

조류발전 터빈블레이드의 정하중과 동하중 시험

Static and Fatigue Load Test on Rotor Blade of Tidal Current Turbines

허영철* · 한정우* · 정태영* · 김범석** · 장경천***

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

1. 서 론

최근 풍력발전설비의 대안으로써 영국을 중심으로 조류를 이용한 발전설비의 상용화연구가 활발하게 진행되고 있다. 2008년 총 150억의 사업비가 투입된 SeaGen Project의 결과로써 현재 1.2MW의 상용전기를 생산 중인 것으로 보고되고 있다. 국내의 경우 2002년 20kW급 조류발전 설비의 개발을 시작으로 2010년에는 50kW급과 MW급 단지용 조류발전 설비의 개발이 각각 착수되었다.

조류발전 설비는 조류의 비정상 유동으로 인해 블레이드 표면에 작용하는 압력의 변동이 심하며 공기압에 비해 1,000배 정도 큰 물의 밀도로 인해 압력의 크기 또한 작지 않다. 이러한 연유로 블레이드에 작용하는 하중을 충분히 견딜 수 있도록 강재를 적용하는 사례가 많다. 강재를 사용한 블레이드는 제작 과정에서 용접에 의한 접합을 피할 수 없는데 용접 선 주변에서는 종종 피로파괴 문제가 발생하기도 한다. 따라서 설계단계에서 가급적 정밀한 방법으로 하중을 예측하고 시제품 제작 후에는 하중시험을 통해 대상 설비의 구조안전성을 확인해 볼 필요가 있다.

본 논문에서는 50kW급 조류발전 설비 상용화과제에서 수행한 블레이드 시제품의 하중시험 절차 및 결과에 대해 기술한다. 대상 시제품은 3개의 강재 블레이드로 구성된 수직형 헬리컬 타입으로써 블레이드 양단의 직선거리는 3,600mm이다. 직경 250mm의 주축과는 길이방향으로 4개의 바퀴살(spoke)로 지지된다. 시험하중을 결정하기 위해 다음과 같은

절차로 하중을 분석하였다. 먼저 설계조건인 최대 유속과 정상유속 조건에서 CFD 유동해석에 의해 블레이드의 표면 압력을 산출한다. 산출된 표면 압력으로부터 각 블레이드에 작용하는 방향별 합력을 구한 후 그 크기가 최대일 때 블레이드 길이방향으로 하중분포를 도출한다. 블레이드의 하중분포도를 활용하여 5군데의 등가 집중하중으로 치환한다. 이때 블레이드는 4개의 바퀴살 지점에서 단순 지지된 균일한 보로 가정한 후 등가의 집중하중과 분포하중이 작용하는 경우에 대해 각각 굽힘우력 선도와 전단력 선도를 산출한다. 두 경우에 대한 굽힘우력 선도와 전단력 선도가 서로 잘 일치하는지를 확인한다. 결정된 시험하중의 방향과 크기가 적절한지를 검증하기 위해 유한요소 모델링에 의한 응력해석을 수행하고 분포하중에 대한 응력해석 결과와 상호 비교한다. 최대유속과 정상유속 조건에서 각각 결정된 등가의 집중하중을 활용하여 정하중 시험과 피로시험을 수행한다.

2. 블레이드 시험하중의 결정

2.1 유동해석에 의한 블레이드 표면압력

조류 속도가 최대인 경우와 정상인 두 조건에 대해 비정상 상태의 유동해석을 수행하였다. 설계조건으로써 최대유속은 6.0m/sec, 정상유속은 3.6m/sec이며 회전수는 각각 120rpm, 95rpm이다. 유동해석 결과로써 시간영역에서 각 블레이드에 작용하는 표면 압력, 방향별 합력 그리고 수차의 총 출력을 산출하였다. 최대유속 조건에서 수차의 평균출력은 47kW, 출력의 변동폭은 평균출력의 약 28%임을 확인하였고 정상유속 조건에서는 평균출력 16.2kW, 출력의 변동폭은 평균출력의 약 56.8%임을 확인하였다. 한편 블레이드 표면 압력에 의한 합력은 두 조건 모두

† 교신저자; 정회원, 한국기계연구원

E-mail : ychuh@kimm.re.kr

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

* 한국기계연구원

** 한국선급, *** (주) 에코선

최대 출력이 발생할 때 최대 크기이다. 유동해석과 결과의 후처리는 Ansys-CFX를 활용하여 한국선급에서 수행하였다.

