

자가발전효율 향상을 위한 유수관내 블레이드 형상의 모델링 및 해석 Modeling of Blades to Enhance Self-Power Generation in Pipe Flow

여인환¹ · 김도윤¹ · 백종후² · 이영진² · 신민철³ · 박재우^{1*}

Yeo, In Hwan¹ · Kim, Do Yoon¹ · Paik, Jong Hoo² · Lee, Young Jin² · Shin, Min Chul³ · Park, Jae-Woo^{1*}

1 한양대학교, 2 한국세라믹기술원, 3 자인테크놀로지(주)

(접수 2010년4월19일 채택 2010년 5월13일)

Abstract

We examined the optimal shape of blades and efficiency of a self-power generator when the self-power generator using flow of the water in pipe as the power source was installed. Selected factors were the shape of blades, the number of blades, pitch angle, and the existence of separator. GAMBIT2.4 was used as a modeling program, FLUENT6.3, which is computational fluid dynamics simulation program, was used as an analytical model. In the case of a viscous model, k-epsilon standard model was chosen. As a result, when the number of blades was increased, the efficiency and maximum moment were enhanced slightly. The pitch of blades went up, and maximum moment was also increased. The optimal pitch of blade was 62.5 degree and the efficiency was increased by 30%. The efficiency was also increased when a separator was installed.

Key words : Blade, Pitch angle, Self power generation, Pipe flow

주제어 : 블레이드, 날개 각도, 자가발전, 관내유수

1. 서론

근래의 에너지 공급에 있어서 세계적인 추세는 에너지 비용의 절감(Dincer, 2000; Sinton at al., 2000; McDonald at al., 2002; Sodano at al., 2004), 환경이라는 두 가지 키워드로 축약할 수 있다. 이러한 추세에 맞추어, 전 세계적으로 많은 분야에서 풍력발전에 사용되는 블레이드나, 일반 모터에서 쓰이는 팬의 최적화를 통해 에너지 비용의 절감과 환경의 키워드에 발을 맞춰가고 있다. 이러한 블레이드 종류의 경우 형상에 따라서 최적화 정도가 결정되며, 현재까지 가이드 핀(박홍광 등, 2007), 풍력블레이드의 최적화(신형

기 등, 2007), 수직축 풍력터빈(김병국 등, 2007; Bell, 2007), 초음속터빈의 설계변수(신봉근 등, 2004; Xue at al., 2006), 블레이드의 팁 효과(Hong at al., 2006), 수평형 터빈(Cho at al., 1998; Kim at al., 1999), 엔진에 사용되는 블레이드의 형상의 최적화, 터빈의 최적화 등에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 지금까지 모든 가정마다 한 개 이상의 블레이드가 사용되는 유량계에 사용되어지는 블레이드의 경우, 최적화에 대한 연구가 매우 미흡하였다. 이러한 면에서 볼 때, 기존 계량기의 경우 블레이드의 최적화가 이루어져 있지 않음으로 인해, 저 유속에서 유체가 흘러 감에도 불구하고, 블레이드가 제대로 회전하지 않아 측정의

* E-mail: jaewoopark@hanyang.ac.kr(Park, J.)

정확성이 떨어진다. 또한, 고 유속에서는 블레이드의 회전으로 인하여 발생하는 축력을 활용하지 않음으로 에너지의 재활용면에서도 문제가 있다고 볼 수 있다. 따라서 계량기에 사용되는 블레이드를 최적화 하여 유량 측정의 정확도를 높이고, 관수로 내의 유체흐름을 이용한 소규모 발전장치를 개발한다면, 전 유속에서의 유량 측정의 정확도를 높일 수 있고, 에너지의 재활용이라는 측면에서도 친환경적인 전력 생산을 통해 세계적인 추세에 발맞춰 갈 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 본 연구에서는 시중에서 일반적인 기계식 계량기에 사용되는 블레이드 모델을 바탕으로 자가발전시스템을 구축하여 전력생산량을 측정하고, 설치된 자가발전장치의 블레이드의 날개 개수, 날개의 각도, 날개의 형상, 분리기의 유무에 따른 기존의 블레이드와의 효율변화, 유체흐름을 전산유체역학을 통해 비교하여 수격현상을 방지하면서도 효율적인 자가발전이 가능한 최적 블레이드 설계요소 도출을 수행하였다.

2. 블레이드 모델의 형상 및 해석방법

2.1 시스템 소개

2.1.1 블레이드

자가발전장치 내부에서 사용되는 블레이드의 경우 관로의 크기에 따른 직경과 날개 개수, 날개의 각도, 전체적인 형상에 따라서 그 구체적인 치수가 결정되게 된다. 블레이드 모형의 재질은 관수로 내의 작은 유속에도 작동할 수 있을 정도로 가볍고, 내구성이 좋고, 물에 의한 화학적 침식과 같은 반응에 대한 영향을 받지 않는 Polyethylene(PE)을 이용

하였다. 수차의 직경은 88mm 이고, 수차 날개의 유효길이는 26mm이었다. Fig. 1(a)는 기존에 사용된 유량계를 이용한 블레이드 전력발생량 측정 시험을 위하여 제작 설치된 수차 모형을 보여준다.

