

펌프 및 수차 분야 연구동향

이종철*

1. 서 론

2011년도 국내에 발표된 펌프 및 수차 분야의 주요 연구동향을 유체기계공업학회(KFMA) 유체기계저널 및 유체기계연구개발 발표회 논문집, 대한기계학회(KSME) 대한기계학회논문집 및 춘·추계학술대회 논문집에 발표된 논문을 요약하여 소개하고자 한다.

2. 펌프 분야

연구대상으로 채택된 펌프에 대한 2011년도 연구실적은 논문집 게재 11편(유체기계저널 8편, 대한기계학회논문집 3편) 및 학술대회 발표논문 10편(유체기계 연구개발 발표회 7편, 대한기계학회 춘·추계학술대회 논문집 3편) 등 총 21편이다. 논문집에 게재된 11편의 논문을 요약·정리하면 아래와 같으며, 학술대회에 발표된 논문들은 Table 1에 나타내었다.

이계복⁽¹⁾ 등은 극저비속도($N_s=76.2$)의 양방향 원심펌프에 대해 FLUENT를 이용한 수치해석을 통한 임펠러의 형상(갯수, 길이, 높이)과 회전수(rpm) 등의 관련 인자가 펌프 성능에 미치는 영향을 고찰하였다. 임펠러 회전수 증가에 따라 양정이 상승하며, 임펠러 반경방향 길이비가 높이방향 길이비보다 펌프 유량계수에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

윤의수⁽²⁾ 등은 발전용·석유화학용 플랜트에서 냉각수 순환에 사용될 수 있는 순환펌프(semi-axial형)를 개발하기 위하여 수력설계 과정을 일관되게 수행할 수 있는 적합한 설계기법을 확립하였으며, 요구사양의 만족여부를 신속하고 용이하게 판단할 수 있도록 보다 정확한 성능해석기법을 적용하였다. 또한 펌프 설계 후 전산유동해석(ANSYS CFX)을 통해 펌프의 성능저하요인을 탐지하고 성능을 예측하였다. 성능요구조건의 충족여부를 확인하기 위하여 공장시험, 성능평가시험 및 설계평가시험을 수행하였으며, 개발펌프의 신뢰성(구조건전성, 작동신뢰성, 내구성)도 검증하였다.

유일수^(3,4) 등은 원자로 냉각재를 순환시키는 역할을 하는 원자로 냉각재 펌프(사류형)를 설계하는 데 있어 양정 곡선의 기울기를 고려한 기초 설계 방법을 제시하고, 이를 토대

로 상세 설계 및 CFD 해석(ANSYS CFX)을 수행하여 축소 제작된 28% 모형으로 시험한 결과(IEC 규격에 따라 원형 데이터로 환산 후)와 비교하여 설계 및 해석 결과의 타당성을 검증하였다. 또한 평형피스톤이 장착된 저비속도 다단 원심펌프에서 회전차 외경 가공시 발생하는 축추력 불균형을 감소시키기 위하여 평형피스톤 외경 및 길이 변화가 축추력 불균형 및 누설손실에 미치는 영향에 대하여 고찰하였는데, 축추력 불균형을 감소시키기 위한 가장 효과적인 방법은 평형피스톤의 외경과 길이를 함께 증가시키는 것이라 하였다.

김대진^(5,6) 등은 액체로켓엔진(75톤급)에 고압의 산화제와 연료를 공급하는 터보펌프(산화제펌프-연료펌프-터빈의 조합) 중 연료펌프(원심형)에 대한 수력성능시험, 흡입성능시험에서 얻은 결과를 토대로 정상 상태에서의 연료펌프 성능을 파악하고, 입구압력(캐비테이션 수)에 따른 성능 변화를 측정하여 설계의 적합성을 확인하였다. 또한 30톤급과 75톤급 액체로켓엔진에 추진제에 공급하기 위해 개발된 산화제와 케로신을 매질로 하는 원심펌프들의 성능을 수류 시험 결과를 토대로 비교하여, 비속도가 큰 산화제펌프의 효율이 연료펌프보다 높으며, 플로팅 링 실의 간극이 작은 펌프들은 누설유량의 감소 효과로 인해 효율이 높은 것을 확인하였다.

김영주⁽⁷⁾ 등은 해양플랜트용 해수펌프(사류형)를 개발하기 위하여 선진 펌프의 벤치마킹 및 모델링 기법 개발을 통한 펌프 성능향상의 효율적 방법을 제시하였고, CFD 해석(FLUENT)을 수행하여 펌프 성능(양정, 동력 및 수력효율 등)을 예측 및 검증하였다.

