

복합소재를 이용한 저가형 3kW 소수력 발전시스템 개발

소병문^{*†} · 김성희^{*} · 한우용^{**}

^{*†} 전북대학교 IT응용시스템공학과, ^{**}전주비전대학교 신재생에너지공학과

Developed Low-priced 3kW Small Hydro Power Generation System using Composite Material

Byung Moon So^{*†}, Sung Hee Kim^{*} and Woo Yong Han^{**}

^{*†} Dept. IT Applied System Engineering, College of Eng., Chonbuk National Univ.

^{**} Dept. of New & Renewable Energy Vision College of Jeonju

ABSTRACT

As the propeller end speed increases, the propeller surface is damaged in the process of bubble formation and dropout. It is intended to prevent the corrosion of the propeller by modifying the shape of the end through the winglet structure to mitigate the cavitation phenomenon. In the case of conventional SUS materials, the cost of production is so high that plastic materials are used to prevent corrosion. This paper aims to mitigate the cavitation by deforming the shape of the end through the winglet structure by using the SMC composite material of the propeller using the existing SUS.

Key Words : Cavitation, SMC Materials, Sus, Small Hydro Power Generation

1. 서 론

케비테이션에 의한 표면 손상 방지에 따른 케비테이션 발생 원인인 프로펠러 끝단 속도의 상승, 프로펠러 표면에서의 버블 생성 및 탈락 금속재질 표면은 부식발생으로 인해 프로펠러 수명이 단축됨 프로펠러 손상 방지를 위해서 프로펠러 끝단 속도를 기구적으로 낮추는 방법과 상대적으로 프로펠러의 효율은 떨어질 수 있으나, 발전용수의 특성이 저낙차, 고유량인 관계로 장기적인 측면(프로펠러의 수명)에서 볼 때 문제없을 것으로 판단된다. 프로펠러가 부식이 안되는 소재를 사용한 전용 발전기를 도입하여 발전기 특성을 증대하기 위해 AFPM 발전기 구조는 RFPM 발전기에 비해 기동 토크가 적어 신재생에너지에 적합한 전력발생 장치로써 주로 초소형 풍력발전기에 사용된다. 적은 투자비용으로) 프로펠러 제작의 용이

하게 하기 위하여 프로펠러 형상에 대한 민감도 적고 고유량, 저RPM의 발전 용수 특성, RPM 보다는 회전토크가 중요한 복잡한 프로펠러 형상 시뮬레이션(유동)에 대한 치중에서 상대적으로 자유로운 편이다. 구조, 강도 부분에 대한 접근이 중요하고 금형 투자비 없으며 프로펠러는 주물, 주강 작업 후, 후가공 공정을 거치지만 간단한 몰드를 제작하여 소재 주입 후 가압하면 될 것으로 사료되어 공정이 간단하며 부담되는 금형 투자비가 없도록 함으로써 고강도, 저가의 대량생산이 가능한 복잡한 형상의 프로펠러를 손쉽게 가공 가능하도록 하는데 있다.

2. 본 론

2.1 소수력 발전기 설계조건 분석

소수력 발전기 환경 및 제한 분석을 위해 발전기 정격 : 3kW 200rpm, 발전기 RPM/정격 회전토크 상관관계에서 일반적인 소수력(피코급 5kW 이하)에서는 고RPM용 발전기

[†]E-mail: sbm0415@jbn.ac.kr

를 사용하고 있음. 가장 접근하기 쉬운 미셀-방키테빈의 경우 높은 낙차를 이용하여 러너의 크기는 작으나 회전은 빠르도록 한다.

본 개발 소수력발전기는 저낙차, 고유량, 저유속인 관계로 고rpm을 적용하기에는 투입용수로는 유속의 한계가 있으며 최대 프로펠러에서 600rpm의 회전속도를 예상하여 발전기의 제원 및 설계가 이뤄지도록 하였음. 낮은 RPM에서의 안정성 기대발전기의 RPM이 높을 경우, 프로펠러와 Direct 연결이 가능하나, 발전기 샤프트가 길어져야 하는 단점이 있음. 샤프트가 장축일 경우, 직진도 확보가 어려워 진동 발생의 원인이 된다.

발전기 RPM이 낮다는 것은 감속비를 채택하는 것으로, 발전기에는 직접적인 부하가 걸리지 않아 장기적인 수명이 길어질 뿐 아니라, 차후 유지보수 측면에서 유리하다 볼 수 있다.

본 소수력 발전기에선 최종 3:1로 감속되어 발전기에 토크를 전달하는 방식으로 높은 감속비를 이용하면 프로펠러의 부담이 적고, 투입용수 선정폭이 넓어지나, 감속으로 인한 동력 에너지 손실을 감안하여, 일반적인 신재생에너지시스템에서는 3:1 이하의 감속비를 이상적으로 판단하고 있음.

기어 증속/감속에 따른 소음 문제로는 기어의 백래쉬로 인한 초기 동작시 타격음 발생, 기어 회전시 평행도가 일정치 않아 잡음 발생, 고형물의 윤활계를 첨가하여 일시적으로 소음을 방지함.

