

공학적규모 이상의 균질 완충재 블럭 생산을 위한 방법론 제시 및 제작조건 도출

김진섭^{1*}, 박정찬¹, 김건영¹, 소재철²

¹한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²(주)맥테크, 대구광역시 달서구 신당동 321-152

*kjs@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력연구원에서 수행하고자 하는 현장실험 In-DEBS (In-situ Demonstration of EBS)는 공학적방벽재의 현장 적용성을 지하처분연구시설 (KURT)에서 실증(In-situ Demonstration)하고, 열-수리-역학적(THM) 복합거동 해석모델의 검증에 사용될 실증데이터를 생산하는 것을 주요 목적으로 한다.

In-DEBS 현장시험은 한국형 기준처분시스템 (KRS)의 1/2.3 규모의 실험으로써, 이에 사용되는 완충재 블록의 직경은 800 mm에 해당된다. 실험실 수준에서 벗어나 공학적규모 이상의 완충재 블록을 제작할 경우, 규모가 커지면서 실험실 조건에서 발생하지 않는 다양한 변수가 발생하게 된다. 프레스 압 재하로 성형된 완충재 블록의 상·하단 부에는 밀도차이가 발생하며, 또한 블록의 방향성(축방향 vs. 횡방향)이 존재하게 된다. 이는 THM 복합거동 예측 모델을 검증하기 위한 데이터를 생산함에 있어 불확실성을 제공하는 중요한 요인 중의 하나이다.

따라서 본 연구에서는 공학적규모 이상의 완충재 블록을 생산하면서 발생할 수 있는 밀도의 공간분포 편차와 방향성의 존재를 저감하기 위한 방법을 제시하였다. 또한 그 제조방법과 관련하여 소요 밀도의 완충재 블록을 생산하기 위한 블록 제작조건을 도출하였다.

2. 실험방법

분말을 이용한 전형적인 프레스 가압 성형방식은 연직하중 방향의 1축을 이용하는 방법으로, 규모가 커짐에 따라 일반적으로 상단부의 밀도가 하단부에 비해 크게 성형되는 특징이 있다. 따라서 본 연구 사용된 프레스는 다이 플로팅 방식을 이용하여 상부에서 가압을 하되 중간의 플로팅(floating) 방식의 성형물드가 하부 물드를 눌러 상·하부가 동시에 중간의 분말을 가압하는 방식을 선택하였다.



Fig. 1. 200ton press & CIP apparatus.

또한 고강도를 요하는 전력부품 등의 제조업 분야에서 많이 활용되고 있는 CIP(Cold Isostatic Press; 냉간정수압프레스) 기법을 추가적으로 적용하였다. 즉 프레스 가압방식에 의해 1차 성형이 된 완충재 블록을 2차적으로 CIP 기법을 이용하여 재차 성형을 수행하였다. 여기서 CIP 기법은 유체를 이용하여 고압으로 분말을 성형하는 기법으로, 모든 방향으로 압력이 균일하게 적용되어 블록 내 모든 방향에서 균질한 밀도를 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

따라서 본 연구를 위해 KJ-II 벤토나이트의 최적함수비를 결정하였고, 이를 바탕으로 다이플로팅 방식의 프레스 재하 및 CIP 기법적용을 통해 완충재 블록을 제작하였다. 또한 소요 밀도의 완충재 블록을 얻기 위해, 프레스 및 CIP 압력에 따른 완충재 블록 성형밀도와와의 관계를 규명하였다.

3. 실험결과

3.1 최적함수비(OMC) 결정

하중을 300 kg/cm^2 로 맞추어 최적함수비(OMC) 결정을 위한 실험을 수행하였다. 측정결과 KJ-II 벤토나이트의 최적함수비는 15.8%이었으며, 그 때의 최대밀도는 1.662 g/cm^3 이었다. 이는 스웨덴 ASPO URL에서 사용된 벤토나이트의 최적함수비(17.4%)에 비해 상대적으로 낮음을 알 수 있다.

