

2022년 원자력기기 및 열유체 분야 연구동향

김동역*

1. 서 론

본 연감에서는 2022년 한국유체기계학회 하계/동계 학술대회 및 학술논문집에 발표된 원자력기기 및 열유체 분야 관련 연구 결과를 소개·분석하고자 한다. 해당 분과에서는 원자로 열유체 및 시스템·기기 관련 다양한 분야에서 61편의 논문이 발표되었다. 기존의 원자로 열유체 분야에서 주로 수행되어 왔던 전통적인 열유체 공학분야 연구 뿐만 아니라 최근 급속히 발전하고 소형 및 초소형 원자로 분야 및 수소생산 관련 연구분야가 새롭게 주목을 받고 있는 것으로 판단된다. 본 연감에서는 지난 1년간의 연구논문을 열유체 실험 및 해석, 소형모듈형원자로, 원자력 시스템 및 기기, 측정기술, 수소생산 분야로 구분하여 소개하고자 한다.

2. 열유체 실험 및 해석

원자로 운전조건 및 사고상황에서 발생할 수 있는 열유체 현상에 대한 분석 및 예측은 원자력 안전분야의 핵심적인 이슈이다. 본 절에서는 이와 관련된 실험 및 해석 논문을 소개한다.

김태우 등⁽¹⁾은 인쇄기판형 증기발생기의 열수력 해석을 MARS 코드를 활용하여 수행하였으며, 결과를 설계코드와 비교·분석하였다.

김기환 및 어동진⁽²⁾은 APR1000 노형에서의 노심유동분포 실험 데이터베이스 구축을 위한 실험장치를 1/5 선형 축소비로 모의하여 설계하였다.

김의광 등⁽³⁾은 Modelica언어에 기반한 원자로 증기공급계통의 해석모델을 개발하였으며 PGSFR 정상상태 및 과도상태에 대한 해석을 수행하였다. 해석결과는 기존의 설계값 대비 0.3%의 오차를 나타냈다.

문상기 등⁽⁴⁾은 경수로 노심 봉다발 다차원 유동 실험을 수행하고 물리적 모델을 개발하였다. 이를 통해 첨단 열수력 측정기술을 개발하고, 다양한 사고에 대한 안전해석 모델을 제안하였다.

배재호 및 전성수⁽⁵⁾는 RELAP5 코드를 활용하여 OPR1000

의 MSTGR 사고 시 원자로냉각재펌프 정지전략에 대한 예비 민감도 분석을 수행하였으며 이를 통해 운전전략을 수립하였다.

이제희 등⁽⁶⁾은 격납건물 내 과열증기 응축 시 비응축성 가스의 영향을 모의하기 위한 응축모델을 개발하였다. 이러한 모델을 격납건물 열수력해석코드인 CAP에 탑재하여 예비해석을 수행하였다.

이제희 등⁽⁷⁾은 원자로 중대사고 해석을 위해 격납건물 해석 모듈 내 열구조체 해석 프로그램을 개발하고 이를 검증하였다.

이동휘 등⁽⁸⁾은 사고저항성 핵연료(ATF)에 대한 강제대류 비등열전달 실험을 수행하였다. 실험결과, ATF는 고온상화 반응에 대한 보호효과가 있는 것으로 나타났다.

이성남 등⁽⁹⁾은 제4세대 원자로인 초고온가스로 설계를 위한 노심설계 코드, 계통 안전해석 코드, 핵연료 성능해석 코드 등 고유 설계해석 코드를 개발하였다.

방정진 등⁽¹⁰⁾은 수직관 외부에서의 증기 및 비응축가스 혼합물에 대한 과도조건 응축열전달 실험을 수행하였으며 실험 데이터베이스를 확보하였다.

허재석 등⁽¹¹⁾은 원자로 다중고장사고 평가 및 해석을 위한 최적 통합해석체계 및 불확실도 평가체계를 개발하였다.

박영재 등⁽¹²⁾은 크러드가 가열표면의 급랭 열전달에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다. 실험결과, 크러드는 표면의 급랭 열전달을 크게 향상시키는 것으로 나타났다.

이승현⁽¹³⁾은 마이크로채널에서의 비등 열전달에 관한 실험적 연구를 수행하였으며, 유동 불안정성에 대한 해석을 수행하였다.

