

공학적방벽의 고속전단시험모듈 개발

이민수*, 최희주, 이종열, 김현아

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*minm@kaeri.re.kr

1. 서론

고준위폐기물 혹은 사용후핵연료를 안전한 심지층에 처분하는 방안이 전 세계적으로 연구되고 있다. 심지층은 인간에 의한 사고를 방지하기에는 유리하지만, 지진과 같은 지각변동은 피할 수 없다. 따라서 지층처분을 고려하고 있는 나라들은 설계된 공학적 방벽을 관통하는 암반의 전단거동에도 처분용기가 파손되지 않고 안전한지를 확인하려고 한다. 처분용기가 견딜 수 있는 전단 조건은 일본의 경우에는 전단속도 1 m/s, 전단거리 10 cm이며 [1], 스웨덴의 경우에는 전단속도 1 m/s, 전단거리 5 cm이다[2]. KAERI에서 설계한 A-KRS 시스템에서의 전단조건은 전단속도 1 m/s, 10 cm이다[3]. 실제 규모로 1 m/s의 속도로 공학적 방벽을 관통하는 전단움직임을 실험적으로 구현하는 것은 거의 불가능에 가깝다. 따라서 많은 나라에서는 축소 규모 실험과 전산모사를 병행하여 실시하면서, 실제 상황에서의 안전성을 입증하려고 노력 중에 있다. 외국의 경우 실험적 전단속도는 160-100 mm/s 정도로 실제 기준의 1/10 수준으로 시험하고 있다. 이에 본 연구에서는 실규모는 아니지만, 전단속도를 1.0 m/s 수준에서 시험할 수 있는 모듈을 개발하고자 하였다.

2. 본론

2.1 전단시험 기기의 구성

일반적으로 시험되는 전단시험기기는 공학적방벽에 단층이 발생할 경우를 가정하여, 전단 움직임에 의한 축소판 EBS 움직임과 견전성을 실험실에서 살펴보기 위하여, 실린더형 전단 모듈 안에 완충재와 시험용기를 장착하고, 한쪽을 INSTRON과 같은 기계장치로 일정한 속도로 눌러서 전단시험을 수행하고 있다(Fig. 1). 그리고 전단시험에서 측정된 완충재 혹은 시험용기의 응력값과 FEM(finite element method)로 전산모사한 해석 결과와 비교하여 모델링의 정확성을 높이고 있다. 최종적으로는 실제 규모의 단층 거동(최대 1m/sec, 및 전단움직임 10

cm 이상)에 대한 전산모사의 정확도를 높이는 데 그 의미가 있다.

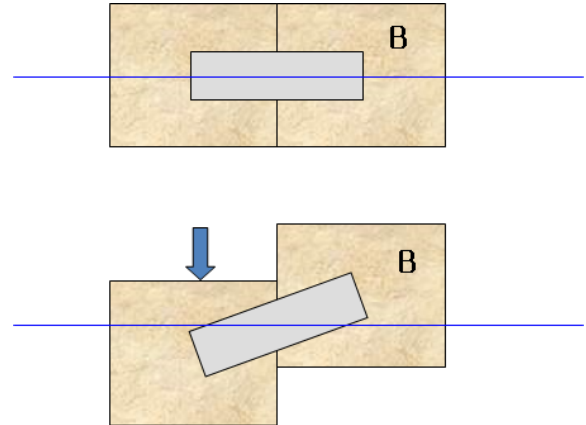


Fig. 1. Schematic diagram of a boreshear motion.

2.2 고속 전단시험 기기의 구성과 작동

전단시험모듈은, 내부 구리용기(외경 30 mm, 길이 60 mm)는 압축벤토나이트(외경 70 mm, 길이 120 mm)로서 실규모의 약 1/30 크기이다. 시험모듈의 반쪽을 누르면서 전단거동이 성립되도록 되어 있다. 일반적으로 모듈에 전단을 가하는 장치는 고속프레스를 많이 사용한다. 그러나 최고 속도 1 m/s를 만족시키는 장비는 구하기 힘들기 때문에, 고하중의 낙하추를 반쪽 모듈 위로 떨어뜨려, 전단 움직임을 얻고자 하였다(Fig. 2).

전단시험모듈은, 내부 구리용기(외경 30 mm, 길이 60 mm)는 압축벤토나이트(외경 70 mm, 길이 120 mm)로서 실규모의 약 1/30 크기이다. 시험모듈의 반쪽을 누르면서 전단거동이 성립되도록 되어 있다. 일반적으로 모듈에 전단을 가하는 장치는 고속프레스를 많이 사용한다. 그러나 최고 속도가 1 m/s를 만족시키는 장비는 구하기 힘들기 때문에, 고하중의 낙하추를 반쪽 모듈 위로 떨어뜨려, 전단 움직임을 얻고자 하였다(Fig. 2).

