

고온 용융염 금속전환공정 구동부의 모듈화 설계

Modular Design for Driving Parts of Reduction of Oxide to Metal in Molten Salt

김영환, 윤지섭, 정재후, 홍동희, 진재현

한국원자력연구소

요 약

방사선환경에서 고온으로 운영되는 공정 장비들은 사고발생 시 신속한 원격 유지보수가 요구된다. 특히 구동부는 사고발생율이 높기 때문에 모듈화설계를 해야한다. 따라서 본 연구에서는 차세대 관리공정의 고온 용융염 금속전환공정 구동부의 모듈화 설계를 위해서 고장발생률이 가장 높은 보수대상 장치를 선정하고, 분해조립 방안을 분석하였고, 고온 용융염 금속전환공정 구동부의 주요부분에 대한 모듈분해특성, 연결과 간섭상황을 조사하였다. 공정장치 정면에서 접근이 용이하도록 하기 위해서 시계확보의 범위를 조사하였으며, 고온 용융염 금속전환공정 구동부의 모듈화 설계를 위해서 안내장치, 토글클램프, 구동축 커플링, 축의 분리등 모듈 특성을 분석하였다. 이를 바탕으로 혼합반응 교반기, 용융염 밸브개폐부의 모듈화설계 자료를 도출하고, 고온용 공정의 구동부 장치 설계에 적용하였다.

SUMMARY

The process devices that operated in high temperature have to be considered on the remote maintenance in the radiation environment, and the driving parts have to be required the modular design because of the high accident rate. In this paper, we have selected the devices with high accident rate, and applied to the module of jointing/disjointing, connection and intervention for modular design of the driving parts of reduction of oxide to metal in molten salt. We have surveyed the range of field of view for the easy approaching on the front of process device, and analyzed the module properties of guide, toggle clamp, driving shaft coupling, shaft separation, etc. for the modular design of the driving parts of reduction of oxide to metal in molten salt. On this results, we have produced the modular design of the mixing reaction agitator, the valve parts of the melting salt, and applied the data to the modular design of the driving parts of the high temperature process.

1. 서론

중합공정장치에는 여러 가지 장치가 있는데, 예비하트의 사용목적인 사용후핵연료의 부

피를 줄이기 위한 주요 공정(장치)인 고온 용융염 금속전환공정의 구동부를 선정하였다. 또한 각 장치의 구성 부분별로 분석하였다. 시험장치는 반응시험 및 반응조건 도출을 목적으로 설계·제작된 장치여서 실증용 장치와 차이가 있지만, 기능적인 모듈은 크게 차이가 없기 때문에 이의 구동부를 대상으로 장치 분석을 수행하였다. 장치는 여러 가지 모듈로 구성되는데, 보수대상 모듈을 선정하는 기준으로 각 모듈의 고장발생 확률로 정하였다. 고장확률이 높은 모듈은 결국은 잦은 유지보수의 가능성이 높기 때문이다. 고장확률에 의한 대상선정은 모듈의 동작온도, 방사선의 영향, 그리고 부식의 영향을 기준으로 상대적 평가를 통해서 선정하였다. 장치의 구동부 모듈화와 모듈의 조립·분해를 쉽게 할 수 있도록 고온 용융염 금속전환공정 구동부의 적합한 모듈요건을 파악하고 이를 적용 및 응용하여 모듈화 설계를 하는 것이 본 연구의 주요 목적이다. 따라서 모듈의 원격 분해 및 조립을 위해서 모듈 및 모듈간의 연결 분석, 순서와 사용 가능한 장비분석, 그리고 시계확보를 위한 방안을 제시하고, 고온 용융염 금속전환공정 구동부인 혼합반응기와 용융염밸브 축의 모듈화 설계 자료를 도출하였다.

2. 본론

2.1 고온 용융염 금속전환공정 구동부

그림 1은 고온 용융염 금속전환공정 상부플랜지에 대한 3차원 모델링으로 본 장치의 주요 구성품을 도식적으로 보인 것이다. 주요한 모듈들은 장치의 상부에 설치되어 있으며, 주요 구동부의 모듈설계부분이 집중되어 있는 곳이다. 실제 장치는 2.4 m(H) x 1.2 m(W) x 1.7 m(D) 의 크기이다. 전환로 몸체부는 반응이 일어나는 공간을 제공하며, 혼합반응 교반기(Agitator)는 끝부분에 임펠러(Impeller)가 부착되어 있는데, 이것이 회전하면서 반응을 균일하게 빠르게 일어날 수 있도록 한다. 모터구동부는 이에 필요한 회전구동력을 제공한다. 리튬 공급부는 반응에 필요한 리튬을 공급한다. 열량 공급부는 반응에 필요한 열량을 제공한다. 참고로 반응조건은 400~600 ℃ 정도이다. 용융염 밸브개폐부는 반응후에 금속으로 전환된 우라늄을 회수하는 장치이다.