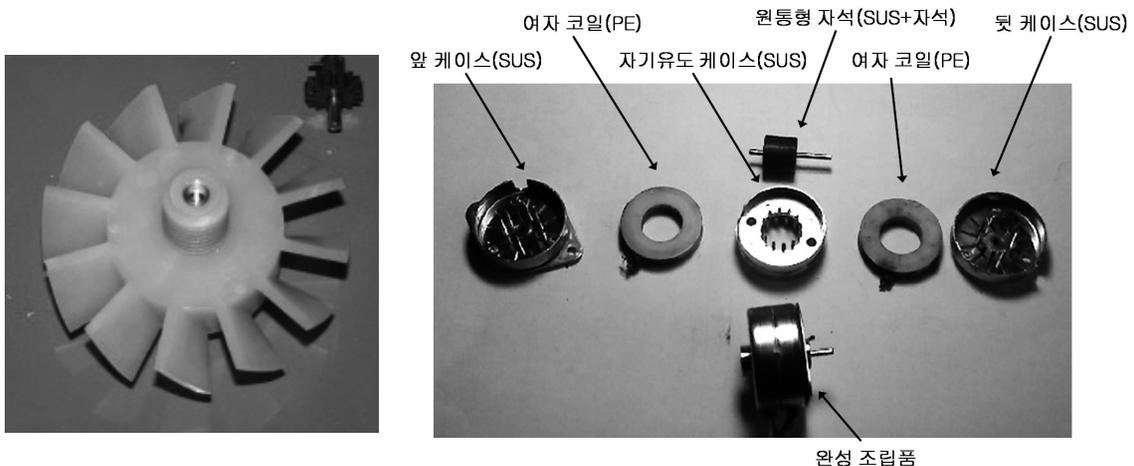
2.1.2 발전기

발전기는 유체가 블레이드를 통과하면서 발생하는 모멘트로 변환된 구동력을 전력으로 변환시켜주는 구성요소이다. 본 연구에 사용된 소형발전기는 일본의 Nippon사에서 제조되었으며, PE24KE 개량형 모델이다. 본 연구에서 사용될 소형 발전기는 저유속에서 발전되는 전력량을 최대한 이용할 수 있고, 동시에 관내의 수압을 견뎌내어 작동할 수 있는 방수성도 필요하였다. 모델은 이러한 목적에 부합하는 것을 선정하였으며, Fig. 1(b)는 이 발전기의 구성요소들이 조립된 완성품이다. 이 소형발전기는 전원부 브리지 다이오드 정파전류 타입으로서 원통자석이 돌면서 여자코일에 발전하는 방식이다. 여자코일의 경우 코일만을 연결하여 외부로 도출시켰으며, 실리콘 코팅을 함으로써 방수처리를 하였다.

2.2 모델의 형상 작업

2.2.1 날개의 각도 및 형상

날개의 각도는 Fig. 2과 같이 유체의 주 흐름방향에 수직인 음의 Y축에 대한 날개의 기울어진 정도를 각도로 지정하였고, 날개의 각도는 45도에서부터 70도까지 5도에서 2.5도의 변화를 주어가면서 모델링을 수행하였다. 초기각도인 45도는 현재 사용되는 기계식 유량계의 설계 각도를 고려하여 설정하였고, 최종 날개 각도의 경우 과도한 날개각도의



(a) Blade

(b) Self-generator

Fig. 1. Units of Self-generator

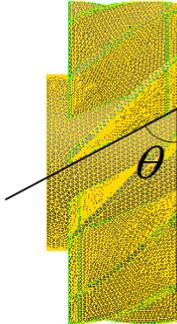
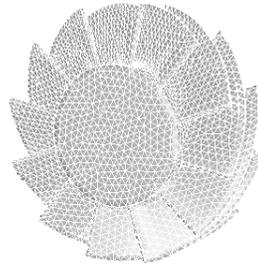
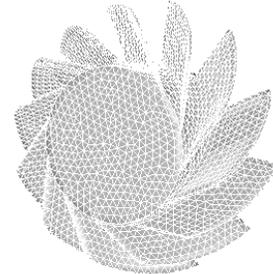


Fig. 2. Pitch of Blade



(a) Case 1



(b) Case 2

Fig. 3. Shapes of Blades

증가시 유체흐름에 지나친 방해가 될 수 있고, 수격현상이 발생할 가능성이 커 해석의 필요성이 떨어지기 때문에 70도 까지만 각도를 증가시켜가면서 모델링을 진행 하였다. 최적 각도로 예상되는 60도를 전후로 하여 55도에서 65도까지 2.5씩 각도의 변화 폭을 줄여가면서 모델링을 진행하였다.