추후 양산시 헬리컬 기어로 바꾸어 백래쉬 발생을 줄이기 위해 프로펠러의 rpm : 600rpm 이상, 프로펠러 회전 직경 및 두께, 발전기의 정격 토크에 따른 부가사항 결정 고려하여

3kW 200rpm 발전기 이론 토크 * 1.5배

= 정격토크 $60 \times W / (2 \times 3.14 \times \text{rpm}) \times 1.5$

= $60 \times 3000 / (2 \times 3.14 \times 200) \times 1.5$

= $143.31 \times 1.5 = 214.97 \text{Nm}$

증속비와 유입수에 따른 발생 토크를 고려 하였다.

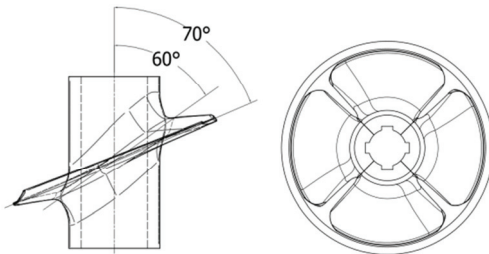


Fig.1. Propellers designed with two angles.

프로펠러는 보통 2가지 각도를 이용하여 설계됨. 샤프트에서 프로펠러가 시작되는 각도 45°~60° : 프로펠러 형상에 따라 달라짐. 이번 제품의 각도는 58°이며 프로펠러가 퍼지는 각도 60°~75° : 프로펠러 형상에 따라 달라짐. 이번 개발품의 각도는 68°이며 상부에서 바라봤을 때, 프로펠러 각도가 입수량에 방해가 되지 않으며, 물이 프로펠러 면을 밀어내고 하단으로 떨어지는 것이 얼마나 용이한지 판단하는 것이다.

2.2 기구부 설계 조건

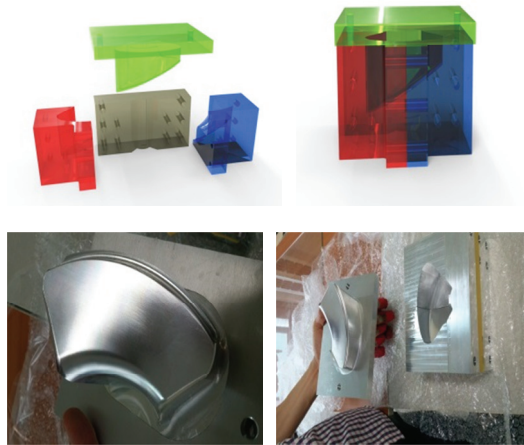


Fig. 2. Molding jig design Rendering and fabricated aluminum.

Fig 2는 몰딩 지그 설계로 프로펠러 형상이 3차원인 관계로 몰딩 지그를 분할하여 설계하였고 각 부는 4파트로 되어 있어 볼트로 조립하도록 하였으며 분리시에는 탭을 이용하여 상대 지그를 볼트로 밀어내도록 설계한 것이다.

2.1.1. 소수력 발전기의 컨셉 선정

소수력 발전기 컨셉은 아래의 5가지에 대해서 고려되었다.

물반이(입수구) 컨셉: 물반이의 형태 레듀서 효과를 이용, 유속이 빨라짐을 기대하고 레듀서 제작은 헤라시보리 또는 시보리밴딩으로 가능하다. 물반이 위치 입수구는 소수력 발전기 상단에 위치시켜서 하수 방류 배관 사이에 연결이 용이하도록 하며 프로펠러 샤프트 지지방법으로 샤프트 지지방향은 상단에서 하단 수직 방향으로 하고 샤프트 조립공차는 하단부 발전기 연결부를 타이프하게, (0-0.02)상단부 프로펠러 연결부는 느슨하게 조립 공차의

관리 여유 확보(-0.03~0.04) 한다.

발전기 부착방법: 발전기 프로펠러 를 일체형으로 하고 탱크 내부에 존재 하도록하며, 씰링은 불필요함.

발전기 측면 부착형은 베벨기어를 사용하고 전력선처리 및 발전기 유지 보수를 용이하게 하여 발전기 하단함 적재형을 채택하여 탱크 내부 제작 범위에 대한 부담이 적고 작동 상황에 대한 관찰이 쉽도록 하였다.

방수대책으로는 슬러지가 하수 방류수 조건으로 고려 기구부 컨셉 종류로 내부 탱크 내 발전기 프로펠러 수납형 내부에 발전기 수납공간이 필요하고 수납공간에 맞닿는 면에 씰링(오링 삽입) 하단부가 개방되나, 베어링(SUS) 삽입이 되므로 내부 발전기까지 물이 들어가지 않을 것으로 판단된다.따로 발전기 측단에 씰링을 하지 않아도 되니, 동력전달 손실이 적은 장점이 있음

2.1.2 소수력발전기 기구부제작



Fig. 3. 3D printer processing.



Fig. 4. Split mold production.



Fig. 5. Propeller using SMC method.

2.1.3 발전기 해석

Table 1. Generator design specifications

사양	3kW 200rpm
정격출력[W]	3000
정격속도[rpm]	200
무부하 전압[Vac]	350

Table 1은 발전기 해석을 위한 설계 사양입니다.