2.2 모듈간 연결 및 간접 분석

혼합반응 교반기와 용융염 밸브개폐부의 다른 모듈과의 연결을 보면 상부의 플랜지 결합을 통해서 전환로 몸체부와 연결되어 있다. 우선 모듈을 해체하기 위한 사전적인 작업으로 외부장치간의 연결을 해제해야 한다. 초기의 설계는 모터구동부가 장치측면에 부착되어 있고 유연축이음을 통해서 혼합반응 교반기 상단에 설치되어 있는 자력 구동장치(Magnetic drive)에 회전력을 전달하게 된다. 이 경우에 유연축이 작업에 간섭을 일으킬 수 있다. 그래서 혼합반응 교반기 상단에 모터구동부를 설치하는 방안을 고려하며, 두 장치를 합쳐도 6 kgf 정도이기 때문에 조작기나 M/S 매니플레이터로 충분히 취급할 수 있다. 경우에 따라서는 두 모듈 전체를 교체해야 하거나, 모터구동부만을 교체하거나, 혼합반응 교반기만을 교체해야 한다. 그래서 모터구동부와 혼합반응기의 축이음과 플랜지 결합은 착탈이 간단한 구조가 되어야 분해·조립 작업의 효율성을 높일 수 있다. 용융염 밸브개폐부를 장치로부터 분리하면 그 높이(작업대, 장치 몸체, 용융염 밸브개폐부)가 핫셀의 높이에 근접하기 때문에 손쉬운 이동작업이 어렵다. 그래서, 상부의 여유작업 공간을 위해서 용융염 밸브개폐부를 상·하부로 분리하여 설계한다. 혼합반응 교반기와 마찬가지로 축이음과 플랜지 결합의 연결·해제를 쉽게할 수 있는 구조가 되어야 분해·조립 작업의 효율성을 높일 수 있다. 그러

나 축이음은 혼합반응 교반기의 회전동력 전달과는 달리 길이방향의 힘 전달 구조여야 한다. 그림2 는 용융염 밸브개폐부의 연결상황을 보여주고 있다

2.3 시계확보분석

그림 3은 용융염 밸브개폐부와 혼합반응 교반기에 대한 시계범위이다.. 이 장치의 경우 상부에 부착되는 모듈이 많기 때문에 모듈들의 적절한 배치가 중요하다. 가급적 모듈들을 정면에 대해 일렬로 배치하거나 모듈의 높낮이를 이용하여 정면에서 모든 모듈들의 구동부와 연결용 부품이 보이도록 해야 한다. 그림 4와같이 혼합반응기와 용융염 밸브개폐부의 경우에는 리튬공급장치 뒤편에 있지만 적당한 배치를 통해서 플랜지의 볼트들에 대한 시계는 확보할 수 있다. 일반적인 기계장치의 플랜지는 주위에 다수의 볼트를 배치하지만, 핫셀내 장치의 유지·보수의 입장에서는 다수의 볼트는 부담스럽다. 그래서 고도의 기밀을 유지하는 위치가 아니라면 그 수를 줄이도록 한다. 또한, 볼트에 대한 시계를 확보하기 위해서는 시계방해 요소에 의해 볼트가 가려지지 않도록 설계해야 한다..

2.4 각 요소별 모듈 설계

체결용 볼트는 결합을 위해서 필수적인 요소이다. 표준화된 상용제품을 사용하는 것도 필요하지만, 원격 유지·보수 업무의 특성도 고려하여 설계하는 것도 중요하다. 볼트는 이탈방지 특성(captive or captured)을 보유해야 한다. 즉, 체결전이나 해체후에도 볼트가 모듈에 붙어있어야 함을 의미한다. 이러한 특성이 없는 경우에는 체결전에는 모듈 이동후에 볼트를 하나씩 가져와야 하고 해체후에는 하나씩 관리해야 한다. 플랜지에서 설명한 것처럼 볼트가 모듈(부품)에 붙어있다면 이러한 비효율성을 제거할 수 있다. 시계확보 부분에서 언급한 것처럼, 볼트의 위치정렬은 가급적 육안으로 관측이 가능하도록 하는 것이 좋다.

