

2018년 원자력기기 및 열유체 분야 연구동향

서석빈* · 방인철**

1. 서 론

본 특집에서는 2018년 한국유체기계학회의 하계 학술대회 발표들과 당해에 발간된 논문집을 정리하여 국내의 원자력 기기 및 열유체 분야의 연구동향을 소개하였다. 원자력기기 및 열유체 분야는 기존의 원전 안전성뿐 아니라 차세대 원전 계통의 안전성 평가를 포함한 분야로, 그 주요 내용을 비등 열전달 특성 규명 및 증진 연구, 첨단 계측 시스템 관련 연구, 전산해석 기술 관련 연구로 나누어 기술하였다.

2. 원자로 계통 비등열전달 특성 규명 관련 연구

원자로 계통의 안전성을 확보하기 위하여 다양한 형태의 열제거 계통들이 개발되면서 그 관련된 열전달 현상과 성능을 규명하기 위한 연구도 동시에 진행되고 있다.

권태순과 최대경⁽¹⁾은 원자로 내 피동잔열제거계통에 적용할 수 있는 공냉혼합식 또는 공냉 단독식 열교환기의 열전달 성능에 수평형 핀튜브의 배열이 끼치는 영향을 해석적으로 분석하였다. 특히 삼각배열의 핀튜브에 대하여 주변의 핀튜브에 의한 튜브 외부 냉각 유동의 특징을 연구하였다. CFD 해석 결과, 수평으로 배열된 삼각배열의 핀튜브에 Blockage 비를 증가시키는 튜브열이 추가할 경우, 증기 튜브 후단에서 발생하는 재순환 영역의 길이가 짧고 냉각 공기의 유동이 중심으로 집중된 형태를 보였다. 튜브열이 추가되어도 핀튜브 벽면 온도와 공기 온도차는 거의 차이가 없으나 열전달계수의 경우 상대적으로 높게 나타나기 때문에 추후 증기응축실험 시 핀튜브의 열전달계수 평가 시 고려할 사항으로 결론지었다.

임창환과 김형대⁽²⁾는 포크형 히트파이프라는 새로운 개념의 대형 히트파이프 시스템을 제안 및 설계하고 해당 시스템의 증발부 열전달 성능을 실험적으로 연구하였다. 인가열량을 조절하면서 자연대류, 가이즈 비등, 완전발달 핵비등, 유하액막비등 순으로 변화하는 증발부에서 나타나는 운전특성을 확인하였다. 가이즈 비등의 경우 열전달량이 일시적으로 증가하지만 불안정한 거동을 보이며, 유하액막비등 시엔 안

정적이며 높은 열전달량을 가지지만 작동한계의 문제에 맞닥뜨릴 수 있기 때문에 이에 대한 추가 연구가 필요하다는 결론을 내렸다.

3. 표면 개질을 통한 비등열전달 증진 관련 연구

비등 열전달을 주요 열전달 모드로 활용하는 원자로 계통의 경우 그 성능 한계는 임계 열유속으로 제한된다. 따라서 비등 열전달 계통의 성능 한계를 향상시키기 위한 기초 연구로 히터 표면 개질을 통한 임계 열유속 증진 연구가 활발하게 수행되고 있다.

심동일 등⁽³⁾은 패터화된 표면에서의 비등조건에서 기포의 거동 및 이에 따른 비등열전달 성능을 분석하였다. 해당 연구에서는 나노와이어를 코팅하여 초친수부터 초소수 표면을 구현하여 풀비등실험을 수행하였다. 실험 결과 초친수/초소수 특성을 모두 갖춘 표면에서 ONB와 CHF가 모두 향상되는 것을 확인하였는데, 이는 소수 특성 표면에서의 기포 생성과 친수 특성 표면에서의 작동유체 유입이라는 장점이 혼합되어 나타나는 것으로 추정하였다.

이동휘 등⁽⁴⁾은 판형 히터 표면에 마이크로-나노 복합 구조물을 제작하여 이를 통한 비등열전달 성능 및 임계 열유속 향상을 확인하였다. 해당 실험도 수조 비등 조건에서 수행되었는데, 마이크로-나노 복합 구조물 표면에서 마이크로 캐비티에 의한 선택적 기포 형성과 나노 와이어에 의한 표면 유체 공급의 향상으로 인하여 높은 임계열유속 향상을 확인할 수 있었다.

4. 첨단 계측 시스템 개발 및 신뢰 평가 관련 연구

차세대 원자력 발전소의 정확한 성능 평가와 안전성 확보를 위한 주요 현안 중 하나는 첨단 계측 시스템 개발이다. 이를 위해서 다양한 형태의 첨단 계측기가 개발되고 있고, 더불어 해당 계측기의 신뢰성을 평가하기 위한 연구가 활발하

* 울산과학기술원(UNIST) 기계항공 및 원자력공학부, 박사후연구원

** 울산과학기술원(UNIST) 기계항공 및 원자력공학부 교수

E-mail : icbang@unist.ac.kr

계 수행되고 있다. 이러한 연구는 첨단 계측기뿐 아니라 기존의 계측기에 대해서도 진행되고 있다.