홍순준 등⁽¹⁴⁾은 원자로 사고 시 격납건물 열수력 거동 분석을 위해 수면증발 모델을 분석하였으며, 모델의 CAP 탑재를 위한 방법을 제시하였다.

강진훈 등⁽¹⁵⁾은 수직평판 및 튜브 외벽에서의 응축열전달 모델을 개발하였으며, 이 모델 계산결과를 기존의 다양한 실험데이터와 비교하여 모델의 우수성을 검증하였다.

임도영 및 방인철⁽¹⁶⁾은 원자로 외부 음향진동 신호 및 디러닝을 활용한 원자로 내부 비등 해석기술을 개발하고 실험

* 중앙대학교 에너지시스템공학부(School of Energy System Engineering, Chung-Ang University)
E-mail : dekim@cau.ac.kr

적으로 평가하였다.

최대경 등⁽¹⁷⁾은 ANSYS Fluent 코드를 사용하여 원자로용기 하부 관통부 소량 누설 시 열유동 거동을 해석하였다. 또한 누설감지를 위한 측정방법을 제안하였다.

최용석 등⁽¹⁸⁾은 3차원 계통해석코드에 사용되는 다공매질 모델 입력자료 확보를 위한 원통형 연료봉 및 제어봉 번들 구조물에서의 압력강하 실험을 수행하였다.

김지용 등⁽¹⁹⁾은 가압경수로 정상운전 환경에서의 크러드 침적모사 및 크러드 침적표면의 열수력 성능평가를 위한 실험장치를 설계하였다. 또한, ANSYS CFX 코드를 활용하여 시험부 내부 유동장에 대한 CFD 해석을 수행하였다.

양진화 등⁽²⁰⁾은 일체형 원자로 SMART의 격납건물 냉각유로 모사 실험장치를 활용하여 수직관 응축 열전달 및 자연순화 유동특성에 관한 실험적 연구를 수행하여 실험 데이터베이스를 생산하였다.

최해섭 등⁽²¹⁾은 경수로 중형냉각재상실사고 발생 시 봉다발 부수로 다차원 현상 해석을 위한 실험장치를 설계하고, OpenFOAM을 활용한 CFD 해석을 수행하였다.

강인엽 등⁽²²⁾은 친수성 금속선격자로 인한 하향유동비동 조건에서의 임계열유속 향상에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 이를 통해 금속선격자의 임계열유속 향상 성능을 검증하였다.

이동영 등⁽²³⁾은 크롬코팅 사고저항성 핵연료의 산화모델을 개발하고, 이를 MARS-KS 코드에 탑재하여 성능평가를 수행하였다.

김유나 및 정서윤⁽²⁴⁾은 클러스터링 기법을 활용하여 노심 입구 온도 최적 측정을 선정하는 방법론을 제안하였다.

남현택 등⁽²⁵⁾은 마이크로 필라구조 표면에서의 위킹 특성을 실험적으로 측정하고, 분석하였다.

김석 등⁽²⁶⁾은 10 MW 증기발생기를 활용하여 번들 규모의 피동응축열교환기의 열수력 특성에 대한 실험적 연구를 수행하여 성능을 검증하였다.

최용석 등⁽²⁷⁾은 10 MW급 증기발생기를 설계하였다. 또한, 이 증기발생기에 대한 실제 운전을 수행하고, 성능데이터를 생산하였다.

이동영 등⁽²⁸⁾은 크롬코팅 사고저항성 핵연료 모의를 위해 MARS-KS에 피복관 다중층 모델을 추가 탑재하였다. 또한, 모델이 추가된 MARS-KS 코드가 적절히 작동하는 것을 검증하였다.

3. 소형모듈형원자로 기술

소형모듈형원자로(SMR)는 최근 국가 전략기술로서 주목을 받고 있으며, 탄소중립 달성을 위한 다양한 활용이 가능하여 전세계적으로도 기술개발 경쟁이 이루어지고 있다.

정해용 및 정병렬⁽²⁹⁾은 소형모듈형원자로인 SJ-Bandi 원

자로 개념을 제안하고, MARS-KS 코드를 활용하여 다양한 정상상태 및 과도상태에 대한 열수력 해석을 수행하였다.