안내장치는 모듈의 결합을 쉽게 혹은 실수 없이 할 수 있도록 지원하기 때문에, 장치(모듈)설계에 적절한 수와 방법의 안내장치를 고려해야 한다. 그림 5는 안내장치의 예시이다. 이들을 기본으로 상황에 맞게 응용 및 변경하는 것이 필요하다. 시각적인 방법은, 모듈의 정면방향을 표시하는 화살표를 부착하거나 두 모듈이 결합되는 부분에 결합을 표시하는 식별자를 부착하는 것인데, 특수제작·무게증가·간섭문제 등이 없기 때문에 필히 적용하여야 한다. 그림 5와 같이 혼합반응 교반기의 구동축 커플링은 저속회전 모터와 커플링을 통해서 연결된다. 저속의 경우에 커플링의 연결·해체를 쉽게 하기 위해서 커플링 방법을 응용한다. 이방법은 착탈이 쉬우면서 회전력을 효과적으로 전달할 수 있는 방법이다.

토글 클램프는 모듈간의 연결부품은 아니지만 고려할 사항이 있다. 클램프 같은 경우는 상용품이 다양하고 작동이 단순하며 쉽다. 그러나 원격작업수행을 위해서 손잡이부분을 변형할 필요가 있다. 즉, 상용품의 손잡이는 사람의 손에는 적합하지만 원격작업용 장비에는 부적합하다. 손잡이 부분이 미끄러지거나 빠져나갈 우려가 있다. 그래서 손잡이 부분을 원격작업에 적합하도록 변형하여야 한다. 토글 클램프의 지지력이 커질수록 이를 작동시키는 힘도 커져야 하는데, MSM(작용힘 범위 9kgf 정도)의 범위를 넘어서는 경우, 크레인으로도 작동시킬 수 있는 형상을 가져야 한다.

밸브 축의 분리 및 연결구조는 상·하부로 분리된 모듈의 밸브 축을 원격으로 분리 및

연결이 가능하도록 하고, 연결용 볼트는 이탈방지 특성을 보유하고 있어야 한다.

2.5 모듈화 요건을 적용한 설계(안)의 3차원 모델링

다음은 혼합반응 교반기(그림 6-(a))와 용융염 밸브개폐부(그림 6-(b))에 대한 구성도이다. 상기 각 설계 요소를 정리하였으며, 그림 6-(c)는 모듈화 요건을 적용한 설계안을 적용하여 시험장치를 새로이 3차원 모델링한 결과이고, 그림 7은 이들에 대한 설계도면이다.

3. 결론

고온 용융염 금속전환공정 구동부 분석을 통해서 모듈화설계에 필요한 대상부품을 선정하였고, 실제로 적용될 고온 용융염 금속전환공정 구동부의 주요부품에 대한 분석을 통해서 모듈화 설계에 반영할 요소를 고려하였다. 고온 용융염 금속전환공정 구동부의 주요부분에 대한 모듈분해특성, 연결과 간섭상황을 조사하였다. 공정장치 정면에서 접근이 용이하도록 하기 위해서 시계확보의 범위를 조사하였으며, 고온 용융염 금속전환공정 구동부의 모듈화 설계를 위해서 안내장치, 토글클램프, 구동축 커플링, 축의 분리등 모듈 특성을 분석하였다. 이를 바탕으로 핫셀공정에서 구동부, 특히 회전운동의 회전체와 상하운동의 밸브축 설계분석을 통해서 극한 협소공간에서의 모듈화 설계에 대한 기본안을 제시하였다.

참고 문헌

1. 이호희, 이종렬, 윤지섭, 박성원, 노성기, 원격 유지보수 장비의 설계지침 (Design guidelines for remotely maintained equipment, ORNL, 1988), 한국원자력연구소, 기술보고서, KAERI/TS-32/97, 1997.
2. 서중석, 이호희, 오승철, 박성원, 노성기, 고방사능 차폐시설의 설계지침(I) (Design guidelines for radioactive material handling facilities and equipment), 한국원자력연구소, 기술보고서, KAERI/TS-25/97, 1997.
3. Peckner,D. and Bernstein,I., *Handbook of Stainless Steels*, McGraw Hill, 1977, p.18-5
4. 정재후, 김영환, 홍동희, 윤지섭, 진재현, 박기용, 서중석, 건식분말화/혼합장치 개발, 한국원자력연구소, 기술보고서, 2002.
5. C.T. Kring and S.L. Schrock, "Remote maintenance lessons learned on prototypical reprocessing equipment," *Proceedings of 38th Conference on Remote Systems Technology*, pp.23-27, 1990.

