

EV용 워터펌프의 축 추력 저감 설계를 위한 해석적 연구

이 준 용¹⁾ · 허 형 석^{*1)} · 신 오 상²⁾ · 심 정 민²⁾

한국자동차연구원¹⁾ · 한온시스템이에프피코리아(주)²⁾

Numerical Study for Axial Thrust Reduction Design of Water Pump for EV

Junyong Lee¹⁾ · Hyungseok Heo^{*1)} · Osang Shin²⁾ · Jeongmin Shim²⁾

Korea Automotive Technology Institute, 303 Pungse-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31214, Korea¹⁾

Hanon Systems EFP Korea Inc., 20, Asan Valley Seo-Ro, Doonpo-Myeon, Asan, Chung-nam 31406, Korea²⁾

Key words : Electric vehicle(전기차), Water pump(워터펌프), Axial force(축 추력), Balance hole(밸런스 홀), Computational fluid dynamics(전산유체역학)

* 허형석, E-mail: hsheo@katech.re.kr

최근의 자동차용 워터펌프는 전기차 냉각 회로의 요구 조건에 따라 소형화 되었으며 효율을 높이기 위한 밀폐형 임펠러를 적용하고 있다. 밀폐형 임펠러는 블레이드 상부 팁에서의 유동 손실을 감소시키기 위해 덮개 형태의 구조물(shroud)이 추가된 형태이며 개방형에 비해 압력 성능과 효율이 높은 장점이 있다. 그러나 전기차 열관리 시스템이 복잡해지면서 고양정이 요구되고, 압력 성능을 향상시키기 위해 임펠러의 직경과 펌프 회전수를 높게 설계하면서 축 추력이 증가하게 되었다. 임펠러의 회전 운동에 따라 유체의 속도와 압력이 상승하고 허브의 바닥면과 슈라우드 상부의 압력차로 이어지면서 임펠러를 펌프 입구 방향으로 밀어내어 축 추력이 발생하게 된다.

축 추력이 과도하게 증가하면 임펠러와 하우징의 사이의 공간(clearance)이 좁아져 간섭이 발생하고, 이는 기계적 마찰로 인한 작동 소음의 원인이 된다. 이러한 악영향을 해소하기 위한 방안으로 임펠러 허브에 밸런스 홀(balance hole)을 가공하는 방법이 있다. 허브의 바닥면과 블레이드 사이에 유동 공간이 생기면서 임펠러 하부 압력이 높게 형성되지 않아 결과적으로 축 추력이 감소되는 효과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CFD 전산유체해석을 통해 밸런스 홀의 유무와 홀의 크기에 따른 축 추력을 정량적으로 비교하였으며, 펌프의 압력 성능과 토크의 해석 데이터를 통해 펌프 효율에 미치는 영향도를 분석하였다.

밸런스 홀의 영향도 분석을 위한 해석 모델의 설계 유량은 25 L/min이고, 이때의 요구 입·출구 압력차는 0.8 bar이다. 펌프의 회전 속도는 5,000 rpm 조건이며, 작동 유체는 물과 에틸렌글리콜이 5:5의 비율로 혼합된 냉각수로 작동 온도는 65℃이다. 밸런스 홀은 블레이드와 블레이드 사이의 허브에 120°간격으로 3개가 구성되었으며, 홀이 없는 모델과 홀 직경 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mm 모델 총 4개 모델에 대해서 비교 분석 하였다.

