

## 원전 통합해석코드체계 고도화 워크숍 개최 결과

### 1. 개최 목적

- 국내외 다중스케일 및 다분야 통합해석 소프트웨어 개발 현황 파악 및 향후 개발 전략 논의
- 국내 고정밀 열수력 해석 코드 개발 진행 상황 보고 및 차기 단계 개발을 위한 전략 수립

### 2. 워크숍 개요

- 제목 : 원전 통합해석코드체계 고도화 워크숍
- 일시 및 장소 : 2011년 10월 26일(수), 경주 현대호텔 컨벤션 B
- 주최 : 한국원자력학회 원자력열수력 및 안전 연구부회
- 행사 프로그램

일정	내용
13:00~13:20	등록
13:20~13:30	환영사 (류용호, 연구부회장)
13:30~13:50	국내외 다중스케일/다물리 통합 원전 소프트웨어 개발 동향 (정법동, KAERI)
13:50~14:10	노물리 해석 체계 개발 현황 (조진영, KAERI)
14:10~14:30	다중스케일 열수력 해석 체계 개발 현황 (정재준, 부산대)
14:30~14:50	RETAS 개발 전략 및 방향 (안승훈, KINS)
14:50~15:10	휴식
15:10~15:30	원자로 열수력 물리 모델 개발 (윤병조, 부산대)
15:30~15:50	CUPID 개발 및 검증 (윤한영, KAERI)
15:50~16:10	다중스케일 및 다물리 적용 계산 (이재룡, KAERI)
16:10~16:30	고유 신안전 계통 고정밀 예비 해석 (조형규, KAERI)
16:30~17:00	CUPID 1.6v 사용자 가이드 (박익규, KAERI)
17:00~17:10	휴식
17:10~17:50	종합 토의
6:00~	만찬

- 워크숍 진행
  - 초청전문가 발표 및 질의 응답, 전체 토론

### 3. 주요 발표내용

- 2011년 10월 26일 경주에서 열린 한국원자력학회 추계학술대회 기간 중 국내 원전 해석 소프트웨어에 종사하고 있는 전문가들을 초청하여 정보를 공유하고 상호 협력을 위한 워크숍을 개최함.
- 본 워크숍은 “원전 통합해석코드 체계화”라는 제목으로 개최되었으며, 한국원자력연구원, 한국원자력안전기술원, 부산대학교로부터 모두 9 명의 전문가 발표와 함께 약 150명의 관련 분야 전문가들이 참석하였음.
- 워크숍은 각 전문가들의 발표 및 질의응답 순으로 진행되었으며, 발표 종료 후 종합 토의를 통하여 원자로 통합해석을 위한 제언 및 토론이 이루어졌음.
- 한국원자력연구원 정법동 박사의 발표에서는 국외 국내의 원자로 해석 소프트웨어 기술을 비교하여 제시하였음. 국내의 통합 안전해석 기술은 원자로심, 계통열수력, 격납용기 및 불확실성 정량화의 분야에서 적용 가능함.
- 한국원자력연구원 조진영 박사의 발표에서는 국내의 노물리 해석체계 기술 현황에 대한 설명이 이루어졌음. 노물리 해석 기술 개발은 타 분야에 비하여 완성도가 높은 분야로서 상세해석 코드인 DeCART의 경우 우리나라가 주도적으로 개발에 참여하였음.
- 부산대학교 정재준 교수는 국내와 열수력 해석 코드 개발 현황에 대하여 발표하였음. 특히 유럽연합과 미국에서 수행되고 있는 개발 프로그램의 사례들을 소개하였으며, 이와 비교하여 국내의 기술 수준을 평가하였음. 소프트웨어 개발 중요성이 강조되고 있는 현재 국제적 환경에서 국내 개발의 전략적 방향 모색. 소프트웨어 개발과 관련하여 산-학-연의 협력 중요성 강조.
- 한국원자력안전기술원의 안승훈 박사는 규제기술 관점에서 노물리-계통 열수력-격납용기 연계 기술 개발에 대한 현황 및 전략을 발표하였음.
- 부산대학교 윤병조 교수의 발표에서는 원자로 열수력 해석에 필요한 물리 모델의 개발 방향을 제시하였음. 해석 대상에 따른 물리 모델의 척도를 구분하였으며 이 들 사이의 연관 관계를 설명하였음. 고유 물리모델 개발을 통한 국내 원자로 개발 기술 고도화 및 안전해석 기술자립 가능.
- 후반부 한국원자력연구원의 윤한영, 이재룡, 조형규, 박익규 박사의 발표에서는 교과부의 원자력기술개발사업으로 개발 중인 고정밀 열수력 해석 코드 CUPID1.6의 개발 현황 및 사용자를 위한 설명이 있었음.

## 발표 중 질의 내용

### 1. 조진영 박사 발표 후 질의

- 1) DeCART가 어떤 경로를 통해서 미국에서 쓰이는지, CASL에 참여하는지? (정재준 교수)
  - I-NERI에서 같이 참여해서 개발, 미국에서 사용가능.
  - 지적재산권은 KAERI 소유
- 2) DeCART로 transient에 대한 V&V는 어떻게 진행하였는지? (정법동 박사)
  - Benchmark 문제에 적용 수준. (I-NERI)
  - multiple connection (최근)
  - core단위로는 못해봄. 집합체 단위로 테스트 해봄.