김병욱⁽⁸⁾ 등은 FPSO 심정용 수직 해수펌프(사류형) 시제품에 대한 운전 신뢰성을 예측하기 위하여 상세 로터다이나믹 해석(매 순간 저널 평형 중심점에서의 유막력 고려)을 수행하였으며, 정격속도에서 로터시스템의 동적거동을 파악하여 운전 신뢰성을 검토하였다. 또한 수직로터의 정상상태 해석기법을 제안하고 그 결과를 과도응답과 비교한 결과 거의 일치하는 결과를 도출하였다.

* 강릉원주대학교 기계자동차공학부
E-mail : jcleee01@gwnu.ac.kr

Table 1 Papers for pumps presented to the conferences in 2011

저 자	요 약	
최중웅 ⁽¹²⁾ 등 / 한국해양대학교	제목	CFD에 의한 펌프장 흡수정 내 사류펌프의 성능해석
	목적	흡입관 내에 설치되는 펌프의 흡수정 포함 유무에 따른 유동특성과 흡수정의 유동특성을 수치해석적 방법을 사용하여 비교·검토함
김영주 ⁽¹³⁾ 등 / 한국지질자원연구원	제목	FPSO의 심정용 해수펌프 최적화 연구
	목적	선진 해수펌프의 벤치마킹 및 모델링 기법 개발을 통해서 펌프의 성능향상 연구를 효율적으로 수행할 수 있는 방법을 제시함
편권범 ⁽¹⁴⁾ 등 / 한양대학교	제목	반응표면기법을 이용한 원심펌프 임펠러 최적설계 및 벌류트 설계
	목적	반응표면기법과 CFD를 이용한 임펠러 최적설계 작업을 수행하였고, Stepanoff 이론을 적용하여 최적 설계된 임펠러에 적합한 벌류트 설계안을 제시함
최창호 ⁽¹⁵⁾ 등 / 한국항공우주연구원	제목	인듀서 익단간극이 터보펌프용 펌프의 흡입성능에 미치는 영향
	목적	액체로켓엔진용 터보펌프의 익단간극이 작은 인듀서의 흡입성능이 저유량에서 향상되었으나 캐비테이션 붕괴점은 더 나빠진 것을 확인함
이현덕 ⁽¹⁶⁾ 등 / 동아대학교	제목	임펠러 외경 변경에 따른 사류펌프의 성능변화에 관한 연구
	목적	사류펌프의 전동기 소비전력이 과다하여 펌프의 임펠러 외경의 축소를 통해 원하는 양정과 축동력을 얻어낼 수 있도록 설계변경을 시도함
정기철 ⁽¹⁷⁾ 등 / 효성굿스프링스	제목	최적화 프로그램을 이용한 사류펌프 개발
	목적	HEEDS 프로그램으로 형상을 최적화 하였으며, 초기 형상과 비교하여 양정은 13.5%, 효율은 6.6% 개선함
박현창 ⁽¹⁸⁾ 등 / 한국생산기술연구원	제목	축류펌프 안내깃 설계변수가 성능에 미치는 영향
	목적	축류펌프 안내깃 설계 변수들을 정의하고, 실험계획법 및 수치해석을 통해 펌프 전체 성능에 미치는 영향을 분석함
정철섭 ⁽¹⁹⁾ 등 / 건양대학교	제목	응답스펙트럼법을 이용한 진전하중을 받는 원전용 원심펌프 내진 건전성 평가
	목적	원심펌프와 유도 모터를 하나의 유니트 내에 결합시킨 펌프 구조물에 대한 동적 내진해석을 수행하여 IEEE-STD-344에 따른 구조적 건정성을 평가함
김대진 ⁽²⁰⁾ 등 / 한국항공우주연구원	제목	임펠러 및 플로팅 링 실이 원심 펌프의 성능에 미치는 영향
	목적	30톤급과 75톤급 액체로켓엔진용 터보펌프에 대하여 산화제와 케로신을 매질로한 수류 시험 결과를 통하여 펌프 성능을 비교함
유일수 ⁽²¹⁾ 등 / 한국기계연구원	제목	임펠러 앞전 깃 두께 변화에 따른 원자로 냉각재 펌프의 수력 성능 변화
	목적	원자로 냉각재 펌프의 임펠러 형상에 대하여 앞전 깃 두께 변화에 따른 성능 변화를 비교함으로써 설계 요구 조건에 적합한 앞전 깃 두께를 선정함