날개의 형상은, 날개의 표면적에 차이에 따른 모멘트의 변화 정도를 알아보기 위해 Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)의 형태로 나누어 모델링 하였다. Case 1의 경우 날개가 축에서 멀어짐에 따라 부채꼴의 형태를 띄도록 설계하여 모든 날개의 중심각이 동일하도록 설계하였다. Case 2의 경우 축의 모터면에 설계한 날개의 형상이 축에서 멀어져도 그대로 유지되도록 하여 날개의 시작부와 끝 부분이 같은 단면적으로 가지도록 설계하였고, 이 형상은 실제 실험에서 사용된 블레이드의 형상과 동일하다.

2.2.2 날개의 개수 및 Separator

해석을 위해 날개의 개수는 10개, 12개, 15개까지 변화시키면서 모델링을 하였고, 개수를 10개, 12개, 15개로 가정하고 모델링을 진행한 이유는 현재 일반적인 기계식 유량계에서 사용되는 날개의 개수가 12개이고, 날개의 개수가 너무 많아지게 될 경우 블레이드의 생산에 있어 경제성이 현저하게 감소하기 때문에, 최대치를 15개로 모델링하고, 최소 날개 개수를 10개로 모델링하여 날개 개수에 따른 경향성을 살펴보고자 하였다.

자가발전장치 내부에 separator의 여부에 따른 모터효율을 알기위해서 추가적으로 separator의 존재 여부에 따른 해석을 진행하였다. 추가적으로 초음파유량계의 뒤편에 자가발전장치가 설치되었을 때, 자가발전장치로 인한 유체의 흐름변화가 초음파 유량계에 나타나지 않는 범위를 알아보았다. 모델링의 Mesh 작업은 Tet/Hybrid mesh를 적용하

였으며, face의 경우 2mm 간격으로 Interior의 경우 5mm 간격으로 mesh작업을 수행 하였다.

2.3 블레이드 모델의 해석방법

2.3.1 Solver

본 연구에서는 전산유체해석(CFD)전용 Solver인 fluent X를 이용하여 해석을 하였다. CFD에서는 여러 가지 Solver를 경우에 따라 선택적으로 이용하여 해석을 하게 된다. 본 연구에서는 Solver로 Energy equation과 Pressure Based Solver를 사용하여 해석을 진행하였고, Viscous Model의 경우 standard k-epsilon 모델을 채택하였다. 식 (1)과 식 (2)를 이용해 해석이 되는 standard k-epsilon 모델의 경우 turbulent모델을 해석하는 가장 대표적인 모델일 뿐만 아니라, turbulent kinetic energy의 정도를 알 수 있는 k값과 turbulent의 크기정도를 예측할 수 있는 ε (epsilon) 값을 동시에 해석 수 있어, 유체의 흐름에 있어서 자가발전장치의 설치로 인해 나타날 수 있는 수격현상과 간섭효과로 인한 에너지의 손실정도를 예측 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P_k + P_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (P_k + C_{3\epsilon} P_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (2)$$

2.3.2 Analysis condition

경계조건의 경우 유체가 관로 내에 흘러들어오는 면을 Velocity_inlet으로 설정하였고, 유체의 출구평면의 경우

Pressure_outlet으로 설정하였다. 두 면은 동일하게 Turbulence Method로 Intensity and Hydraulic Diameter Method를 사용하였으며, Turbulent Intensity는 5%, Hydraulic Diameter는 관로의 유변을 고려하여 0.4m로 설정하였다. Velocity_inlet에서의 유속입력 값은 0.3m/s부터 13m/s에 이르기까지 다양한 유속에 대해 해석을 진행하였다. 특히 대부분 상수도관 내에서 유속의 흐름은 0.3m/s에서 1m/s의 범위 안에 분포하기 때문에 0.3m/s에서 1.1m/s까지 5개의 유속을 샘플로 하여 이에 대한 해석을 진행하였고, 이어서 1.5m/s에서 13m/s까지 마찬가지로 5개의 유속에 대한 해석을 진행하였다.

3. 기존 블레이드를 이용한 전력측정

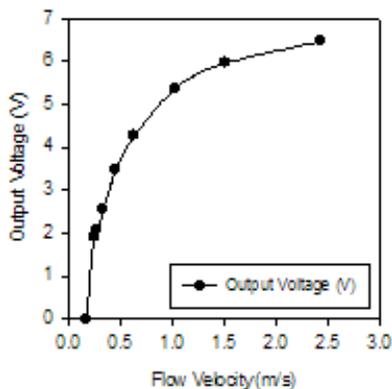
3.1 측정기기

3.1.1 유량

FLUENT의 경우 입력 값에서 유속을 변화시켜 간단하게 유량을 조절할 수 있지만, 실제 수리 실험에서 유량의 변화마다 그 값을 정확하게 측정해야 하기 때문에, 유량은 자인 테크놀로지(주)에서 제작한 초음파유량계를 사용하여 측정



Fig. 4. Ultrasonic Water Meter attached on Pipes



(a) Voltage

하였다. Fig. 4은 실험에 사용한 외벽 부착식 초음파 유량계이다.