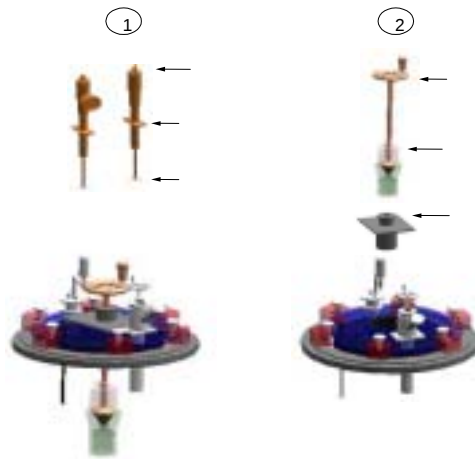


그림 1. 고온 용융염 금속전환공정 구동부의 주요 모듈 분해도.

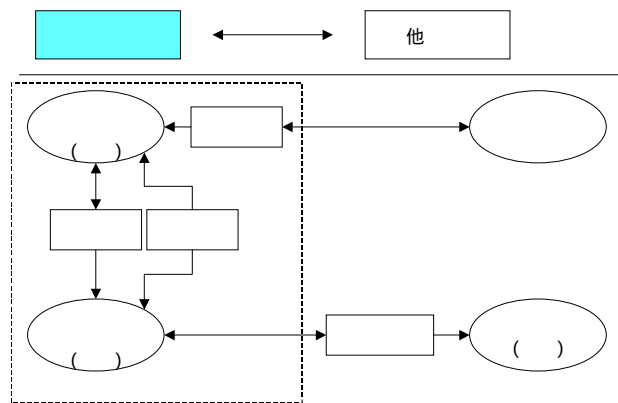
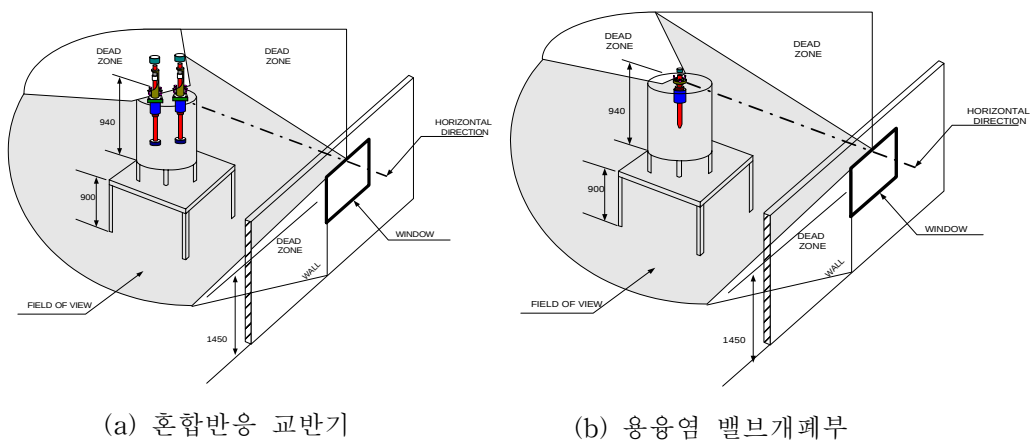


그림 2. 용융염 밸브개폐부의 연결상황.



(a) 혼합반응 교반기

(b) 용융염 밸브개폐부

그림 3. 혼합반응 교반기와 용융염 밸브개폐부에 대한 시계범위.

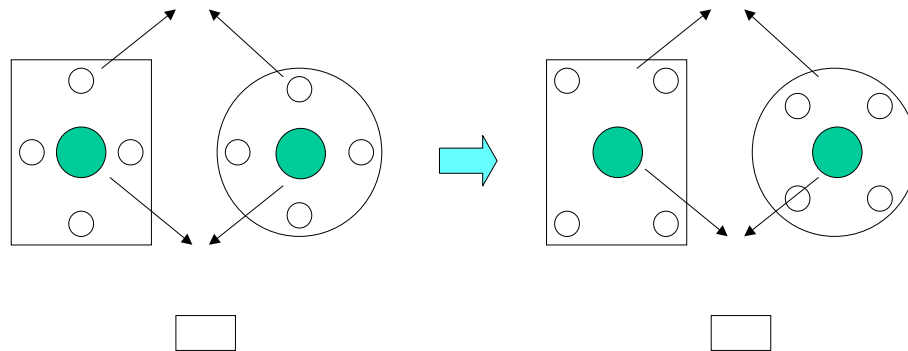


그림 4. 볼트 시계확보를 위한 위치정렬.

