

국제공동연구 DECOVALEX-2015 연구 현황

이창수, 권상기*, 조원진, 최희주

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*인하대학교, 인천광역시 남구 용현동 253 번지

leecs@kaeri.re.kr

1. 서론

지하 심부 암반에 건설될 고준위방사성폐기물 처분장 주변에서는 열-수리-역학-화학적 (THMC) 환경변화가 예상되며, 이러한 환경 변화는 고준위방사성폐기물의 심지층 처분 시스템의 성능과 안전성 및 안정성에 영향을 미치게 된다. 따라서 장기간 안전성이 요구되는 처분 환경에서의 THMC 복합거동에 대한 이해와 이를 예측할 수 있는 시스템의 개발은 반드시 필요하다. 이를 위해 심지층 처분을 고려하고 있는 세계 각국에서는 실험실 및 현장 시험 수행하여 THMC 복합거동에 대한 이해를 높이고 그 결과를 바탕으로 하여 THMC 복합거동을 예측하는 다양한 수학 모델과 모델링 기법을 제안하고 있다. 하지만 장기간에 걸쳐 발생하는 THMC 복합거동의 복잡한 특성 때문에 만족할 만한 성과를 거두지는 못하고 있는 실정이다.

2. DECOVALEX

THMC 거동에 대한 이해와 예측 시스템의 필요성이 부각됨에 따라 세계 각국에서 수행된 대규모 현장 및 실험실 실험 결과와 관련 경험의 공유뿐만 아니라 전문가들의 상호검증으로 제안된 예측기법의 신뢰도와 기술 개발의 효율성을 높이고자 국제공동연구인 DECOVALEX (DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments) 프로젝트가 추진되었다(권상기 외, 2009). 1992년 DECOVALEX-I이 시작된 이래로 4년 단위로 새로운 프로젝트가 수행이 되어져왔다. DECOVALEX-II, DECOVALEX-III을 거쳐 DECOVALEX-THMC와 DECOVALEX-2012가 수행되었고 2012년 현재 DECOVALEX-2015(D-2015)가 진행 중이다.

3. DECOVALEX-2015

D-2015는 2012년 4월에 미국 Lawrence Berkeley National Laboratory에서 개최된 첫 번

째 워크샵을 시작으로 크게 3가지의 Task에 대한 연구를 수행하고 있으며 BGR(독일), CAS(중국), DOE(미국), ENSI(스위스), IRSN(프랑스), JAEA(일본), KAERI(한국), NDA(영국), NRC(미국), RAWRA(체코)가 참여하고 있다.

3.1 Task A

Task A에서는 폐쇄 후 sealing system의 장기적인 HM 거동 특성을 평가하기 위해 계획된 프랑스 Tournemire URL의 SEALEX 현장 시험 결과를 토대로 HM modelling을 수행한다. Task A에서 수행하는 modelling은 argillite에서의 수리적 거동의 변화로 발생하는 swelling pressure의 변화와 그 변화로 야기되는 변형을 변화 및 포화도에 따른 물리적 그리고 역학적인 물성변화를 예측하고 실험값과 비교하고자 한다. Task A의 경우 5 단계로 구성되며 각각의 단계별 내용은 다음과 같다.

- Step 0 : 입력변수 산정 및 bentonite-sand mixture에 대한 HM modelling
- Step 1 : SEALEX의 1/10 비율 mock-up test에 대한 HM modelling
- Step 2 : bentonite-sand plug 주변의 암반에서의 수리거동에 대한 modelling
- Step 3-4 : SEALEX의 PT-N2 및 PT-A1 현장 시험 결과와 HM modelling 결과의 비교 분석을 통한 수치해석 기법 검증

3.2 Task B

2012년 현재 한국원자력연구원이 참여하고 있는 Task B는 두 개의 Task로 이루어져있다. Task B1에서는 스위스 Mont Terri Laboratory에서 수행된 HE-D 그리고 HE-E 현장 시험 및 실험실 실험 결과를 토대로 한 THM modelling을 수행하고 Task B2에서는 일본 Horonobe URL에서 수행한 full scale Engineering Barrier System (EBS) 시험을 토대로 한 THMC modelling을 수행할 예정이다.