윤현기 등⁽³⁰⁾은 SMR 원자로 냉각재 펌프 설계요건을 제안하였다.

유용환 등⁽³¹⁾은 선박탑재용 SMR의 피동잔열제거시스템 성능평가를 위해 MARS-KS 코드를 활용한 해석을 수행하고, 결과를 정량적으로 분석하였다.

예휘열 등⁽³²⁾은 소듐기반 대용량 열저장 및 발전시스템을 위한 운전제어전략을 제시하였다. 이를 위해 Modelica 기반 수치해석을 수행하였다.

김지용 및 방인철⁽³³⁾은 SMR 혁신플랫폼에 대한 척도해석을 수행하여 실험장치 개념도를 제안하였다.

윤철 등⁽³⁴⁾은 고속로 기반 SMR인 SALUS 고속로에 대한 전산유체역학 해석(STAR-CCM+ 사용)을 수행하였다.

최성훈 등⁽³⁵⁾은 우주용 히트파이프 원자로의 노심 개념설계를 제시하였으며, 다양한 원자로 거동 해석코드를 소개하였다.

이동훈 및 방인철⁽³⁶⁾은 3D 프린팅 기술을 활용한 액체고속 히트파이프 제작기술을 개발하였고, 예비 실험을 수행하여 열제거 성능을 검증하였다.

4. 원자력 시스템 및 기기

원자력 발전소는 광범위한 과학·공학 분야 기술의 융합을 통해 설계·구축·운영된다. 이로 인해 최근에도 매우 다양한 원자력 시스템 및 기기에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

김중환 등⁽³⁷⁾은 원자로냉각재계통 누설감지 센서 내 다공성 필터의 투과율을 실험적으로 측정하였으며, CFD 코드를 활용하여 계산하여 상호비교를 수행하였다.

배황 등⁽³⁸⁾은 원자로 용기 노즐에 장착되는 격리밸브의 성능평가를 위한 실험장치의 시운전을 수행하였으며, MARS-KS 코드를 사용하여 시운전 결과에 대한 해석을 수행하였다.

최해섭 등⁽³⁹⁾은 원자력 발전소 냉각수 누설감지를 위해 사용되는 공압밸브의 내구성 테스트를 수행하였으며, 솔레노이드 밸브 및 Check Source 밸브의 내구성을 검증하였다.

이공희 및 이용갑⁽⁴⁰⁾은 ANSYS CFX 코드를 사용하여 원심 펌프 내 캐비테이션 유동에 대한 수치적 연구를 수행하였다.

진익재 등⁽⁴¹⁾은 비접촉 적외선 열화상 카메라 영상 및 딥러닝 기술을 적용하여 원자로 시스템 구성요소 및 시스템 규모를 진단하는 기법을 제안하였다.

이공희 및 최종인⁽⁴²⁾은 Flomaster 코드를 활용하여 버터플라이밸브 금속 닫힘에 따른 수층격 거동에 대한 해석을 수행하고, 결과를 분석하였다.

조석 등⁽⁴³⁾은 APR1400 원전용 국산 RCP에 대한 성능테스

트를 수행하고, 결과를 소개하였다.

박홍범 및 서경우⁽⁴⁴⁾는 연구용 원자로 기동전 수소수 가열을 위한 전열기에 대한 분석을 수행하여 요건을 수립하였다.

송석운⁽⁴⁵⁾은 증기발생기 전열관 손상 원인에 대한 분석을 수행하였다.

지창호 등⁽⁴⁶⁾은 원자력발전소 분기배관에 작용하는 동적 환경 요인이 피로해석에 미치는 영향에 대해 정량적으로 분석하였다.

김정만⁽⁴⁷⁾은 OPR1000 및 APR1400 원자로냉각재펌프 플라이휠에 대한 가동중검사 주기 완화 방법론을 제시하였다.

이태경⁽⁴⁸⁾은 원자력발전소에 설치되는 POSRV 용 부속 모터구동밸브의 진단특성에 대해 분석하였으며 진단시험 방법론을 제시하였다.

5. 측정기술

원자로 기기 및 열유체 분야에서는 다양한 현상에서 나타나는 물리량의 고정밀 측정을 위한 측정 기술의 개발이 꾸준히 이루어져 왔다.