### 2. 정재준 교수 발표 후 질의

- 1) Micro-Macro 기술이 미비/개선되어야 한다고 언급했는데 구체적으로 어떤 것 인지? (정법동 박사)
  - 채널 같은 곳을 예로 들면, mass는 잘 맞음. Velocity, void 등의 profile을 통해서 correlation을 만들면 계통입장에서 잘 받아들여야 하는 기술이 필요.

### 3. 윤한영 박사 발표 후 질의

- 1) 1단계 결과물 가지고 증기발생기 같은 산업체가 쓸 수 있는 기회가 있는지, 기술전수 & 공동개발의 가능성은 있는지?
  - Open Media와 porous media가 가능하기에 적용대상이 된다. 기술 수요에 따라서, 2가지 전략을 수립 중.

### 4. 이재룡 박사 발표 후 질의

- 1) coupled 된 코드로 수평 성층 유동 해석 가능한지 (예를 들면 PAFS의 경우)? (홍순준 박사)
  - 물리적 현상 자체는 CUPID가 수행 가능. 두 코드간의 경계조건 문제는 현재 multiple connection이 아니라서, connection기술 진행이 우선되어야 할 듯.

### 5. 조형규 박사 발표 후 질의

- 1) PAFS의 경우, full size에서 porous media 적용하면, two-phase turbulent 모델을 정밀하게 적용할 수 있는지? (윤병조 교수)
  - bubble에 의한 난류거동이 중요하다면, 국소적으로 fine mesh 적용이 필요하다고 봄.

#### 4. 종합토의 내용

(정법동박사 - **논제 제시**: 다중 스케일 관점)

(안승훈 박사)

- CUPID 개발측면에서 보면 너무 기초적임.
- 구체적 개발 방향 안 보이는 것 같음.
- 차세대 원자로 개발에 기여할 부분이 있는지 확인하자, 현재는 CFD를 이용하기도 함.
- 현재로서는, 실용적인 복잡성을 커버할 수 있는 단계로 나아가야 할 듯.
- 구체적인 결과가 나오면 향후 목적을 구체화하는 게 필요할 듯.

(윤한영 박사 응답)

- CFD 코드를 사용해서 검증하는 일은 실제 적용에 있어 중요함.
- 현재 V&V를 지속적으로 수행중이며, 검증 스펙트럼이란게 굉장히 넓기 때문에 모든 경우를 검증하는 것은 어려움.
- 산업체의 시급성에 대응하는 게 우선되어야 할 듯.
- CASL 등은 굉장히 challenging한 과제에 도전하고 있다. 하지만, 이것조차 산업체의 구미를 당기는 것인지는 의문임.
- PAFS와 같은 수요가 확보된 문제에 대해 결과를 내는 것이 좋겠다.

(정법동 박사 재차 질문)

- 시급성에 대한 대응 말고, 수요를 창출할 계획은?

(윤한영 박사 응답)

- 기기 모듈 관점에서 기기해석 모듈을 대체하는 계획을 갖고 있음.

(정법동 박사 - **논제 전환**: SPACE 와의 차별 전략)

- SPACE 코드와 연계해서 나아갈 수 있을까?
- SPACE 코드도 다차원/비정렬인데 SPACE 코드에 비해서, CUPID 코드가 가야 할 방향은? (하상준 박사 지적)

(하상준 박사)

- 미국/프랑스도 다중 스케일 코드 개발 중

- 다중 스케일이 대세임. 그리고, 기술이 필요하다는 것은 확실.
- 하지만, 경제성 관련해서, 그 코드를 개발해서 어떤 경제적 이득이 있을지 고민 필요함. 그래야만 SPACE 와 연계된 다중 스케일 프로그램을 만들 수 있음.
- 기술적으로는 필요하지만, 우리가 얻을 수 있는 명확한 이득이 무엇인지 정의 필요.

#### (정법동 박사 추가 발언)

- CASL도 산업체 입장에서는 구체적인 목적이 무엇인지 혹은 달성 가능한지 의심스러움.
- CUPID도 마찬가지로 명확한 목표를 보여주어야 함.
- '80년대 RELAP 개발 시절 (원자력 도입기)에는 무작정 수입만 하면 되었음.
- 원전수출 시대인 요즘에는 더 이상 수입은 안되며 경쟁을 해야 하는 입장; 계속적인 연구가 필요.
- 30년 전 상황과는 다르다는 점을 인지해야 함. 지금은 수출환경이 도래하여서 SPACE를 개발하지만, 미래를 위해서는 CUPID도 같은 입장이 않나?

#### (하상준 박사 추가발언)

- CUPID의 수준이 실제적인 계통 설계 수준에 이르렀다면, 기존 설계 코드와 비교해서 투자의 당위성을 보일 수 있을 것임.