3.1.2 전력발생량

기존의 기계식 유량계에 일반적으로 사용되는 블레이드를 바탕으로 자가발전을 진행하였을 때, 얼마나 큰 전력량이 발생하는지 측정해보기 위해서, 건식실험에서는 오실로스코프를 이용하였으며, 수리실험에서는 멀티미터를 이용하여 전력발생량을 측정하였다.

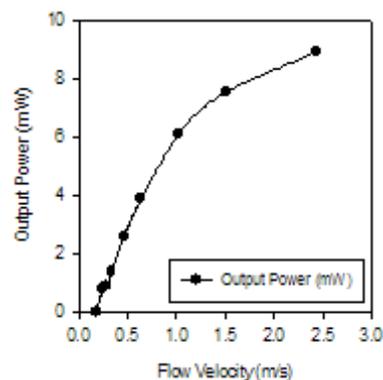
3.2 실험방법

수리 실험을 수행하기 전에 건식 실험을 통하여 발전기의 회전수에 따른 전력발생량을 측정하였다. 스텝핑 모터를 이용하여 일정한 주파수를 인가하여 속도를 일정하게 변화시켜 회전시키는 방식으로 하여 운영하고, 이를 정류하여, 오실로스코프로 출력되는 결과 값을 정리하였으며, 그 결과 데이터는 National Instrument 사의 LabVIEW 프로그램을 이용하여 회전수에 따른 전력발생량을 디지털 방식으로 입력받았다. 본 실험 설비를 통해 유량을 임의로 변화시켜 유량계의 계측 값을 초음파 유량계를 통해 알아내고, 그에 따른 자가발전장치의 전력 발생량은 멀티미터를 통해 산출해 내었다.

4. 결과 및 분석

4.1 기존블레이드를 이용한 전력량 측정

기존의 기계식 유량계에서 일반적으로 사용된 블레이드 형상을 이용하여 실험을 진행한 결과 주요 유속에서 Fig. 5과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 위 결과를 바탕으로 하여, 기존 블레이드 형상과 동일한 모델을 GAMBIT으로 비교한



(b) Power

Fig. 5. Results of Hydraulic Experiment of Output Data

후, FLUENT를 통해 해석하였을 때, 나타나는 값들을 최적화된 모델과 비교한다면 최적모델의 전력을 예측할 수 있다.

4.2 날개각도에 의한 영향

Fig. 6는 상수관내를 흐르는 유체의 유속범위인 0.3m/s부터 13m/s에 이르기 까지 각도변화에 따른 모멘트 변화추이를 나타낸 그래프이다. 그래프를 보면 하나의 고정된 유속에 대해서 각도가 증가함에 따라서 그 증가 폭에는 차이가 있지만, 대체로 모멘트가 증가하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 또한 전 유속범위에 대해서 각 각도별 증가되는 추이를 살펴보았을 때에도 모멘트의 차이가 각도의 증가에 따라서 같은 경향성을 나타내는 것을 알 수 있다. 그러므로 모멘트만을 고려하였을 때에는 각도가 증가할수록 모멘트 값도 증가하는 것을 예상할 수 있다. 그러나 그래프 값 중 62.5도에 해당하는 값과 65도에 해당하는 값을 살펴보게 되면 각도가 증가함에 따라서 모멘트 값의 차이가 거의 발생하지 않는

다는 것을 알 수 있다. 또한, 해석결과를 살펴볼 때, 모멘트 이외에 수격현상과 같은 난류의 발생여부를 고려하지 않을 수 없다.

Fig. 7(a)는 유체가 1회부터 반복적으로 흘러감(Iteration)에 따라 해석되어진 날개표면에 작용하는 압력의 평균값을 나타낸 그래프이다. 그래프를 보면 Iteration이 10회 이상 진행된 후에도 유체가 흘러감에 따라서 값이 안정화 되지 못하고, 면에 순간적으로 높은 압력을 주는 것을 알 수 있다. 이는 곧 관로가 안정화 되지 못하고 계속적으로 난류가 발생한다는 것을 의미하고, 다른 의미로 날개표면이나 관로 내에서 수격현상이 발생한다는 것을 의미한다. Fig. 7(b)는 Iteration이 진행됨에 따라 나타나는 ϵ 값을 그래프로 표시한 모습이다. 그래프를 참조하면, 최초로 유체가 흘러갈 때, 수격현상이 발생하고 이에 따라서 ϵ 값이 높게 치솟는 것을 확인할 수 있다. 이러한 수격현상이 발생하는 범

