

조류발전용 터빈블레이드의 변동압력 분석을 통한 시험하중의 설계

A Study on the design process of test loads evaluated from the distribution of surface pressure subject to blades of tidal current turbine

허영철† · 한정우* · 정태영** · 장경천***

Young-Cheol Huh, Jeong-Woo Han, Tae-Young Chung and Kyung-Chun Jang

1. 서 론

최근 유럽의 육상용 풍력발전 설비 시장이 포화상태에 도달함에 따라 해양에너지를 이용한 발전설비의 개발에 관심이 모아지고 있다. 아직까지는 해상용 풍력발전 설비의 개발이 주를 이루고 있으나 파력을 이용하거나 조류를 이용한 발전설비의 개발도 활발히 진행되고 있다. 이 중에서도 조류를 이용한 발전설비의 경우 영국을 중심으로 상용화 시장의 형성을 위한 MW급 설비의 개발이 활발하게 추진 중에 있으며 실증시험 등을 통해 다양한 형태의 터빈을 개발하고 효율성능을 최적화하기 위한 연구가 진행 중이다.

국내의 경우 2002년 전력산업 연구개발 사업의 일환으로 수행된 “화력발전소의 해수 방류수를 이용한 수력발전 시스템 타당성 조사 연구”를 시작으로 한국해양연구원에서 20kW급 조류발전 설비의 설계 및 현장실험(2002), 1MW급 조류발전소의 건설 및 시험 과제(2005)가 진행되었고 한국전력연구원에서는 화력발전소 해수 방류수를 이용한 30kW급 조류발전설비의 실증연구(2005)가 추진되었다. 2010년에는 민간 기업이 주관기관이 되어 50kW급 조류발전설비 상용화((주)에코션) 및 MW급 단지용 조류발전시스템 개발((주)현대중공업) 과제가 착수되었다.

조류발전설비의 개발에서 선도국인 영국의 경우 Lunar Energy사를 비롯하여 Engineering Business 사 등 많은 기업들의 다양한 연구를 통해 현재 상용화 단계에 도달했고 IEC TC114에서 설비인증을 위

한 국제 기준의 제정이 검토되고 있다. 반면 국내의 경우 그 동안 많은 시행착오를 거치면서 설계에 필요한 기초자료를 확보해 가고 있는 시작 단계로 볼 수 있으며 상용화를 위한 제품개발이 성공하기 위해서는 시간이 좀 더 필요할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 50kW급 조류발전설비의 상용화 과제에서 수행 중인 블레이드 하중시험의 절차에 관해 기술한다. 조류발전 설비는 조류의 비정상 유동으로 인해 블레이드의 표면에 작용하는 압력의 변동이 심하고 물의 밀도는 공기밀도의 약 1,000배이므로 압력 또한 매우 크다. 따라서 설계단계에서 정밀한 유동해석에 의해 표면 압력을 산정하고 이를 절점하중으로 치환한 후 구조해석과 하중시험에 의해 블레이드의 구조안전성을 확보할 필요가 있다. 구조해석의 경우 산정된 표면 압력을 적절한 수치적 기법을 이용하여 유한요소 모델의 해당 위치에 작용하는 절점하중으로 대부분 치환할 수 있으나 하중시험의 경우 분포하중을 모사하기 위한 시험장치의 설계에 많은 제약이 있다. 이를 극복하기 위한 방법으로써 풍력발전용 블레이드의 하중시험에서는 whiffle tree를 구성하여 제한적이나마 날개 길이방향의 하중 분포를 모사하고 있는데 재질이 복합재료로써 하중에 대한 변위응답이 크고 또한 유연한 구조를 갖기 때문에 가능하다. 그러나 강재가 적용되는 조류발전용 블레이드의 경우에는 강성이 커서 whiffle tree의 구성도 여의치가 않다.

시험대상 블레이드는 700mm의 회전반경과 직선 길이가 3,600mm인 3개의 날개로 구성된다. 각각의 날개에서 표면 압력의 방향별 합력을 구한 후 합력이 최대인 날개를 하중시험 대상으로 선정하였다. 선정된 날개를 대상으로 길이방향의 하중 분포를 분석하였다. 길이방향으로 5개와 30개의 등가 집중하중이 작용하는 2가지 경우에 대하여 보유추 근사화

† 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링 연구본부
E-mail : ychuh@kimm.re.kr

