

실증용 분말화장치의 스케일 업을 고려한 나이프 게이트 밸브 플레이트의 열 변형 해석

김영환, 정재후, 송대길, 홍동희, 박병석, 윤지섭

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

yhkim3@kaeri.re.kr

원자력 발전소에서 매년 발생하는 방사성 폐기물량을 줄이기 위하여 차세대관리 공정을 개발하고 있다. 차세대관리 공정에서 금속전환로에 UO_2 펠릿을 산화하여 균질한 U_3O_8 분말을 공급하기위해서 분말화장치가 개발되고 있다. 분말화장치 구성부 중에서 분말을 분말용기로 이송하기 위해서 가열로 하부를 개폐시키는 나이프게이트 밸브(knife gate valve)가 필요하다. 본 연구의 목적은 기존 나이프게이트 밸브 플레이트의 열 구조 측면에서 안전한지를 확인하고 주요 설계 치에 대해 적절한 공학적인 설계자료 생산을 목적으로 하고 있다. 이를 위해 분말화 장치의 스케일 업(scale-up)에 따라 나이프게이트 밸브의 원형플레이트에 대한 열 변형 정도를 분석하였다. 즉 나이프게이트 밸브의 직경변화에 대한 열 구조해석을 수행함으로써 응력분포와 변위를 확인하고 설계 값에 대한 평가와 적절한 설계 data를 제시하였다.

연구를 수행하기 위해, 열 구조해석이 가능한 유한요소 수치해석 코드인 ANSYS 8.0 을 사용하였으며, 나이프게이트 밸브 플레이트가 탄성영역에서 항복조건을 만족할 수 있는 지를 평가하기위하여 ASME 설계기준을 따랐다. 그림 1에서 분말화장치의 내부구조는 직선·회전 구동축, 에어실린더, 메시, 히터, 나이프게이트 밸브, 공기분배기 등으로 구성된다. 반응이 완료되면 UO_2 펠릿은 U_3O_8 으로 분말화되고, 분말용기로 보내기 위하여 나이프게이트 밸브의 개·폐에 의해 분말의 흐름을 조절한다. 이때 그림 2에서와 같이 분말의 통로인 나이프게이트 밸브 플레이트의 직경크기에 따라 밸브 플레이트의 변형 및 응력 변화 예측은 대용량 장치 설계에 있어서 매우 중요한 안전 기준이 된다. 따라서 운전온도로 예상되는 500~800°C에 이르는 영역에서 직경변화에 의해 나이프게이트 플레이트에 걸리는 변형응력을 해석하고 안전여부를 확인하였다.

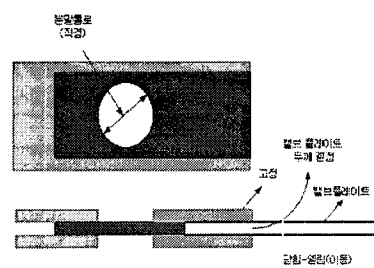
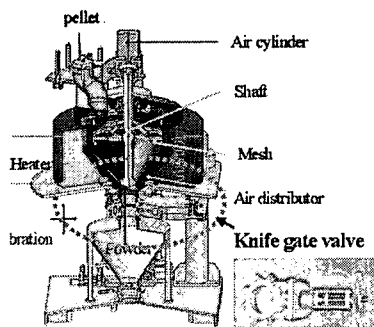


Fig. 1. Internal structure of Vol-oxidizer.

Fig. 2. Schematics of knight gate valve.