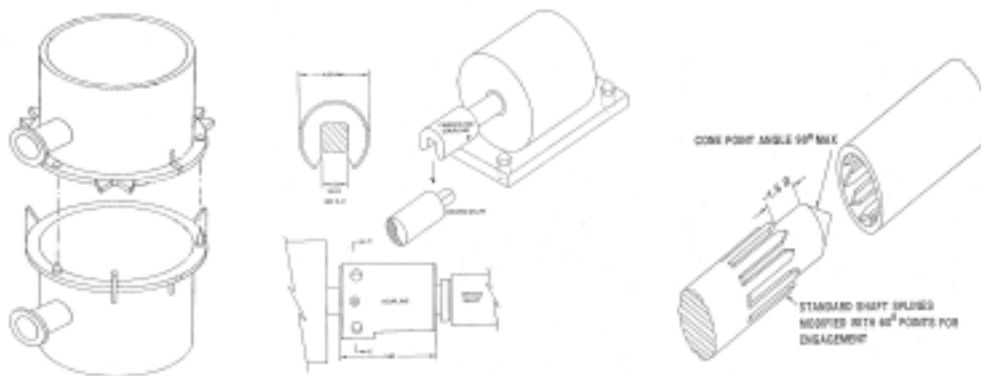
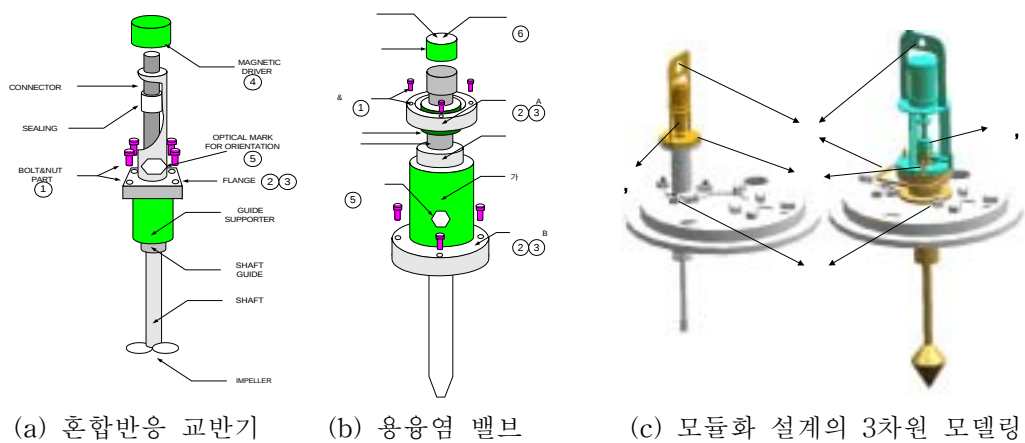
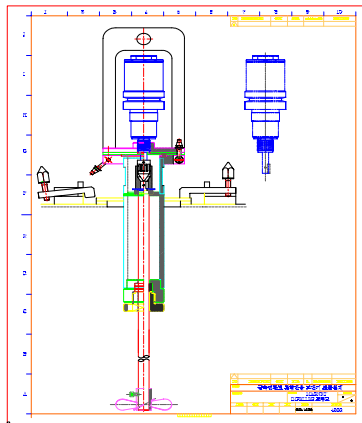


그림 5. 안내장치의 예시 및 회전력 전달을 위한 커플링.

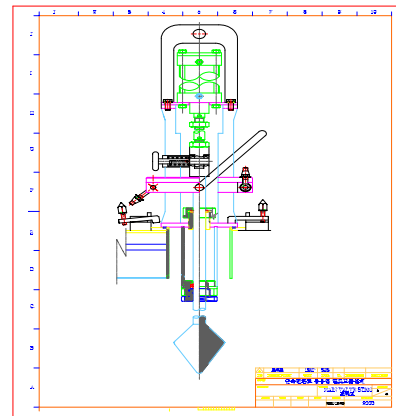


(a) 혼합반응 교반기 (b) 용융염 밸브 (c) 모듈화 설계의 3차원 모델링

그림 6. 혼합반응 교반기와 용융염밸브 개폐부의 구성도 및 3차원 모델링.



(a) 혼합반응 교반기



(b) 용융염 밸브개폐부

그림 7. 혼합반응 교반기와 용융염 밸브개폐부의 설계도면.