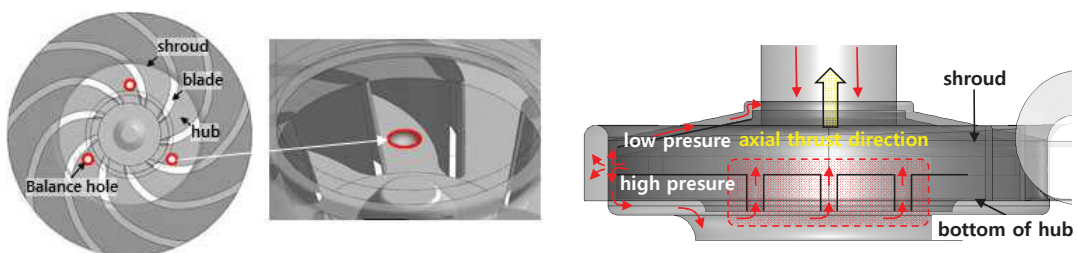


Fig. 1 3D Model of closed type water pump

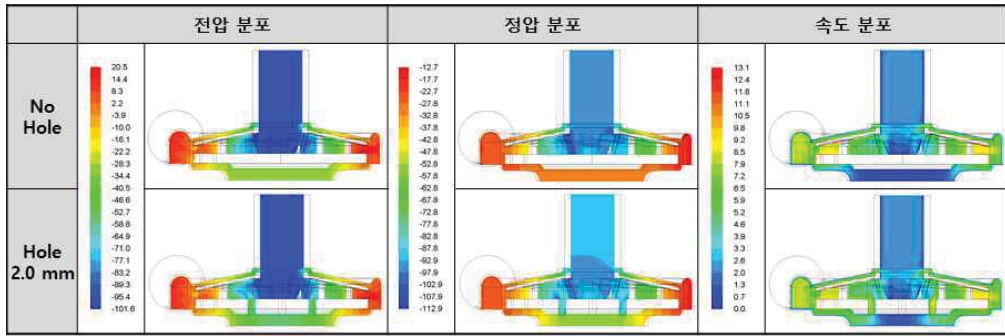


Fig. 2 Numerical analysis result (Total pressure / Static pressure / Velocity distribution)

밸런스 홀 영향도 해석 결과 Fig. 3의 그래프와 같이 축 추력이 가장 낮게 나타난 밸런스 홀 직경 2.0 mm 모델의 축 추력은 50.5 N으로, 밸런스 홀이 적용되지 않은 모델의 축 추력 57.4 N에 비해 12.0 %나 감소하였다. 반면, 압력 성능은 홀이 없는 모델의 압력 성능 0.938 bar에서 1.3% 감소한 0.926 bar로 나타났다. 홀 직경 2.0 mm 모델의 수력 토크는 0.124 N·m로 홀이 없는 모델의 수력 토크 0.119 N·m에서 4.1% 상승한 결과를 보였다. 결과적으로 밸런스 홀을 추가 할 경우 압력 성능은 저하되면서 토크는 증가하여 펌프 효율은 홀이 없는 모델 63.0%에서 홀 직경 2.0 mm 모델 59.7%로 3.3%p 감소하였다. 밸런스 홀을 통해 임펠러 내부로 되돌아오는 유량은 홀의 직경이 커질수록 증가하며, 홀 직경 2.0 mm 모델의 경우 워터펌프 입구로 유입되는 전체 유량 25 L/min의 12.4%인 3.09 L/min의 누설 유량이 발생하였다.

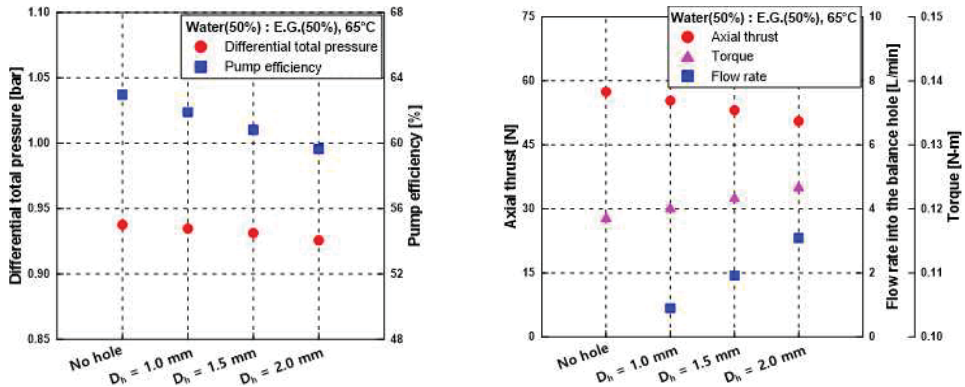


Fig. 3 Numerical analysis result of influence of balance hole

밸런스 홀이 축 추력과 펌프 효율에 미치는 영향도를 분석하기 위해 펌프 효율 감소율에 대한 축 추력 감소율의 관계를 Severity Factor(σ)로 나타내었으며 식은 다음과 같다.

$$\sigma = \left(1 - \frac{\eta_{nohole} - \eta}{\Delta\eta_{max}} \right) \times \frac{F_{a, nohole} - F_a}{\Delta F_{a, max}} \quad (1)$$

Severity Factor가 클수록 홀이 없는 모델에 비해 효율의 감소율 보다 축 추력 감소율이 크다는 의미를 나타내며, 홀 직경 1.0 mm 모델은 0.034, 1.5 mm 모델은 0.072, 2.0 mm 모델은 0.114로 계산된다. 따라서 해석 결과에서는 밸런스 홀의 직경이 클수록 펌프 효율 감소율에 비해 축 추력의 감소 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

본 연구는 산업통상자원부의 지원으로 수행한 우수기업연구소육성(ATC+)사업(과제번호: 20014028)의 일환으로 진행되었으며 연구를 지원하여 주신 관계 기관에 감사드립니다.