오형우⁽⁹⁾는 석유정제·화학플랜트용 저비속도 수직 배럴형 다단원심펌프의 확산시스템(diffusion system) 부피 감소를 위하여 채택한 채널형 디퓨저의 측벽에 출구유로를 만들고 디퓨저 뒷면에 리턴채널베인을 배치하는 방식에 관하여 전산유동해석(ANSYS CFX)을 도입하여 수력성능특성을 분석하고 상세설계에 반영하였다. 통상적인 크로스 오버벤드 확산시스템의 수력성능과 비교함으로써 향후 설계조건에 따라 적절한 시스템을 선택할 수 있는 정보를 제공하였고, 리턴채널 출구유동각 분포를 예측함으로써 다음 단 임펠러의 수력성능에 영향을 미치는 입사각을 결정하는 데 활용하였다.

박한영⁽¹⁰⁾ 등은 운전 중인 펌프장에서 정전 발생 시 펌프의 역회전을 방지하기 위해 설치된 역지벨브가 급폐쇄되며 발생하는 수충격현상 방지 및 완화를 위하여 펌프장 정전 시

펌프로의 역류발생시간을 구하는 이론을 제시하였다. 비속도에 따른 펌프 및 전동기의 관성모멘트 크기, 수자원공사 현장에 설치된 펌프 자료 조사를 통한 비속도에 따른 펌프 Q-H 곡선 기울기, 송수로관로의 실제수두와 손실수두 비율에 따른 관로 Q-H 곡선 기울기를 매개변수로 하여 사례를 통해 증명하였다.

윤정의⁽¹¹⁾는 오폐수 처리 분야에 사용될 수 있는 원심형태의 비 막힘형 수중 슬러리 펌프의 효율적 임펠러 형상(제약조건: 15kW, 2개의 날개)을 찾고자 전산유동해석(ANSYS CFX)을 수행하였다. 입구면 날개각 β이 30°로 일정한 값을 가질 때 가장 높은 효율을 가지며, 날개의 길이가 상대적으로 긴 α=325° 및 370°에서는 효율이 β 값에 대해 비례하여 증가하는 경향을 나타냄을 확인하였다.

Table 2 Papers for turbines presented to the conferences in 2011

저 자	요 약	
박지훈 ⁽²⁴⁾ 등 / 한국해양대학교	제목	CFD에 의한 MW급 벌브 수차의 성능해석
	목적	중국에서 효율이 입증된 발전소 및 조력발전 등의 용도로 설계된 MW급 벌브 수차의 CFD 분석을 통한 성능 검증 및 튜블러 수차 등의 효율향상을 도모함
최현준 ⁽²⁵⁾ 등 / 한국해양대학교	제목	CFD에 의한 Turgo수차의 성능해석
	목적	Turgo수차의 성능예측을 위하여 CFD해석을 이용하여 비정상유동을 시뮬레이션하고 노즐 및 케이싱의 성능을 평가함
이낙중 ⁽²⁶⁾ 등 / 한국해양대학교	제목	실험과 CFD에 의한 튜블러형 상반전 수차의 성능해석
	목적	소형화 및 캐비테이션 대책에 유리하고 고효율화가 가능한 튜블러형 상반전 수차의 수력학적 성능특성을 실험 및 CFD를 통하여 고찰함
손성우 ⁽²⁷⁾ 등 / 목포대학교	제목	물-공기 이상작동유체에 따른 횡류수차 내부유동 CFD해석
	목적	횡류수차 케이싱에 흡입되는 공기 영향을 실제조건과 같이 구현하기 위하여 물-공기 이상류 계산을 수행하여 횡류수차 내부유동 및 성능에 관하여 고찰함
이준용 ⁽²⁸⁾ 등 / 목포대학교	제목	수차 흡출관 내부 불안정 유동 CFD 해석
	목적	프란시스 수차의 내부 유동특성분석 및 수차의 성능특성을 CFD를 통하여 분석하였고, 러너 및 흡출관 설계기술과 불안정현상 억제에 도모함
최영도 ⁽²⁹⁾ 등 / 목포대학교	제목	유로 폭이 매우 좁은 횡류수차 내부유동 CFD 해석
	목적	저비속도 영역에서도 고성능 운전 가능한 횡류수차를 개발하기 위하여 내부유동 수치해석을 수행하였고 내부가이드와 가이드베인의 새로운 조합을 고안함
이상열 ⁽³⁰⁾ 등 / 목포해양대학교	제목	조류발전용 소형 수직축 수차의 특성
	목적	조류발전에 적합한 양력형인 수직축 방식 다리우스형 수차에 적용 가능한 대칭익형 NACA633-018의 캠버선을 수차 회전 원주상에 맞춘 익형을 사용함

3. 수차 분야

연구대상으로 채택된 수차에 대한 2011년도 연구실적은 논문집 게재 2편(유체기계저널) 및 학술대회 발표논문 7편(유체기계 연구개발 발표회) 등 총 9편이다. 논문집에 게재된 2편의 논문을 요약·정리하면 아래와 같으며, 학술대회에 발표된 논문들은 Table 2에 나타내었다.