2.2 시험하중의 결정

(1) 정하중 시험을 위한 시험하중

최대유속에서 최대 출력이 발생할 때 예측된 블레이드 표면 압력을 기준으로 시험하중을 결정하였다. 중심축이 일회전할 때 합력의 변화패턴은 세 개의 블레이드 모두 동일하며 그 패턴이 순차적으로 나타난다. 따라서 하나의 블레이드만을 대상으로 하중시험을 계획하였다. Ansys-CFX로부터 유한요소 모델로 매핑된 표면 압력 결과를 이용하여 방향별로 길이방향의 하중분포를 도출하였다. 이를 다시 5개의 등가 집중하중으로 치환한 후 굽힘우력 선도와 전단력 선도를 검토하였다. 분포하중에 대한 굽힘우력 선도 및 전단력 선도 결과와 잘 일치할 수 있도록 시행착오를 통해 등가 집중하중의 크기를 결정할 수 있었다. 분포하중의 경우 최대 등가응력은 약 56MPa, 등가 집중하중의 경우 약 68MPa임을 확인하였고 그 발생위치는 두 경우 모두 동일하였다.

(2) 피로시험을 위한 시험하중

정하중 시험하중의 경우와 동일한 절차를 거쳐 정상유속 조건에서 피로시험을 위한 시험하중을 결정하였다. 분포하중의 경우 최대 등가응력은 약 28MPa, 등가 집중하중의 경우 약 34MPa임을 확인하였다.

3. 블레이드 하중시험

3.1 시제품 설치 및 변형률 게이지의 부착

주축의 양단을 test stand로 고정하였다. 반력벽에는 4기의 유압가력기를 설치한 후 블레이드와 연결하였다. 이 때 블레이드에는 미리 설계된 하중유도용 saddle을 부착하여 정해놓은 하중선과 재하방향을 일치시켰다. 응력해석 결과를 참고하여 응력이 크게 발생할 것으로 예상되는 바퀴살(spoke) 주변에 총 36개의 변형률 게이지를 부착하였다. 이 중 일축 게이지는 22개, 3축 게이지는 14개다. 3축 게이지는 블레이드 하부표면에, 1축 게이지는 상부표면의 길이방향으로 부착하여 각각 변형률을 측정하였다.

3.2 정하중 시험

유압가력기 4기를 이용한 하중시험 결과 약 10%

오차범위 내에서 응력해석 결과와 비교적 잘 일치함을 확인하였다. 변형률 게이지의 부착위치를 응력 등고선의 최고점 위치에 정확히 일치시키기 어렵다는 점을 고려해 볼 때 시험결과는 비교적 타당한 것으로 판단된다. 최대 등가응력은 약 60MPa로서 첫 번째 바퀴살 주변의 블레이드 용접연결부에서 발생하였다.

3.3 피로시험

설계연한을 20년으로 가정하고 시제품의 연간 가동률을 고려하여 변동하중에 의한 생애 cycle을 추정하였다. 하중의 변동크기와 재하속도는 블레이드 합력의 예측결과를 참고하여 결정하였고 재하속도는 회전수의 1배 성분(1P)으로 판단된다.

4. 결 론

조류발전용 블레이드의 정하중 시험결과 최대 응력의 크기와 발생위치는 해석결과와 비교적 잘 일치하였으며, 최대 응력은 항복응력 280MPa의 약 20% 수준으로써 충분한 강도를 확보한 것으로 판단된다.

후 기

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

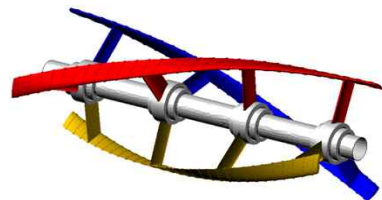


Fig.1 F.E. model of current turbine blade

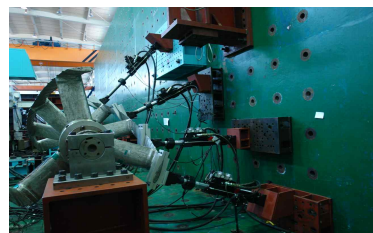


Fig. 2 Static load test of the blade