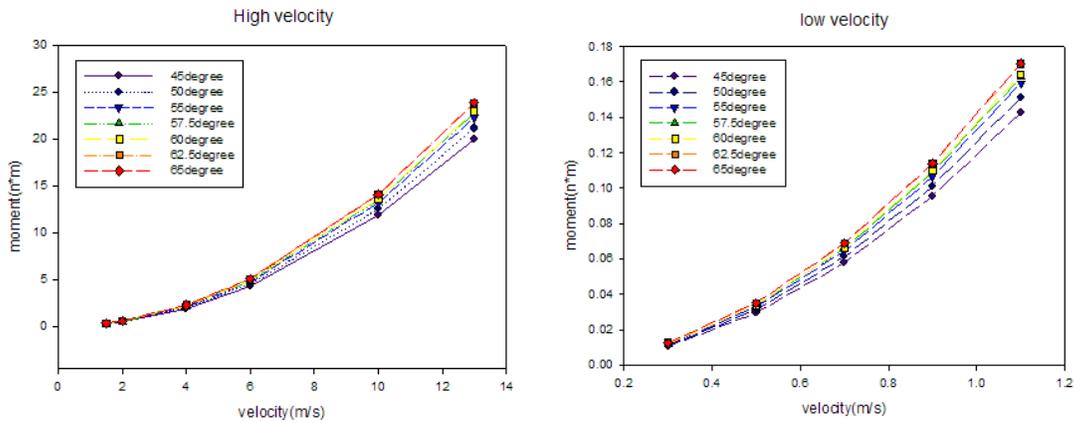
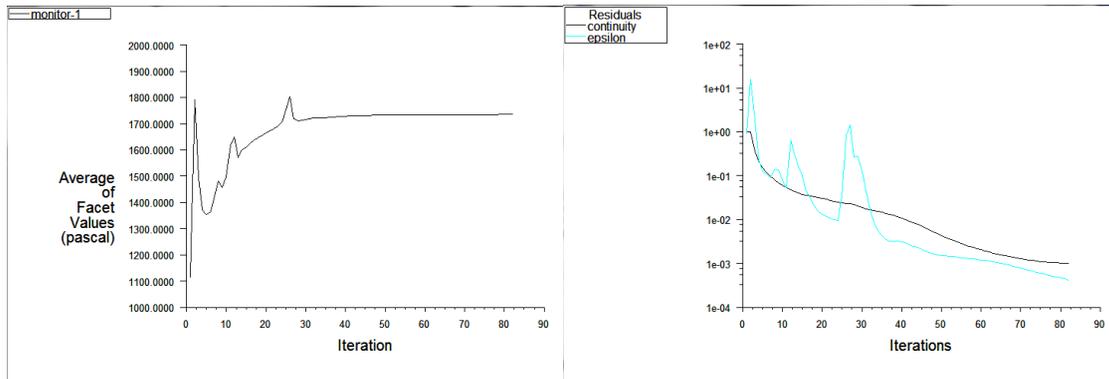


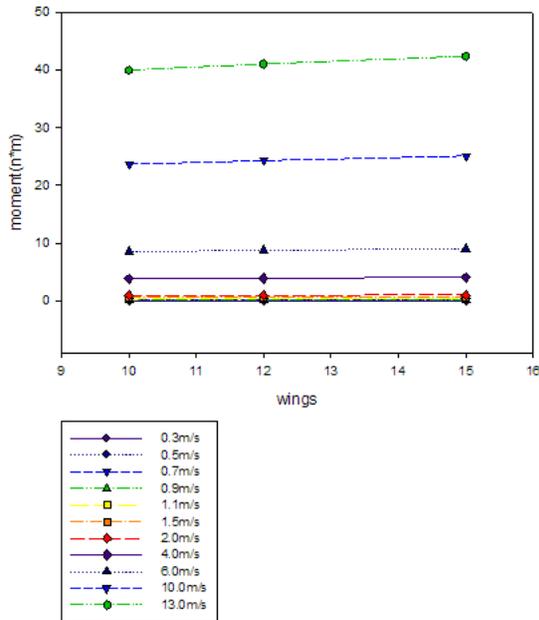
Fig. 6. Results of Moment by changed Pitch Angle