최대자속밀도는 규소강판의 두께가 얇으면 자속의 포화가 발생하여 열이 발생하고 성능이 떨어지는 문제가 생기기 때문에 설계한 발전기의 자속밀도를 해석하여 자속의 포화를 확인.

무부하 B-EMF 해석은 설계한 자석, 코일 사양에 의해 계산된 전압을 해석 값과 비교 해석된 데이터를 기초로 설계된 코일 사양의 설계를 수정하였다.

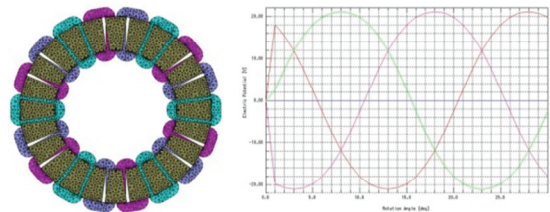


Fig. 6. Generator maximum magnetic flux density and B-EMF.

2.2 프로펠러 압축강도 시편테스트

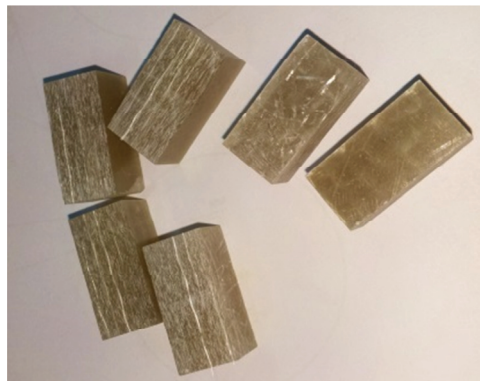


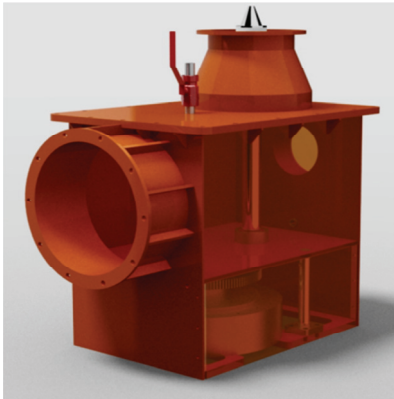
Fig. 7. Propeller specimen.

Table 2. Specimen tester result

시험항목	단위	시료구분	결과치	시험방법
압축강도	MPa	1	156	KS M 3015 : 2003(*)
압축강도	MPa	2	169	KS M 3015 : 2003(*)
압축강도	MPa	3	170	KS M 3015 : 2003(*)
압축강도	MPa	4	163	KS M 3015 : 2003(*)
압축강도	MPa	5	162	KS M 3015 : 2003(*)
평균값	MPa	·	164	KS M 3015 : 2003(*)

위의 결과로 소재의 적합성 검토를 하여보면 시편 테스트 평균 압축강도는 : $164\text{N/mm}^2=164,000,000\text{N/m}^2$ 이고 시편 두께(25mm) 대비 강도는: $6,560,000\text{N/m}^2$ 이다.

2.3 소수력 발전기의 최종 형태

**Fig. 8.** Developed 3kw small hydro power generator.

3. 결 론

문제시 되었던 금속 프로펠러의 부식방지에 대해 부식 방지와 더불어 탄성이 우수하고 표면의 경도 및 광택 유지가 좋은 복합 소재를 사용함으로써 신재생에너지 시스템에 접목 함으로써 적은 코킹 토크로 신재생에너지 시스템에 적합하고 풍력 및 소수력에 적합한 발전기 형태를 구현할 수 있으며 발전기 스테이터부 에폭시를 대체할 수 있으며 해상 또는 조류발전의 수차를 대체 가능한 소재로 사용할 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

1. S. H. Frederick and H. Capper, Materials for Marine Machinery, Marine Media Management, Ltd., 211-212, 1981.
2. G. N. Blount and R. D. James, Proc 9th Leeds-Lyon Symp. on Tribology 1982, IME, 29,7 1983.
3. C. C. Nathan, Corrosion Inhibitor, National Association of Corrosion Engineers, Houston Texas, 179-180,1981.
4. R. D. James and G. N. Blount, 2nd Int. Conf. on Cavitation, IME Paper C-216, 229,1983.
5. Annual Book of ASTM Standard, 03.02 Wear and Erosion : Metal Erosion, G32-85, ASTM, 115-119,1989.
6. BRENNEN, Christopher E. Cavitation and bubble dynamics. Cambridge University Press, 2013.
7. Singhal, Ashok K. et al. "Mathematical basis and validation of the full cavitation model." Transactions-American Society of Mechanical Engineers Journal of Fluids Engineering 124.3):617-624, 2002.
8. Ellabban, Omar, Haitham Abu-Rub, and Frede Blaabjerg. "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology." Renewable and Sustainable Energy Reviews 39: 748-764, 2014.

접수일: 2018년 3월 21일, 심사일: 2018년 3월 24일,
게재확정일: 2018년 3월 26일