자유낙하를 시킬 경우, 떨어지는 추가 1 m가 되는 거리는 자유낙하방정식을 통해 구한 결과, 50.97 mm 이었다. 낙하추가 모듈에 가하는 운동에너지는 낙하추의 무게와 속도에 의해 결정되며, 모듈이 전단되면서 낙하추에서 전해진 운동에너지를 흡수하게 된다. 낙하추를 100 kg으로 하고, 충돌 속도를 2

m/s로 가정한 경우, 운동에너지는 약 196.2 J로 계산되었으며, 약 15 mm 정도 모듈이 전단되면서 약 193.6 J이 흡수될 것으로 예상하였다. 예상되는 193.6 J은 프레스를 통한 저속 사전시험에서 얻어진 값이었다. 낙하추가 다시 15 mm 더 전단거동을 추진하면서 내려가기 때문에 15 mm 만큼의 위치 에너지가 운동에너지로 더해지게 된다. 따라서 최종 15 mm 전단거동이 완료된 후, 추의 속도는 약 0.6 m/s로 계산되었다. 한편, 15 mm 전단 후, 낙하추는 모듈 모서리 4군데 설치된 안전용 지지대와 충돌하면서 완전히 정지하게 되도록 되어 있다.

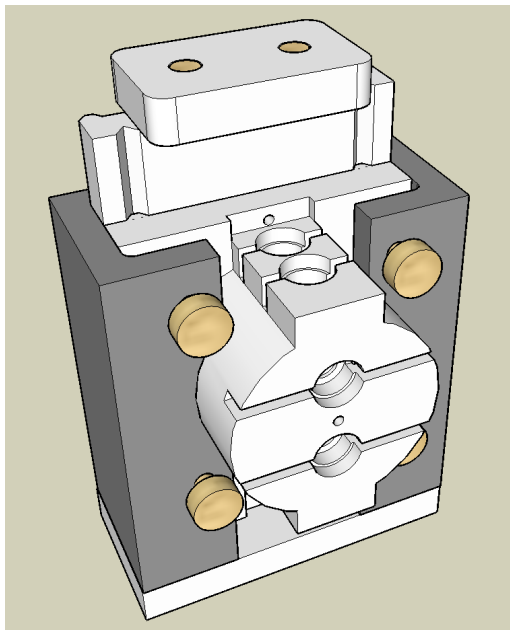
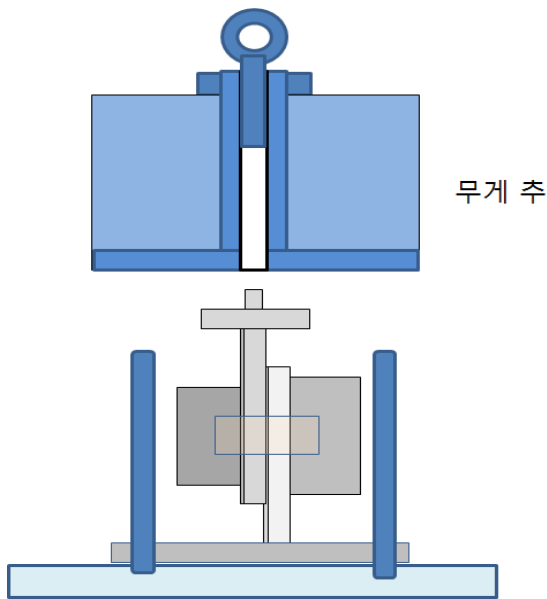


Fig. 2. Lateral sketch of a boreshear device(top) and its shearing module (below).

2.3 전단시험모듈

전단시험모듈은 1/30 정도 규모로 모듈형으로 설계되었으며, 2개의 분리된 실린더형 챔버가 맞닿는 면이 물리적으로 미끄러지는 구조로 되어 있다. 내부에 위치한 완충재와 시험용기는 전단되면서 변형되거나 회전이 된다. 시험용기는 구리봉(직경 30 mm, 길이 60 mm)으로 제작되었으며, 내부에는 막대형 자석이 있어서, 외부에서 나침판을 사용하여 해체하지 않고도 처분용기의 회전상태를 점검할 수 있도록 하였다. 모듈내 완충재 공간은 직경 70 mm, 길이 60 mmx2이다. 완충재가 접하는 모듈 내면에는 물이 스며들 수 있도록 챔버 양단에 2 mm 두께의 금속 필터 설치되어 있으나, 실린더 벽면에는 없다. 모듈의 전단범위는 0-30 mm 정도이다. 전단시험 시 압력 변화를 측정하기 위해 위치가 고정된 챔버 반쪽 내면에는 6개의 다이아프램형 압력센서가 설치된다. 그리고 하강하는 반쪽 챔버 하단에는 변위센서가 설치되어 전단 속도를 측정할 수 있도록 하였다. 무게추는 갠트리 크레인을 통해 들어 올린 후, 연결 끈을 풀어서 떨어뜨리는 구조이다.

3. 결론

앞으로 제작될 전단시험장치는 실제 지진에 대비한 한국형 공학적 방벽의 안전성을 확인하는데 사용될 예정이다. 실험적으로 얻어진 전단시험 결과들은 실제규모의 전단거동을 모사할 수 있는 정확한 전산모형을 개발하는데 이용될 예정이며, 현재 전산모사 모델개발도 별도로 추진 중에 있다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력기술개발사업(NRF-2012M2A8A5025577)의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] KAERI Technical report, 'KAERI HLW 공학적 방벽의 JAEA 전단시험 준비', KAERI/TR-3745/2009.
- [2] SKB Technical Report, 'Earthquake induced rock shear through a deposition hole', SKB/TR-10-33.
- [3] KAERI Technical report, '심지층 처분용기 설계 및 제작 기술성 분석', KAERI/TR-4458/2011.