방영석 등⁽⁴⁹⁾은 원자로 격납건물 내 누설 조기감지를 위한 습도분포 계산 전산해석모델을 개발하였다. 그리고 전산해석 결과를 실제 원전 운영 및 측정자료와 비교·분석하였다.

최춘기 및 이윤식⁽⁵⁰⁾은 원자력 발전소 누설감지를 위한 내방사선 성능을 갖춘 습도센서를 개발하였다. PtSe₂ 소재를 활용하여 센서를 제작하였으며 실험을 통해 성능을 검증하였다.

이상현 등⁽⁵¹⁾은 원자력 발전소 누설량 정량화를 위한 딥러닝 모델을 개발하고, 모델 계산결과를 기존의 열수력해석코드 계산결과와 비교·분석하였다.

최대경 등⁽⁵²⁾은 원자력 발전소 누설 포집기의 최적화 해석을 위해 ANSYS Fluent 코드 및 실험 데이터를 활용하여 다공성매질 압력강하 특성에 대한 수치해석을 수행하였다.

박태진 및 최유락⁽⁵³⁾은 원자력 발전소 배관 미세누설 측정 및 원격감시진단 기술을 개발하였다. 이 기술은 무선측정에 기반하였으며 엣지컴퓨팅 기술을 활용하였다.

김종록 등⁽⁵⁴⁾은 원자로냉각재계통 누설 감지에 활용되는 습도센서 및 미세입자센서의 성능을 비교·분석하였다.

김우식 및 권태순⁽⁵⁵⁾은 원자력발전소에서의 소량 미확인 누설을 감지할 수 있는 포집시스템을 개발하였으며 실험장치를 구축하고 실험을 수행하여 기기의 성능을 검증하였다.

권태순 등⁽⁵⁶⁾은 원자력계통 냉각수 누출 감지시스템을 개발하였으며 고압 포화증기 실험을 통해 성능을 검증하였다.

김우식 등⁽⁵⁷⁾은 원자로냉각재계통 누설 감지시스템의 성능 검증을 위해 실험장치를 구축하고, 실험을 수행하여 개발된 습도센서의 성능을 상용습도센서의 성능과 비교하였다.

6. 원자력활용 수소생산 기술

최근, 탄소중립 달성을 위한 에너지원으로 수소에 대한 관심이 높아지면서 원자력을 적용한 수소생산 기술 연구가 다양하게 이루어지고 있다.

공지훈 등⁽⁵⁸⁾은 감손 우라늄 베드에서의 수소흡수 거동을 모의하기 위해 3차원 수치해석을 수행하였다.

안진수 등⁽⁵⁹⁾은 SOEC 기반 고온수전해 셀을 적층하여 5 kW급 스택을 개발하였고, 전기화학적 성능을 실험을 통해 검증하였다.

안지원 등⁽⁶⁰⁾은 양성자 교환막 수전해 시스템 설계를 위한 수치모델을 개발하고 이를 적용하여 수전해 시스템에 대한 성능 분석을 수행하였다.

김찬수 및 박병하⁽⁶¹⁾는 원자력활용 수소생산 국내외 연구 현황을 분석하여 소개하였으며 해당기술의 향후 전망에 대해 소개하였다.

7. 결 론

본 연감에서는 2022년에 한국유체기계학회에 발표된 원자력 기기 및 열유체 분야 연구에 대해 소개 및 설명하였다. 열유체 실험 및 해석, 원자력 시스템 및 기기, 측정기술 등의 전통적인 연구분야에 추가로 최근 이슈가 되고 있는 소형모듈형 원자로 및 수소생산 기술에 대한 연구가 새롭게 이루어지고 있으며, 향후 해당 연구분야의 발전이 기대된다.