박편구⁽²²⁾ 등은 개방형 액체 로켓엔진용 터보펌프에 포함된 단위 유량당 출력을 극대화하기 위해 높은 압력비와 상대적으로 적은 유량에서 운전되는 수축-확산 노즐을 갖는 부분분사형의 초음속 충동형 터빈의 감량 설계를 위하여 동일한 목면적을 갖는 사각 단면 노즐을 갖는 터빈에 대한 유동 해석(FINE™/Turbo) 및 기존 터빈과 성능을 비교하여 변형 설계된 터빈이 원형 단면 노즐을 갖는 터빈에 비해 동등 이상의 성능을 가지며 무게가 감소된 터빈의 설계가 실제 적용 가능함을 확인하였다. 하지만 노즐과 노즐 사이에 존재하는 후류영역의 수가 늘어나면서 유동손실이 기존터빈에 비해 증가하는 현상이 발견되었기 때문에 감량 설계를 위한 노즐 폭과 개수 사이의 적절한 조합을 찾는 것이 중요한 변수가 될 것이라 하였다.

최영도⁽²³⁾ 등은 소수력발전용 튜블러수차시스템 성능계측을 위하여 현장시험을 수행하였는데, 수차 효율에 직접적인 영향을 가지는 압력 측정, 회전속도 변화, 유량 변화, 러너베

인 개도변화, 전기부하 변화 및 직렬연결 운전에 따른 성능 특성을 분석하였다.

4. 결 론

지금까지 2011년도 국내에 발표된 펌프 및 수차 분야의 주요 연구동향을 유체기계공업학회(KFMA) 유체기계저널 및 유체기계 연구개발 발표회 논문집, 대한기계학회(KSME) 대한기계학회논문집 및 춘·추계학술대회 논문집에 발표된 펌프 분야 21편 그리고 수차 분야 9편의 논문을 중심으로 간단히 정리해 보았다. 펌프 연구분야에서는 오랫동안 해석적 연구의 난제로 여겨지고 있는 3차원 효과, 캐비테이션, 미소 간극 등이 고려된 발전적인 결과가 도출되었으며, 수차 연구 분야에서는 해양에너지 발전설비 연구가 성능개선 및 최적 설계 등으로 확장되고 있음을 알 수 있었다. 일본 후쿠시마 원전사고로 인하여 펌프 및 수차에 관한 연구가 더욱 활발해질 것으로 전망되며, 지속적으로 우수한 연구결과들이 발표되어 국가 기간산업 활성화에 일조할 수 있기를 희망한다.