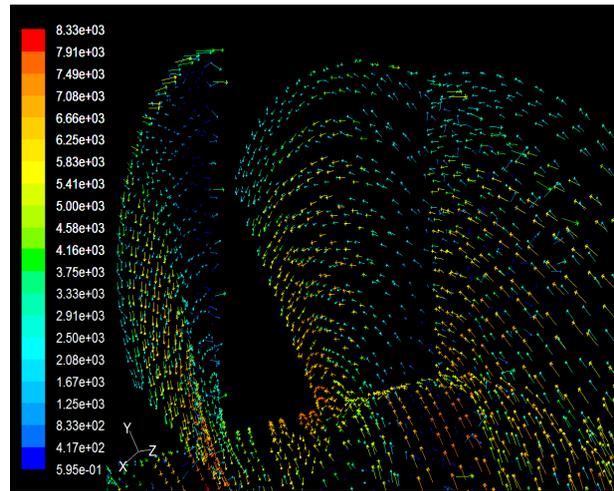
(a) Average of Facet Pascal at Blade

(b) Epsilon Values

Fig. 7. Hammer Effect at 65degree



(a) Moment



(b) Velocity Vectors at Blades

Fig. 8. Results by the Number of Blades

위는 모든 해석의 결과에 있어서 Iteration값이 10회 미만일 때 발생한 사실을 알 수 있었다. 일반적인 해석의 경우에 있어서 이러한 최초의 수격현상이 발생한 후에 Iteration이 진행됨에 따라서 흐름은 다시 안정화되기 시작하고, ϵ 값 역시 점점 작아지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 일반적인 지 않은 수격현상이 발생할 경우 이를 식 (3)과 같이 수식화할 수 있다. 위의 수식을 이용하여 해석을 진행하였을 때, 식을 만족하는 Iteration 구간은 정확하게 Fig. 7(b)에서 나타나는 수격현상의 구간과 일치함을 보였다.

$$\epsilon_x - \epsilon_{x+1} < 0, (x > 10) \quad (3)$$

단순히 그래프상의 경향성을 본다면 각도가 커짐에 따라서 모멘트가 증가함으로 큰 각도를 갖는 블레이드는 자가발전 전에 더욱 유리할 것으로 판단되었으나, 실제로 62.5도를 초과하는 각도에서는 Fig. 7와 같은 수격현상이 발생함으로 자가발전에 가장 적합한 블레이드의 각도는 62.5도로 예상할 수 있다.

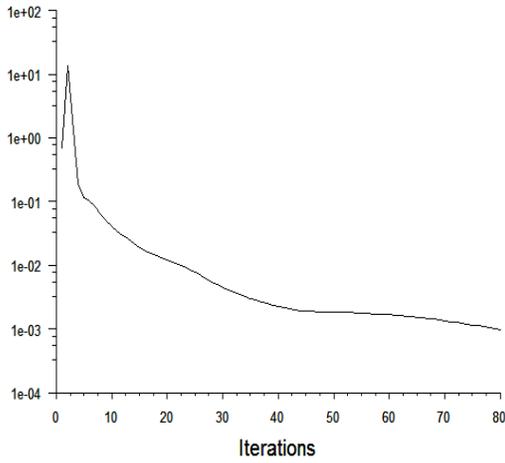
4.3 날개개수에 의한 영향

Fig. 8(a)는 날개 개수의 변화에 따른 모멘트의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 날개의 개수가 증가함에 따라서 모멘트가 매우 미세하게 증가하지만, 그

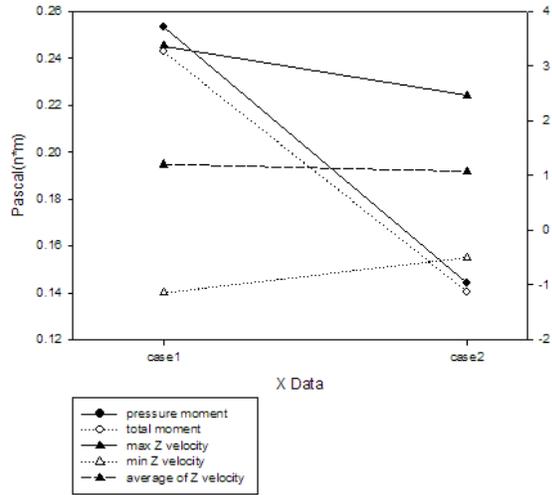
차이가 거의 없음을 알 수 있었고, 이러한 경향이 유속분포에 상관없이 동일하게 나타났다. Fig. 8(b)는 날개 표면에서 나타나는 유속벡터를 표시한 그림이다. 수격이 발생하게 될 경우에는 유속의 방향이 일정하게 나타나지 않고, 날개표면에서 와류를 형성하거나 방향성이 없이 사방으로 퍼져나가는 모습을 보인다. 날개 개수가 증가함에 따라서 날개표면에서 위와 같은 현상은 발생 하지 않았고, 날개의 개수가 달라져도 표면벡터의 분포는 고르고 일정한 방향성을 띄는 것으로 나타났다. 그러므로 날개의 개수는 많을수록 모터의 효율이 높아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 날개의 각도를 변화시키거나 형상을 변형시키는 것에 비해서 날개의 개수가 증가할 경우 사출성형비용이 매우 증가하기 때문에, 경제적인 측면을 함께 고려한다면 날개의 개수는 추후 연구로써 논의 되어야 할 것으로 보인다.