References

- (1) Kim, T., Park, H-S., 2022, "Preliminary analysis of the thermal-hydraulic performance of 100kW printed circuit steam generator," Proceedings of the KSF 2022 Summer Annual Meeting, pp. 343-344.
- (2) Kim, K., Euh, D-J., 2022, "SDeisgn of the APR1000 Core Flow Distribution Test Facility," Proceedings of the KSF 2022 Winter Annual Meeting, pp. 557-558.
- (3) Kim, E. K., Ye, H-Y., Eo, J-H., 2022, "Development of a Dynamic Analysis Model for the PGSFR Nuclear Power Plant with Modelica," Proceedings of the KSF 2022 Winter Annual Meeting, pp. 583-584.
- (4) Moon, S-K., Kim, S., Jeon, B-G., Kim, J., Choi, Y-S., 2022, "Multi-dimensional and multi-physics coupled safety assessment of core thermal-hydraulics under accident conditions," Proceedings of the KSF 2022 Summer Annual Meeting, pp. 166-173.
- (5) Bae, J-h., Jeon, S-s., 2022, "Preliminary Sensitivity Analysis of RCP Trip Strategy on MSGTR of OPR1000 using RELAP5 code," Proceedings of the KSF 2022 Summer Annual Meeting, pp. 428-430.

- (6) Lee, J., Hong, S-J., Choo, Y-J., Han, K-H., 2022, "A Study on Re-evaporating during Condensation of Superheated Vapor in the Containment Building," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 437-440.
- (7) Lee, J., Choo, Y-J., Han, K-H., 2022, "Development of Heat Structure Analysis Program for Containment Thermal-Hydraulic Module," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 571-574.
- (8) Lee, D., Moreira, T. A., Anderson, M., 2022, "Flow boiling heat transfer experiment using ATF cladding materials in high-pressure conditions," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 346-347.
- (9) Lee, S. N., Yuk, S., Kim, Y. M., Tak, N-i., Lim, H-S., Han, T. Y., 2022, "Design Analysis Code Development Status and Prospects of High Temperature Gas cooled Reactor," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 161-163.
- (10) Bang, J., Jeon, S-S., Jerng, D-W., 2022, "Experimental on heat transfer for steam-air mixture condensation over a vertical tube under transient conditions," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 431-434.
- (11) Heo, J., Kang, K-H., Kim, S., Bae, B-U. 2022, "Development of best estimate integrated analysis and uncertainty quantification framework for multiple failure accident analysis," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 160-165.
- (12) Park, Y., Lee, Y., Kim, J. H., Kim, B. J., Kim, H., 2022, "Experimental study about the effects of CRUD on quenching heat transfer of single heated rod," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 174-176.
- (13) Lee, S., 2022, "Experimental and theoretical investigation into the heat transfer characteristics of flow boiling in the micro-channel with instabilities," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 86-88.
- (14) Hong, S-J., Choo, Y-J., Lee, J., Han, K-H., 2022, "Review of Pool Surface Evaporation Model and Development Strategy into CAP Code," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 435-436.
- (15) Kang, J., Kim, D., Yun, B., 2022, "Condensation of steam and non-condensable gas mixture on vertical surface under free convection," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 85-86.
- (16) Lim, D. Y., Bang, I. C., 2022, "Study of acoustic vibration and deep learning technology for monitoring the boiling phenomenon in a nuclear reactor," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 569-570.
- (17) Choi, D. K., Park, W. M., Son, S. M., Kim, W-S., Kwon, T-S. Euh, D-J., Kim, Y-S., Choi, C., 2022, "Analysis of thermal flow in case of the small leakage at the reactor vessel bottom mounted instrumentation," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 450-451.
- (18) Choi, Y-S., Park, Y., Choi, H-S., Kim, S., Kim, H., 2022, "Experiments on pressure drop across cylindrical type fuel and control rods bundle structure," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 443-444.
- (19) Kim, J. Y., Lee, Y., Ham, J., Kim, J. H., Bang, I. C., 2022, "Establishment of Experimental Facility to Investigate the Sub-cooled Boiling Heat Transfer Characteristics of Fouled Cladding Surface at PWR Conditions," The KSFM Journal of Fluid Machinery 25(5), pp. 12-21.
- (20) Yang, J-H., Ahn, T-H., Bae, H., Park, H-S., 2022, "Characteristics of SMART Containment Cooling Flow Path with Condensation Heat Exchanger," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 441-442.
- (21) Choi, H-S., Jeon, B. G., Moon, S-K., Kim, S., 2022, "Design of Inlet Channel for IBLOCA Rod-bundle Test Facility," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 552-554.
- (22) Kang, I-Y., Kwon, S., Kang, J., Kim, D. E., Kim, H., 2022, "An experiment study on CHF enhancement of downward-facing flow boiling by hydrophilic metallic wire-mesh," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 168-169.
- (23) Lee, D-Y., Ro, T-S., Park, Y., Chung, B-D., Hong, S-J., 2022, "Assessment of Chromium Coated Accident Tolerant Fuel Oxidation by MARS-KS with Chromium Coated Cladding Oxidation Model," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 164-167.
- (24) Kim, Y-N., Jung, S. Y., 2022, "Method for Selecting Optimal Measurement Locations of Core Inlet Temperature Based on Clustering," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 585-587.
- (25) Nam, H. T., Kim, J., Lee, D., Lee, S., 2022, "Effect of surface temperature on wicking characteristics of the micro-pillar structure," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 341-342.
- (26) Kim, S., Choi, Y. S., Bae, B-U., Park, Y-S., Cho, S., Jeon, W. J., Lee, S-H., Lee, S-W., Moon, S-K., 2022, "Experimental Validation of Cooling Performance for the Passive Auxiliary Feedwater System," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 452-454.
- (27) Choi, Y-S., Moon, S-K., Park, J-K., Youn, Y-J., Choi, H-S., Lee, S-H., Cheon, J., Lee, S-W., 2022, "Design and performance evaluation of 10MW steam generator for passive condensation heat exchanger test," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 455-456.
- (28) Lee, D-Y., Ro, T-S., Park, Y., Chung, B-D., Hong,