오승환⁽⁵⁾은 상용 발전소 1차기기 냉각수 열교환기의 열 성능 및 차압 성능을 평가하는데 있어 계측기의 위치가 끼치는 영향을 CFD 해석으로 분석하였다. CFD 해석 결과 위치에 따라 기기 표면 온도 분포와 기기 내 차압이 실제보다 낮게 측정되기도 하여, 정확한 계측을 기반으로 하는 계통 성능 평가가 필요하다고 결론지었다.

한편 강승희와 이혁순⁽⁶⁾은 중속 발전용 디젤엔진에 장착된 터보차저의 정비 후 케이싱 재조립 시 진동패턴이 변화하는 현상을 실험적으로 분석하였다. 해당 엔진 진동과 터보차저의 진동을 진동 계측기를 통하여 측정하여 이를 주파수 분석을 통하여 고유진동수와 공진 측면에서 분석하였다. 이를 통하여 터보차저가 엔진에 장착되었을 때, 발생하는 진동을 줄이는데 활용하고자 하였다.

윤한영 등⁽⁷⁾은 형상에 관계없이 기포 변수를 측정할 수 있는 4-센서 프로브 기법을 활용하여 슬러그 기포와 같이 원형에서 왜곡된 형상을 가지는 유동 조건에 적용하기 위한 성능 평가 연구를 수행하였다. 해당 연구에서는 가시화를 동반한 물-공기 사각유로에서의 실험에 4-센서 프로브 기법으로 국소 기포 속도와 국소 계면면적밀도를 측정하였다. 이를 통하여, 4-센서 프로브 기법이 물-공기 유로의 캡-기포 또는 슬러그 유동 조건에서 기포율, 기포 속도 그리고 계면면적밀도를 낮은 오차 내에서 정확히 측정하고 있음을 확인하였다.

5. 다상유동 전산유체해석 기술 개발 관련 연구

원자로 계통의 성능 평가는 실험적으로 수행되어야 하나, 그 물리적 제한으로 인하여 많은 부분에서 전산해석의 도움을 받고 있다. 특히, 최근 컴퓨팅 능력의 발달로 인하여 이전보다 다양한 전산해석 기술이 가능해졌기 때문에, 더 정확하고 신뢰성있는 전산해석 기술을 개발하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 윤한영 등⁽⁸⁾은 원자로 계통 내 다양한 2상유동 현상을 수치적으로 해석하기 위하여, 다차원 해석 모델을 적용한 고정밀해석 기술개발을 수행하였다. 이와 관련하여 CUPID 코드를 개발하여 원전 안전해석 적용을 위한 연구를 수행하고 있다. 다양한 검증문제 해석을 통하여 CUPID 코드의 신뢰도를 검증하였고, 이를 활용하여 APR1400형 원전의 증기발생기의 전출력 운전 상태 조건에서 해석을 수행하여 내부 유동장의 증기 및 액체의 속도 벡터를 도출해내었다.

6. 결 론

2018년 한국유체기계학회 하계 학술대회에서 발표된 논문과 논문집으로 발간된 논문을 정리하여 원자력기기 및 열유체 분야의 연구동향을 확인하였다. 차세대 원자로 계통에 적용하기 위한 다양한 첨단 안전 계통의 개발 연구와 맞물려 비등 열전달 특성을 규명하고 그 성능을 증진시키고자 하는 많은 연구들이 활발하게 수행되고 있다. 또한 이러한 첨단 계통들의 개발에 맞추어 그 성능을 실질적으로 평가하고 예측하기 위한 첨단 계측 시스템 개발과 전산 해석기술 개발 연구가 함께 수행되고 있다. 앞으로는 인공지능을 포함하여 차세대 원전의 안전성을 평가하고 증진시킬 수 있는 4차산업혁명 기반 기술 관련 연구 성과들이 혁신적으로 발표될 것으로 기대한다.

References

- (1) 권태순, 최대경, 2018, “핀 튜브 열전달에 대한 Blockage 효과,” 한국유체기계학회 하계 학술대회, pp. 301~302.
- (2) 임창환, 김형대, 2018, “대형 공랭 포크형 히트파이프의 열전달 특성에 대한 실험적 연구,” 한국유체기계학회 논문집 21권 5호, pp. 34~42.
- (3) 심동일, 이동휘, 최지홍, 이남규, 최승영, 조형희, 2018, “젓음성 패턴 표면에서의 기포 거동 및 비등열전달 특성,” 한국유체기계학회 하계 학술대회, pp. 297~298.
- (4) 이동휘, 이남규, 심동일, 최지홍, 최승영, 조형희, 2018, “마이크로-나노 복합구조물을 이용한 비등 열전달 향상,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집, pp. 299~300.
- (5) 오승환, 2018, “계측기 설치 위치에 따른 판형 열교환기 성능 평가 고찰,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집, pp. 291~292.
- (6) 강승희, 이혁순, 2018, “중속 디젤엔진 진동에 의한 터보차저 케이싱 진동특성에 관한 연구,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집, pp. 293~294.
- (7) 문정민, 윤병조, 2018, “슬러그 유동 조건에서 국소 기포인자 측정을 위한 4-센서 광섬유 프로브 개발,” 한국유체기계학회 논문집, 21권 2호, pp. 11~18.
- (8) 윤한영, 박익규, 이재룡, 이승준, 조윤제, 도성주, 2018, “원자로 열수력 전산해석 기술 개발,” 한국유체기계학회 하계 학술대회 논문집, pp. 289~290.