4.4 날개형상에 의한 영향

Fig. 9(a)는 Iteration에 따른 ϵ 값의 변화추이를 나타낸 그래프이다. 해석의 결과 흐름의 난류발생여부를 살펴보면, Iteration이 진행됨에 따라 초기 유체가 흘러갈 때에 자연적으로 발생하는 수격현상을 제외하고 ϵ 값이 계속적으로 감소하여 흐름이 점차 안정화 되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 추세는 형상의 변화에 관계없이 나타나기 때문에 형상의 변화로 인해서 유체의 흐름이 크게 방해 받지 않는다는

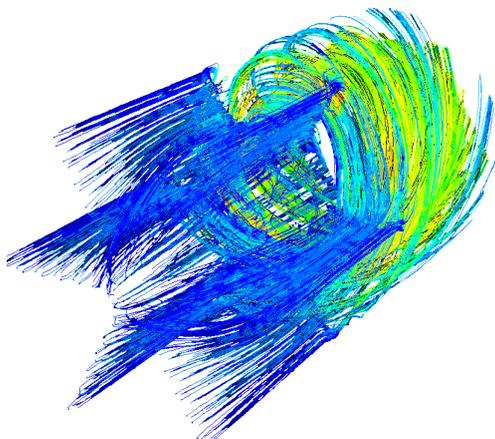


(a) Epsilon Values

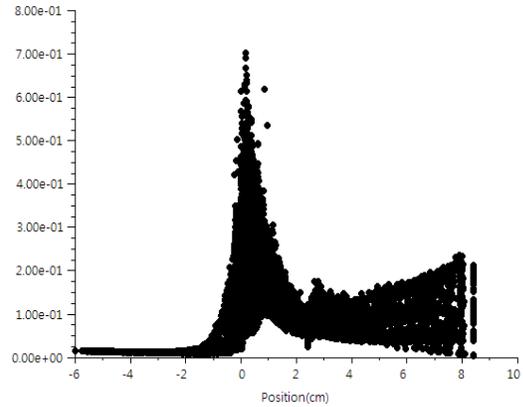


(b) Moment and Velocity

Fig. 9. Results by the Shape of Blades



(a) Pathlines



(b) k values

Fig. 10. Interference effect by a Separator

것을 알 수 있다. Fig. 9(b)는 형상이 바뀌었을 때 블레이드에 작용하는 모멘트값과 블레이드 근처를 지나가는 유체의 Z축방향의 평균유속 및 최대, 최저 유속을 비교한 그래프이다. 모멘트의 경우에는 형상이 변화함에 따라서 Case 1에서 확연하게 증가하는 것을 알 수 있다. 유속의 경우, 최대유속과 최저유속은 더 높거나 더 낮게 나타났으나, 평균유속은 거의 차이를 보이지 않는 것을 확인 할 수 있다. 따라서 기존의 Case 2와 같은 레이드 형태에서 Case 1의 형태로 형상을 변화 시켰을 때에 유체의 흐름은 크게 방해하지 않으면서 더욱 높은 효율을 나타낼 것으로 보인다.

4.5 Separator 유무 및 간섭효과

Fig. 10(a)는 Separator 가 설치되었을 때 블레이드와 Separator를 흘러가는 유체의 Pathline을 나타낸 모습이다. 위와 같이 Separator를 지나갈 때 유체의 흐름이 변화하게 되고, 이에 블레이드에 가해지는 모멘트가 변화하거나 블레이드만 위치할 때 블레이드 앞쪽에서 발생하는 유체의 변화로 인해 초음파 유량계에 나타나는 간섭의 영향범위가 바뀔 수 있다. Z축 (유체의 흐름 방향)의 Turbulent Kinetic Energy 발생여부를 관찰한 결과, Separator의 존재유무에 관계없이 블레이드의 앞쪽에서 간섭이 발생하였음을 확인할 수 있었다. Fig. 10(b)는 유체가 Z축 방향으로 흘러갈

때 블레이드와 Separator에서 해석된 k 값들을 그래프로 나타낸 모습이다. 그래프를 살펴보면, Separator와 유체가 만나기 시작하는 위치인 0cm 앞 쪽에서도 k 값이 미세하게 증가함을 알 수 있다. Separator가 존재하지 않을 때에도 마찬가지로 팬 앞 측에서 k 값이 증가하는데, Separator가 존재할 때 간섭의 영향이 60%가량 줄어드는 것을 알 수 있었다. Separator가 없을 시에는, 축류형 팬의 도입부를 기준으로 4 cm 앞쪽까지 간섭이 발생하였으나 Separator가 존재할 때에는 이러한 간섭이 1.6 cm로 줄어들었음을 확인하였다. 또한, Separator가 존재할 때에도 ε 값의 변화가 나타나지 않았고, 블레이드에 전달되는 모멘트 역시 증가함을 알 수 있었다. 그 이유는, 유체가 블레이드와 바로 충돌하게 되었을 경우에는 블레이드의 축평면에 90도로 충돌하게 되어 에너지 손실과 난류가 더 크게 발생하지만, Separator의 곡면을 따라서 유체가 서서히 분리되고 난후에, 블레이드와 만나게 되면 관로를 지나가는 모든 유체가 블레이드에 직접적으로 충돌되기 때문에 상대적으로 더 높은 효율은 가지는 것으로 예상된다.