- S-J., 2022, "Assessment of LB-LOCA of Zion Nuclear Power Plant with Chromium Coated Accident Tolerant Fuel by MARS-KS using Multi-layer Model," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 561-563.
- (29) Jeong, H-Y., Jung, B-R., 2022, "Transient Characteristics of SMR SJ-Bandi," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 92-97.
- (30) Yoon, H., Lee, K., Jung, J., 2022, "Design Requirements for a Reactor Coolant Pump in a Small Modular Reactor," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 83-84.
- (31) Yoo, Y. H., Park, W., Jun, K. K., Kim, S. H., 2022, "Numerical Performance Evaluation of a Nuclear Propulsion Ship's PRHRS with the Upper Heat Exchanger for Driving Force and the Seawater Heat Exchanger as an Ultimate Heat Sink by Ship Motion," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 547-551.
- (32) Ye, H-Y., Hong, J., Jung, Y., Kim, D., Eoh, J., 2022, "Development of Operation Control Logic for Sodium Based Large-Capacity Thermal Energy Storage and Power Generation System," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 559-560.
- (33) Kim, J. Y., Bang, I. C., 2022, "Design Study of Fluid-to-fluid Scaled-down SMR Innovation Platform for Application and Evaluation of Elementary Technology," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 579-580.
- (34) Yoon, C., Ye, H-Y., Park, C-G., Eoh, J. H., 2022, "Conjugate Heat Transfer Analysis of the SALUS Primary Heat Transfer System including External Air-Cooling Systems," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 90-91.
- (35) Choi, S. H., Lee, S. N., Lim, H-S., Kim, C. S., 2022, "Design Analysis code Status and Prospects of Space Heat pipe cooled Reactor," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 87-89.
- (36) Lee, D. H., Bang, I. C., 2022, "Thermal Performance Investigation of Liquid Metal Heat Pipe Using 3D Printing Technology for Advanced Microreactor," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 89-94.
- (37) Kim, J-H., Kim, Y-S., Choi, H-S., Kwon, T-S., 2022, "Estimation of Permeability of a Porous Sintered Metal Filter after Heating and Cooling," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 564-566.
- (38) Bae, H., Kwon, J. S., Lee, S., Yoon, H-G., Bang, Y. G., Lim, S. W., 2022, "Validation Analysis for Commissioning Test Results using Performance Test Loop of Isolation Valve Mounted in Vessel Nozzle with High Pressure and Temperature," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 445-447.
- (39) Choi, H-S., Euh, D-J., Kim, W. S., Kwon, T-S., 2022, "Pneumatic Valve Durability Test Results," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 555-556.
- (40) Lee, G-H., Lee, Y. K., 2022, "Numerical Investigation of the Cavitation Flow Behavior for the Centrifugal Pump with Different Blade Leading Edge Profile," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 581-582.
- (41) Jin, I. J., Lim, D. Y., Bang, I. C., 2022, "EIR based Multi-Components Diagnosis for Nuclear Power Plant using Deep Learning," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 249-255.
- (42) Lee, G-H., Choi, J. I., 2022, "Numerical Simulation for the Water Hammer Behavior Caused by the Rapid Closure of a Butterfly Valve," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 577-578.
- (43) Cho, S., Bae, B-U., Cho, Y-J., Jeon, W-J., Youn, Y-J., Kim, Y-S., 2022, "Production test results of Reactor Coolant Pump of Shin-Kori 5&6 plants," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 84-85.
- (44) Park, H. B., Seo, K., 2022, "Research of requirement of heater for heating pool water in research reactor," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 588-589.
- (45) Song, S-Y., 2022, "Analysis of Failure Causes for Heat Exchanger Tubes," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 228-230.
- (46) Ji, C. H., Hong, S. P., Shin, D. H., Kim, H. N., Kim, W. T., 2022, "Analysis of the impact of dynamic environmental factors on the fatigue analysis of branch piping in nuclear power plants," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 424-427.
- (47) Kim, J. M., 2022, "Evaluation Method for the Inservice Inspection Interval Extension of RCP Flywheel," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 231-233.
- (48) Lee, T. K., 2022, "A Study on the Diagnostic Characteristics of POSRV MOV in the NPP," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 225-227.
- (49) Bang, Y. S., Lee, J. H., Kim, J. U., Shin, K. Y., 2022, "Development of Dynamic Model for Early Detection of Leakage inside of Containment," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 5-10.
- (50) Choi, C-G., Yi, Y., 2022, "Radiation tolerance fast responsive and high sensitive humidity sensor," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 3-4.
- (51) Lee, S. H., Jo, H. S., Na, M. G., 2022, "Application of deep learning for qualifying small RCS leakage," Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 11-12.
- (52) Choi, D. K., Park, W. M., Son, S. M., Kim, W-S., Kwon, T-S., Euh, D-J., Kim, Y-S., Choi, C., 2022, "Analysis of the pressure characteristics of a porous