Tel : (042) 868-7468, Fax : (042) 868-7418

*,** 정회원, 한국기계연구원 시스템엔지니어링 연구본부

*** 비회원, (주)에코션 기기설계팀

해석에 의해 굽힘우력과 전단력 선도를 산출하였다. 30개의 집중하중이 작용하는 경우에 대한 굽힘우력과 전단력 선도 결과와 잘 일치하도록 5개의 집중하중 크기를 결정하였다. 최종 결정된 집중하중의 적절성을 확인하기 위해 유한요소모델을 이용한 응력 해석을 수행하였다. 그 결과 von-mises 응력분포의 경향은 표면 압력이 작용하는 경우와 잘 일치하였고 최대 응력의 경우 약 20%정도 높은 결과를 보여주고 있음을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 CFD 기법에 의한 블레이드 표면압력 산정 설계 최대조건인 조류속도 6m/sec, 120 rpm에서 비정상 CFD 해석이 수행되었다. 유동해석을 통해 산출된 수차 출력의 결과로부터 평균 출력은 약 48kW이고 12kW의 진폭으로 출력이 변동함을 확인할 수 있었다. 출력 최고점에서 의 변동압력을 유한요소모델의 하중자료로 매핑하였다. 응력해석 결과 von-mises 응력은 최대 55MPa로 추정되었다. 관련된 모든 해석은 Ansys 및 CFX를 활용하여 한국선급에서 수행하였다.

2.2 블레이드 시험하중의 결정

해당 블레이드를 크게 네 개의 구성요소로 나누어 유한요소모델로 매핑된 분포하중의 방향별 합력의 크기를 구한 후 Table 1에 정리하였다. 이 때 x축은 주축의 수평방향, y축은 수직방향 그리고 z축은 주축의 길이방향에 해당한다.

합력이 가장 큰 Blade A를 대상으로 길이방향으로 30개의 요소로 균등 분할한 후 각 분할요소의 중심에서 표면 압력에 의한 방향별 합력을 구하였다. 대상 날개를 3,600mm 길이의 균일단면 보로 가정하고 30개의 등가 집중하중이 작용하는 경우에 대해 굽힘우력

Table 1 Resultant of each component of the blades

Component \ Force	Fx (kN)	Fy (kN)	Fz (kN)
Blade A	34.83	-26.70	-4.04
Blade B	28.59	-1.33	-2.34
Blade C	16.68	1.32	5.55
Shaft	5.80	-4.52	-0.27
Total	85.90	-31.23	-1.10

Table 2 Magnitude and direction of test loads

	1	2	3	4	5
z (mm)	180.0	840.0	1800.0	2760.0	3420.0
Fx (kN)	9.04	13.03	7.03	0.83	0.90
Fy (kN)	-1.86	-8.21	-9.94	-4.64	0.14

과 전단력 선도를 구하였다. 이 때 날개와 주축 사이에서 날개를 지지하고 있는 4개의 spoke 요소는 단순지지 경계조건으로 가정한다. 아울러 시험하중을 결정하기 위해 날개의 양 끝단과 각 spoke 사이의 중앙에 등가의 집중하중이 작용한다는 가정 하에서 5개의 등가 집중하중에 대한 굽힘우력과 전단력 선도를 구하였다. 많은 시행착오를 통해서 30개의 집중하중에 대한 굽힘우력과 전단력 선도 결과와 잘 일치하도록 5개의 집중하중의 크기를 결정하였다.

2.2 블레이드의 정하중 시험

최종 도출된 시험하중의 방향별 크기와 작용점의 위치를 Table 2에 보였다. 결정된 시험하중의 적절성을 확인하기 위해 유한요소모델을 이용한 응력 해석을 수행하고 그 결과를 날개 표면 압력에 의한 분포하중 결과와 비교하였다. 비교 결과 응력분포의 경향은 잘 일치했으며, 최대 응력의 크기는 약 20% 높은 결과를 보여줌을 확인하였다.

3. 결 론

국내에는 아직 그 사례가 없는 조류발전용 블레이드의 하중시험을 위한 설계 절차에 관해서 고찰하였다. 시험하중의 크기와 작용점을 결정하기 위해 유동에 의한 변동압력 결과를 5개의 집중하중과 30개의 집중하중이 작용하는 2가지 경우로 등가 치환한 후 보유추 근사해석을 수행하였다. 굽힘우력과 전단력 선도의 결과 비교를 통해 시험하중의 크기를 최종 결정하고 정하중 및 피로하중 시험을 계획하였다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구과제 결과의 일부입니다. (‘소형 수직형 흐름식 발전설비 상용화’, No. 2010T100100629)