3.2.1 Task B1

EBS와 근계암반영역(Opalinus clay)의 THM 거동의 변화를 예측하기 위해 붕괴열에 의한 처분시스템의 온도변화를 heater로 모사하고 EBS 및 근계암반의 온도 변화와 온도 변화로 야기되는 공극 수압 및 strain 변화 그리고 bentonite의 포화도 변화, 그 뿐만 아니라 포화도 변화로 인한 bentonite의 열-역학적인 물성변화를 예측하고 실측값과 비교한다. 또한 Task B1에서는 특정 지점에서의 변위, 온도, 공극 수압 등을 blind test로 실시하여 사용된 수치해석 프로그램을 평가하고 상호 검증하고자 한다. Task B1의 경우 4 단계로 구성되며 각각의 단계별 내용은 다음과 같다.

- Step 1 : 입력변수 산정 및 HE-D 현장 시험에 대한 THM modelling
- Step 2 : CIEMAT column cells test에 대한 THM modelling
- Step 3-4 : HE-D 현장 시험에 대한 THM 거동 변화 예측 modelling 및 현장 시험 결과와 비교 분석을 통한 수치해석 기법 검증

3.2.2 Task B2

Task B2는 수행된 시험에 대해 수치해석을 수행하는 것이 아니라 수행될 현장 시험에 대해 modelling을 수행하고 추후 시험 결과와 비교할 예정이다. Sedimentary 암반의 THMC 거동 변화 뿐만 아니라 폐쇄 후의 전체 처분시스템의 THMC 거동에 대한 modelling을 수행하고자 한다. Task B2에서의 modelling은 Buffer material의 온도, 공극 수압, 함수율, 변위, 습도 변화와 Backfill material의 변형률과 공극 수압의 변화 그리고 암반에서의 온도, 공극 수압, 변형률 변화를 예측하고 실측값과 비교할 예정이다.

3.3 Task C

지금까지의 DECOVALEX 프로젝트는 주로 THM 거동 특성에 초점을 맞추어 진행이 되었지만 DECOVALEX-2015 Task C의 경우 화학적인 거동에 초점을 두어 THMC 거동을 연구하고 있다. Task C1에서는 실험실 시험 결과를 토대로 THMC modelling을 수행하며 Task C2에서는 DECOVALEX-2011 수행했지만 다소 만족스러운 결과를 내지 못한 Task C를 지속적으로 수행하고 있다.

3.3.1 Task C1

Task C1에서는 암석의 절리면에서의 THMC 거동 특성을 평가하기 위해 미국 Penn State 대학과 일본 Ehime 대학교에서 각각 novaculite와 granite으로 수행한 실험실 시험의 결과들을 토대로 THMC modelling을 수행한다. Task C1에서의 modelling은 온도와 응력의 변화가 절리면에서의 유량변화, 유동에 따른 Si 농도변화, 수리적인 간극의 변화 그리고 pH에 미치는 영향을 예측하고 실측값과 비교한다.

3.3.2 Task C2

Task C2에서는 절리 암반에서의 THMC 거동 특성을 평가하기 위해 체코 Bendrichov 수로 터널에서 수행된 현장실험 결과를 토대로 THMC modelling을 수행한다. Task C2에서는 지하수 유입량 변화, 추적자 시험, 절리 암반의 응력 및 변위 변화를 modelling하여 예측하고 현장 시험 결과와 비교한다.

4. 결언

DECOVALEX 프로젝트에서는 단순히 현장 및 실험실 실험 결과에 대한 정보 교환의 틀을 벗어나 동일한 문제에 대한 수치해석 결과를 상호 검증함으로써 보다 효과적인 해석기법의 개발을 하고 있다. 따라서 한국의 많은 방사성폐기물처분관련 연구자들이 다양한 Task에 참여하여 처분시스템의 신뢰도를 높이고 수치해석 기법 개발의 효율성을 더욱더 높이는 기회로 삼을 필요가 있을 것으로 판단된다.

5. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 연구개발 중장기 계획사업의 일환인 공학적방벽 성능향상 기술 개발 과제(53341-12)로 수행되었습니다.

6. 참고문헌

- [1] 권상기, 김진섭, 조원진, 2009, 국제공동연구 DECOVALEX-2011 연구 현황, 한국방사성폐기물학회 춘계 학술대회 논문 요약집, 169-107.