참고문헌

- (1) 정영대, 이계복, 2011, “극저비속도 영역에서 임펠러 관련 인자 변화에 따른 원심펌프 성능 평가,” 유체기계저널,

- 제14권, 제1호, pp. 11~17.
- (2) 윤의수, 유일수, 황순찬, 오형우, 2011, “설치공간이 제한된 순환펌프의 개발에 관한 연구,” 유체기계저널, 제14권, 제1호, pp. 24~33.
 - (3) 유일수, 박무룡, 윤의수, 2011, “양정곡선 기술기를 고려한 원자로 냉각재 펌프의 수력설계,” 유체기계저널, 제14권, 제1호, pp. 18~23.
 - (4) 유일수, 박무룡, 윤의수, 2011, “저비속도 원심 회전차 외경 가공에 따른 축추력 불균형을 감쇄시키기 위한 평형 피스톤 수정방안에 관한 고찰,” 대한기계학회논문집B, 제35권, 제9호, pp. 875~882.
 - (5) 김대진, 최창호, 홍순삼, 박현덕, 김진한, 2011, “75톤급 액체로켓엔진용 연료펌프의 수류시험,” 유체기계저널, 제14권, 제1호, pp. 61~65.
 - (6) 김대진, 최창호, 홍순삼, 김진한, 2011, “임펠러 및 플로팅 링 실이 원심 펌프의 성능에 미치는 영향,” 대한기계학회 논문집B, 제35권, 제10호, pp. 1083~1088.
 - (7) 강경원, 김영훈, 김영주, 우남섭, 권재기, 윤명오, 2011, “수치해석을 이용한 FPSO용 사류펌프 성능해석 연구,” 유체기계저널, 제14권, 제5호, pp. 12~17.
 - (8) 김병옥, 양성진, 이명호, 2011, “FPSO 심정용 수직 해수 펌프의 로터다이나믹 과도해석,” 유체기계저널, 제14권, 제5호, pp. 69~74.
 - (9) 오형우, 2011, “원심다단펌프용 디퓨저-리턴채널의 유동 특성,” 유체기계저널, 제14권, 제6호, pp. 54~60.
 - (10) 박중우, 박한영, 2011, “펌프장 정전시 역류발생시간에 관한 연구,” 유체기계저널, 제14권, 제6호, pp. 26~34.
 - (11) 윤정의, 2011, “2엽 수중 슬러리 펌프 임펠러 전산해석,” 대한기계학회논문집B, 제35권, 제3호, pp. 263~268.
 - (12) 최중용, 김창구, 이영호, 2011, “CFD에 의한 펌프장 흡수정 내 사류펌프의 성능해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 513~514.
 - (13) 김영주, 우남섭, 권재기, 2011, “FPSO의 심정용 해수펌프 최적화 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 467~468.
 - (14) 편권범, 김준형, 최영석, 윤준용, 2011, “반응표면기법을 이용한 원심펌프 임펠러 최적설계 및 벌류트 설계,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 519~525.
 - (15) 최창호, 김대진, 김진한, 2011, “인듀서 익단간극이 터보펌프용 펌프의 흡입성능에 미치는 영향,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 591~595.
 - (16) 이현덕, 허효원, 서용권, 2011, “임펠러 외경 변경에 따른 사류펌프의 성능변화에 관한 연구,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 91~96.
 - (17) 정기철, 김현식, 김덕수, 안영준, 2011, “최적화 프로그램을 이용한 사류펌프 개발,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 598~604.
 - (18) 박현창, 김성, 이경용, 김준호, 윤준용, 최영석, 2011, “축류펌프 안내깃 설계변수가 성능에 미치는 영향,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 596~597.
 - (19) 정철섭, 2011, “응답스펙트럼법을 이용한 지진하중을 받는 원전용 원심펌프 내진 건전성 평가,” 대한기계학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, pp. 370~371.
 - (20) 김대진, 최창호, 홍순삼, 김진한, 2011, “임펠러 및 플로팅 링 실이 원심 펌프의 성능에 미치는 영향,” 2011년도 대한기계학회 유체공학부 춘계학술대회 논문집, pp. 113~118.
 - (21) 유일수, 최원철, 박무룡, 윤의수, 2011, “임펠러 앞전 깃 두께 변화에 따른 원자로 냉각재 펌프의 수력 성능 변화,” 대한기계학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, pp. 365~367.
 - (22) 박편구, 정은환, 김진한, 2011, “사각 단면 노즐을 장착한 초음속 터빈유동장의 수치해석,” 유체기계저널, 제14권, 제1호, pp. 55~60.
 - (23) 황영호, 이영호, 최영도, 2011, “현장시험에 의한 소수력발전용 튜블러수차시스템 성능계측,” 유체기계저널, 제14권, 제6호, pp. 5~10.
 - (24) 박지훈, 이낙중, Yulin Wu, 이영호, 2011, “CFD에 의한 MW급 벌브 수차의 성능해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 471~472.
 - (25) 최현준, 김병하, 김인철, 김성열, 김유태, 이영호, 2011, “CFD에 의한 Turgo수차의 성능해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 469~470.
 - (26) 이낙중, 박지훈, 황영호, 김유태, 이영호, 2011, “실험과 CFD에 의한 튜블러형 상반진 수차의 성능해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 515~516.
 - (27) 손성우, Morihito Inagaki, 최영도, 2011, “물-공기 이상 작동유체에 따른 횡류수차 내부유동 CFD해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 675~676.
 - (28) 이준용, 손성우, 최영도, 2011, “수차 흡출관 내부 불안정 유동 CFD 해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 679~680.
 - (29) 손성우, Kiyoshi Kikubu, 최영도, 2011, “유로 폭이 매우 좁은 횡류수차 내부유동 CFD 해석,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 677~678.
 - (30) 이성열, 양창조, 2011, “조류발전용 소형 수직축 수차의 특성,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 75~76.