#### (정법동 박사 - **논제 전환: core** 입장에서)

- core에 대한 의견 청취 필요. (황대현 박사 지적)

#### (황대현 박사)

- 현실적으로 적용가능성을 따져보면, sub-channel + pin-wise 결합이 최적.
- CFD 레벨에서 코드결합시 transient를 고려하여 feedback하는 것은 계산시간 측면에서 loss.
- 현재로서는 부수로코드가 적합.
- 현실적 대안은 “부수로+노심” 코드라고 생각함.

#### (윤한영 박사 응답)

- 현 CASL도 부수로/CFD 모두 노심 코드와 결합하고 있지만, 아직 부수로 코드를 못따라 감.
- CFD는 선택의 문제가 아니라, 보완의 측면에서라도 CFD 연계가 필요하다고 봄.

#### (황대연 박사 재차 발언)

- 다중 스케일 입장에서는 부수로 코드와 CFD 코드의 연계가 바람직하다고 봄.  
가령, mixing vane effect를 CFD로 모사해서 부수로 코드로 입력 (micro에서 macro로), 혹은, CFD 코드에 부수로 코드에서 얻은 결과를 경계면에서 연계 (macro에서 micro로).

#### (방영석 박사 발언)

- 이번 워크샵이 너무 기술-oriented 되어 있음. 기술 설명도 좋지만, 왜 고정밀코드가 중요한지 정립하여야 함.
- DOBO와 같은 결과들을 보면 미래지향적이고 잘 예측한다. 그런데, 결과는 실험 검증으로 끝난 듯 함. 이 결과를 APR1400의 안전 현안에 어떻게 implement할 것인지에 대한 논의가 필요하지 않나.
- CUPID가 너무 많은 기술적 요소(IAT, 유동맵 등)를 담고 있지 않나. 혹은 너무 많은 것을 다루려고 한다.
- PAFS, DOBO 둘 다 결국 비슷한 기술적 요소이지 않나. 어느 하나에 집중하는 게 좋겠다. 차근차근 로드맵을 따져보는 게 어떠한 지.
- 세계적 추세를 맞추는 것도 중요하지만, 우리 문제에 대한 답을 제시하는 것이 중요하다.

#### (정범동 박사 - **논제 전환: 다물리 연계 측면**)

- 다물리에 대해서, 연계에 대한 방향에 대해서 짧게 의견 부탁.

#### (조진영 박사)

- ANL에서는 재료분야와 연계, PURDUE와는 열수력 연계.
- 노심 입장에서는 XS의 열수력 피드백이 중요함.
- 현재로서는 부수로 코드에 더 관심이 큼.

#### (정범진 교수)

- Catch-up 할 때는 따라 잡기만 하면 되었음. 이제 따라잡기 위해서 모인 모든 분들이 궁금해 하는 입장인 듯. 따라잡기를 계속하니깐 지금 이런 논의가 진행되는 듯 함.
- 규제입장에서는 교제를 위해 필요한 기술이 어떤 것인지 list-up이 필요하고,
- 산업체 입장에서는 margin을 줄이기 위해 어떤 tool이 필요한 지에 대한 고민이 필요하고,

- 연구소 입장에서는 연구자가 먼저 개발하고, needs를 공감하기 위해 다 같이 의견을 나누는 것이 필요함.
- 규제자는 발전소 심사/검사시, 사업자는 개발시, 발견한 문제를 기록하여 문제가 풀이 tool 개발에 도움을 주어야 함. 규제자, 사업자, 연구자 모두 모여서 토의하여 좋은 길을 찾자.

#### (송철화 부장 - 총평)

- 큰 틀에서 다음의 두 가지에 대해 말씀 : 통합안전체계, CUPID
1. 통합안전체계 - multi-scale/multi-physics의 두 가지 입장이 있을 수 있겠음.
    - 1) multi-scale
      - 시스템 스케일은 세계적 수준
      - CUPID는 진행중. (CMFD)
      - 원자력계에서 그동안 많이 다뤄오지 않았음.
      - 다른 분야와 협업도 필요함. (기계, 항공 등)
    - 2) multi-physics
      - 그동안 기획에서 언급은 있음.
      - DeCART와 같은 코드들은 상당한 진척 이룸.
      - TH, 재료, neutronics 등
      - 최근 동안 범통합을 위한 진행 있었고, 앞으로 논의가 계속 되어야 할 것임.
      - 각 기관을 충분히 설득할 만하게 기술/노력을 갖추어야 할 필요가 있음.
      - 범통합 논의가 지속적으로 진행될 필요가 있음.
  2. CUPID
    - sub-channel을 부수로 코드처럼 (효율적으로) 풀 수 있냐 등, 현재로서는 의문점이 많을 수 있음.
    - 이제 첫 단계이며, 향후 통합 연계된 stand-alone된 CUPID가 되어야 함.
    - 향후 5년, 차 후년 5년을 바라보는 기획을 염두에 두길 바람.

#### (정법동 박사 - 마무리)

- fuel 코드 개발팀 관계자가 없어서 이야기를 못 들어 아쉬움.
- 모여주신 모든 분들께 감사. (끝)