Table 1 Thermal analysis condition of valve plate

제목	내용
상황	장치 Scale-up에 따른 밸브 플레이트 변형
결정사항	valve 두께 결정
온도조건	500~800°C
사용시간	8시간/batch-day
재질	SUS 304S
밸브변수(mm)	직경: 100, 150, 200, 250, 300

본 논문에서는 해석대상물의 해석조건을 기준으로 하여 조사된 고온에서의 SUS304 물성 치를 입력 값으로 설정하고 변형해석을 수행하였다. 해석에 필요한 실험조건은 표 1과 같고, 재료 물성치는 그림 3 과 표 2와 같다. 밸브 플레이트 두께 평가를 위해서 밸브플레이트가 여닫는 위치를 원형 플렌지로 가정하여 모델링 하였고, 이 플렌지와 가열로 하단부 밸브가 연결되도록 하였다. 밸브 플레이트의 두께는 현재 20mm이다. 이 값을 기준으로 밸브의 직경이 변화함에 따라 응력과 변위를 구하였다.

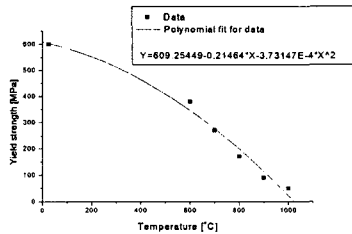


Fig. 3. Yield stress on the temperature of SUS 304.

Table 2 SUS304 material properties

Temp. (°C)	coefficient of thermal expansion (μm/m/°C)	Temp. (°C)	25	600	700	800	900	1000
0-100	17.2	Tensile Strength (MPa)	600	380	270	170	90	50
0-315	17.8							
0-538	18.4							
0-649	18.7							

전반적으로 응력범위는 국부적인 부위를 제외하고 10-60MPa 가량으로 낮았으며 변위도 1% 이내임을 확인했다. 직경이 커짐에 따라 응력과 변위가 비례해서 증가하는 경향을 보이고 있지만 그 차이가 크지 않았다. 직경이 커짐에 따라 압력하중에 노출되는 부분이 늘어나지만 탄성영역 내에서의 변형이므로 문제될 것이 없다고 판단되었다. SUS304의 경우 항복강도 역시 같은 온도의 페라이트계 합금에 비해서 낮은 편이다. SUS304의 온도에 따른 항복강도 변화곡선을 보면 800°C 이상에서 100MPa 이하로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 국부열응력이 아닌 일반 열응력의 경우에 응력집중현상을 무시하더라도 항복강도의 2배를 넘게 되면 탄성거동을 보장할 수 없다. 또한 고온에 의한 내부의 열 사이클이 반복될 시에 thermal ratcheting으로 인한 진행누적 소성변형의 위험성이 있다.

본 연구에서는 분말화장치의 나이프 게이트 밸브의 열 변형 해석을 통하여 설계를 위한 안전요건을 정량적으로 확인하였고, 방사성폐기물을 감소시키는 공정장치의 일부로서 분말화장치의 상용화 설계를 위한 나이프게이트 밸브의 설계 자료를 확보하였다.

Table 3 Stress-displacement values according to valve diameter

밸브직경(mm)	70(기준)	100	150	200	250	300
응력(MPa)	11.3	17.8	20.7	29.2	35	59.6
변위(10 ⁻³ %)	6	9.57	11.4	16.8	23.2	36.1

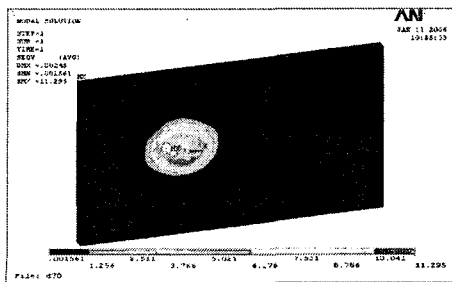


Fig. 4. Thermal stress of valve plate.

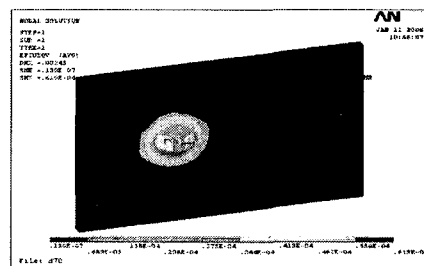


Fig. 5. Thermal displacements of valve plate