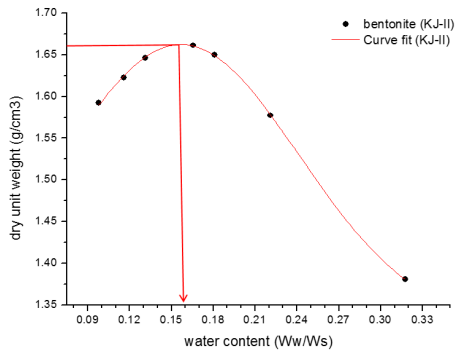


Fig. 2. OMC curve of KJ-II bentonite.

3.2 프레스 압력별 단위밀도 측정

재하하중에 따른 성형블럭의 밀도를 측정하였다. 각 현장실험 마다 성형되는 완충재 블럭의 크기가 변경되기 때문에 단위면적당 하중 즉, 압력을 이용하여 그 성형특성을 측정하였다.

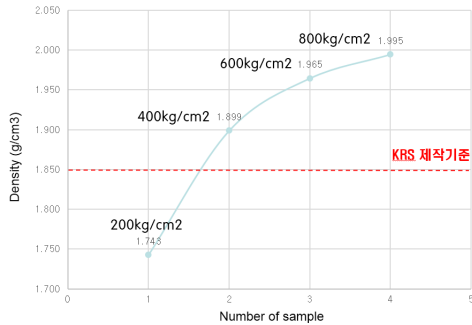


Fig. 3. Density of bentonite block with regard to the applied pressure.

KRS에서 규정된 완충재의 건조단위밀도는 1.65 g/cm^3 이상이고, 자연보관상태의 함수비가 약 11.4%임을 감안할 때 소요 기준을 충족하기 위해서는 최소 400 kg/cm^2 이상의 압력을 가해야 함을 알 수 있다.

3.3 Press + CIP 기법적용 완충재 블럭

1차로 press 성형된 완충재 블럭을 대상으로 CIP 기법을 적용하였다. 추가적인 CIP 적용으로 약 5%의 크기가 감소되었으며, 성형블럭의 최종적인 밀도 또한 소폭 증가됨을 알 수 있다. 각 프레스 압력별 그리고 CIP 유체압력 별 성형되는 완충재 블럭의 단위밀도를 아래의 Fig. 4에 나타내었다.



Fig. 4. Engineering-scale bentonite block (D760mm) manufactured from press and CIP.

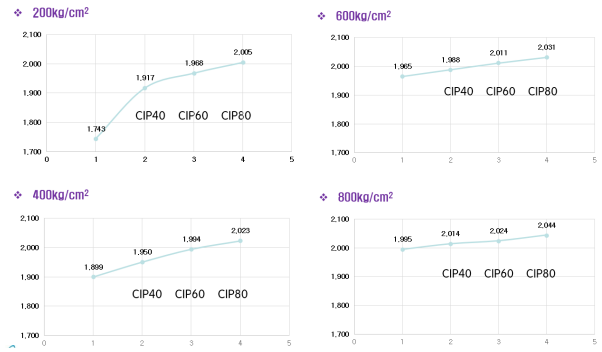


Fig. 5. Density with regard to the applied CIP pressure.

또한 400 kg/cm^2 및 50 MPa 의 압력재하로 성형된 완충재 블럭의 각 공간분포별 그리고 깊이별 밀도측정을 수행하였다. 8개의 지점에서 상·중·하단 총 24개의 샘플을 통해 측정된 밀도의 표준편차는 최대 0.02 이내의 값을 도출하였다. 즉 본 연구에서 제시된 방법론을 통한 공학적규모 이상의 완충재 블럭의 성형밀도가 매우 균질함을 알 수 있었다.

4. 결론

다이플롯 방식의 프레스 가압방식과 CIP 기법의 적용을 통해, 공학적규모 이상의 균질한 밀도분포를 가진 완충재 블럭의 성형 가능성을 확인하였다.

또한 본 연구를 통해 제시된 방법론을 이용하여 소요 밀도를 충족하는 벤토나이트 완충재 블럭을 얻기 위한 하중조건(press 및 CIP의 소요 압력)을 각각 도출하였다.

본 연구결과는 In-DEBS에서 사용될 공학적규모 이상의 신뢰성 있는 완충재 블럭을 생산하는데 중요한 기초자료로 활용될 수 있으며, 나아가 THM 복합거동 예측모델의 신뢰성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.