- medium in the leakage collection device,"Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 575-576.
- (53) Park, T-J., Choi, Y-R., 2022, "Smart Sensing and Remote Diagnosis relevant for Micro-leakage,"Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 13-14.
- (54) Kim, J., Kim, W., Kwon, T-S., 2022, "Comparison of Humidity Sensor and Condensed Particle Counter for Leakage Detection at Reactor Cooling System in Nuclear Power Plant,"Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 567-568.
- (55) Kim, W., Kwon, T-S., 2022, "Performance Verification of Reactor Unidentified Leak Detection System,"Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 1-2.
- (56) Kwon, T-S., Euh, D-J., Kim, W., 2022, "Development of a RCS Coolant Leakage Detection System for Reactor Safety Enhancement,"Proceedings of the KSFM 2022 Winter Annual Meeting, pp. 221-224.
- (57) Kim, W. S., Euh, D-J., Kim, J., Kim, Y-S., Kim, J-H., Choi, H. S., Youn, Y-J., Park, J-K., Park, W-M, Kwon, T-S., 2022, "Experimental Study on Performance Evaluation of Leak Detection System for Heat Transport System of Nuclear Power Plant," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 448-449.
- (58) Kong, J., Choi, J., Ju, H., 2022, "Numerical analysis on the hydrogen adsorption of Depleted-uranium bed with various initial temperature," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 354-355.
- (59) Ahn, J. S., Lee, S., Seong, B. G., 2022, "The electrochemical performance of a SOEC stack using high temperature steam," Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 29-30.
- (60) Ahn, J., Cho, H. K., Kang, S., 2022, "Modeling and performance analysis of proton exchange membrane water electrolysis system,"Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 31-32.
- (61) Kim, C. S., Park, B. H., 2022, "Global R&D Status in Nuclear Hydrogen Production,"Proceedings of the KSFM 2022 Summer Annual Meeting, pp. 27-28.