5. 결론

기존에 사용되었던 블레이드의 형상과 실험결과를 바탕으로, 블레이드의 각도, 날개의 개수, 형상이 회전모멘트와 유체흐름에 미치는 영향과 Separator에 의한 간섭영향을 조사하였다. 회전모멘트변화 및 ε , k 값 등의 변화 평가를 통해 최적의 블레이드 형상을 제시하고자 하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 블레이드 각도 및 날개의 개수가 증가함에 따라 총모멘트가 증가한다.
- 2) 65도 이상에서 수직현상이 발생하는 역효과가 나타나기 때문에 블레이드의 각도를 계속 증가 시킬 수 없다.
- 3) 62.5도가 모멘트가 최대로 발생하며, 수격이 나타나지 않는 최적각도로 예상되며, Separator가 존재할 때 더 높은 효율을 보이고, 간섭효과가 감소됨을 알 수 있었다.
- 4) 형상에 따른 변화의 경우 날개마다 날개의 중심부부터 끝부분까지 일정한 중심각을 갖고 부채꼴 모양으로 확장될 때의 경우가 기존 형상에 비해 높은 모멘트가 발생한 것을 알 수 있었다.

결과적으로, 날개 개수는 기존의 것과 같이 12개, 날개의 각도는 62.5도 Separator를 설치한 상태로 형상을 부채꼴 모양으로 하여 날개의 최종 모멘트를 기존의 것과 비교하면, 1.1 m/s에서 0.11N·m에서 0.24N·m로 증가하였고,

0.3m/s에서 13m/s의 전 유속범위에서 약 208%의 모멘트 증가가 나타났음을 확인하였다. 이를 기존의 전력발생량과 비교 해보면 최적화된 블레이드 형상을 이용해 자가 발전을 하였을 때, 가장 저 유속인 0.3m/s에서도 3mA가 넘는 전력을 생산할 수 있는 것을 예측 할 수 있다. 따라서, 최적형상의 블레이드를 자가발전장치에 사용할 경우에 상수도관 내에서 흐르는 전 유속에서 전력생산이 이루어 질 수 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업 기술기반 구축사업 (GR070026) 정규과제의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Dincer, I(2000) Renewable energy and sustainable development: a crucial review, *Renewable and Sustainable Energy Review*, Vol. 4, pp. 157-175.
- Sinton, J.E. and Fridley, D.G(2000) What goes up: Recent trends in Chinas Energy Consumption, *Energy Policy*, Vol. 28, pp. 671-687.
- McDonald, C.F. and Rodgers, C(2002) The Ubiquitous Personal Turbine -A Power Vision for the 21st Century, *Journal of Engineering for Gas Turbine and Power*, Vol. 124, pp. 835-844.
- Sodano, H. A., Inman, D. J. and Park, G(2004) A Review of Power Harvesting from Vibration using Piezoelectric Materials, *The Shock and Vibration Digest*, Vol. 36, No. 3, pp. 197-205.
- 박홍광, 이지근, 노병준(2007) 환기용 축류팬의 가이드핀 블레이드 형상변화에 따른 유동특성에 관한 연구. **설비공학논문집**, 제19권, 제12호, pp.874-882.
- 신형기, 방형준, 김석우(2007) 블레이드 공력 설계를 위한 설계 변수 특성에 대한 연구 블레이드 공력 설계를 위한 설계 변수 특성에 대한 연구. **한국신재생에너지학회 추계학술대회 논문집**, pp.361-365.
- 김병국, 김영호, 송우석, 이승배, 남상규, 김사만(2007) 수직축 풍력터빈 성능개선에 관한 실험적 연구. **유체기계저널**, 제10권, 제5호, pp. 17-24.
- Bell B(2007) A Technical Opinion on A Novel Vertical-Axis

- Wind Turbine Concept. *Garrad-Hassan Report*.
- 신봉근, 정수인, 김귀순, 이은석(2004) 층동형 초음속 터빈 익렬의 설계 변수에 따른 익렬내 유동 특성에 관한 수치적 연구, **한국 추진공학회지**, 제8권, 제2호, pp.62-72.
- Xue, S., Docker, B. and Narramore, J(2006) Integrated Aero-Acoustics Rotor Simulation and Design Optimization, *12th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*, Cambridge, Massachusetts, May 8-10
- Hong, S. S., Kim, J. S., Choi, C. H., and Kim, J(2006) Effect of Tip Clearance on the Cavitation Performance of a Turbopump Inducer. *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 22, No. 1, pp. 174-179.
- Cho, S. S., Choi, J. H. and Kim, K. Y(1998) Flow analysis and design optimization of an axial-flow fan, Proceedings, *SAREK Winter Annual Meeting*, pp.135-140.
- Kim, C.S., Shin, Y.H., Kim, K.H. and Chung, J. T(1999) Experimental study on effects of stagger angle on performance and flow characteristics of axial fan, Proceedings, *SAREK Summer Annual Meeting*, pp.453-457.