.

Người giới thiệu

- T. Hasegawa, S. Inoue, S. Uto, S. Ishida, T. Fujiwara, "Kế hoạch phát triển kỹ thuật cho hệ thống cáp điện của giàn khoan ngoài khơi," Kỷ yếu hội nghị, Hiệp hội Kiến trúc sư Hải quân và Kỹ sư Đại dương Nhật Bản, Vol. 11 (tháng 11 năm 2010)
- S. Ishida, K. Kokubun, T. Nimura, T. Utsunomiya, I. Sato, S. Yoshida, "THỬ NGHIỆM TẠI BIỂN CỦA MỘT LOẠI HYBRID OFFSHORE WIND TURBINE," OMAE2013-10655 (tháng 11 năm 2013)
- R. Taninoki, K. Abe, D. Azuma, I. Sato, T. Utsunomiya, S. Ishida, K. Kokubun, "Phát triển hệ thống cáp động cho phong điện nổi ngoài khơi," Bản ghi Công ước quốc gia 2014 IEEJapan, No.7-116, pp.184-185 (tháng 3 năm 2014)
- R. Taninoki, D. Azuma, I. Sato, T. Utsunomiya, S. Ishida, K. Kokubun, "Phát triển hệ thống cáp động cho năng lượng gió nổi ngoài khơi," CIGRE AORC Cuộc họp kỹ thuật 2014, No. B1-1037, Tokyo, Nhật Bản (tháng 5 năm 2014)
- R. Taninoki, K. Abe, T. Sukegawa, D. Azuma, "Phát triển phương pháp phân tích hành vi của cáp cho điện gió nổi ngoài khơi," Hồ sơ Công ước quốc gia 2016 IEEJapan, No.7-142, pp.222-223 (Tháng 3 năm 2016)

Người đóng góp Tác giả chính được biểu thị bằng dấu hoa thị (*).

R. TANINOKI *

- Phòng Phát triển Công nghệ



K. ABE

- Giám đốc kỹ gửi, Bộ phận cáp điện



T. SUKEGAWA

- Giám đốc Nhóm, Phòng Phát triển Công nghệ



D. AZUMA

- Bộ phận Xây dựng & Kỹ thuật Cáp điện



M. NISHIKAWA

- Bộ phận cáp điện

