원전 정비용 딜리버리 로봇의 유한요소 해석

Finite element analysis on a delivery robot for maintenance of nuclear power plants

* #홍대선[1], 김영준[2], 김도언[2], 류제완[3]

* #D. S. Hong(dshong@changwon.ac.kr)[1], Y. J. Kim[2], D. U. Kim[2], J. Y. Ryu[3]

[1]창원대 메카트로닉스공학부, [2]창원대 기계설계공학과, [3]이노스웰(주)대표이사

Key words : Finite element analysis, Delivery robot, Nuclear power plants, Maintenance

1. 서론

원자력 발전이 지구온난화 문제의 현실적 대안으로 인식됨에 따라 최근 원자력 산업은 비약적으로 발전하고 있다. 국내 원전이 건설된 지 30여년이 지난 현재에 들어 문제 발생 가능성이 많아 정비 필요성이 대두되고 있다. 그러나 사실상 국내 원전의 유지보수를 위한 중요 서비스 사업은 AREVA, Westing House등 선진해외 업체에 의해 주도되고 있다.[1] 고방사선 구역에서 수행되는 원전 1차 측 정비기술은 검사, 가공, 용접 등 다양한 기술을 포함하는 고 부가가치의 복합 기술로서 고도의 기술과 신뢰성이 요구되는 국내의 기술개발이 요구되고 있다.

본 논문에서는 국내의 원전 유지보수 서비스 기술 중 원자로 헤드의 검사 및 유지 보수용 딜리버리 로봇의 유한요소 해석을 수행한다.

2. 모델링

딜리버리 로봇의 기본 구조는 내벽에 확고하게 지지하는 플랫폼, 회전축인 θ축, base를 상하로 이동 시키는 Z축, 작업공구 장착부를 반경방향으로 이동 시키는 R축의 3축구조로 구성된다. Fig 1은 2D CAD로 설계 된 도면을 CATIA로 모델링한 모양을 나타낸다.

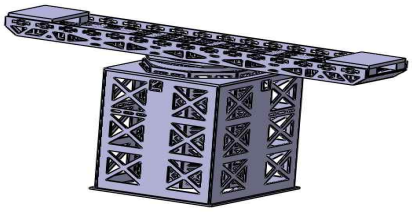


Fig 1. 3D Modeling of the Delivery Robot

3. 유한요소 모델링

딜리버리 로봇의 주 재료는 Al6061이고 Table 1에 로봇에 적용한 물성치를 나타낸다.

Table 1. Properties of Al6061

Yield Stress	276MPa
Young's modulus	68.9GPa
Poisson's ratio	0.33
Density	$2700 kg/m^3$

딜리버리의 구조해석은 ANSYS[2,3]를 사용한다. 본 연구에서는 해석에 필요한 부분들만 단순하게 모델링 하였다. 경계조건으로는 로봇의 바닥면을 고정 시키고 R축의 한쪽에는 가공력과 기계저항을 합한 1500N의 작용부하를, 다른 한쪽에는 용접툴 무게 300N의 작용부하를 적용하였다. Fig 2는 그 경계조건의 그림이다.

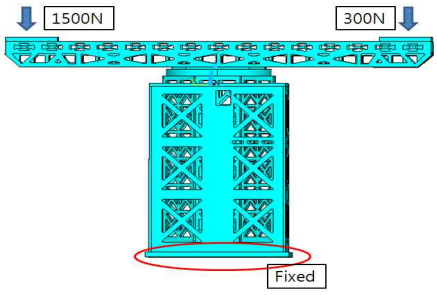


Fig 2. Boundary Condition of Delivery Robot

4. 해석 결과

딜리버리 로봇은 각 축이 동시에 움직이지 않고 각각 움직이는 구조로서 최대응력 발생이 예상되는 R축에 최대작용 부하가 적용 될 때의 로봇의

구조적 안전성을 평가한다. Fig 3은 그 해석 결과를 나타낸다.

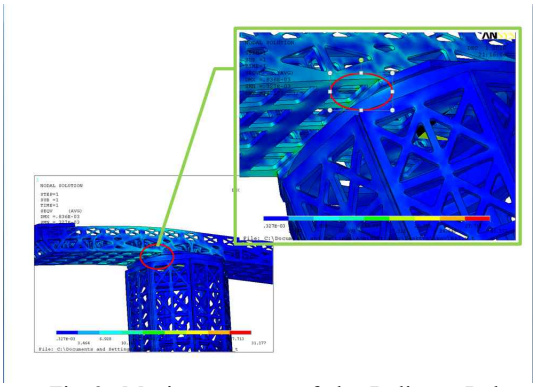
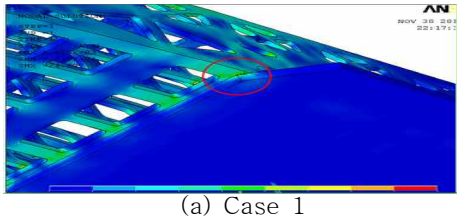


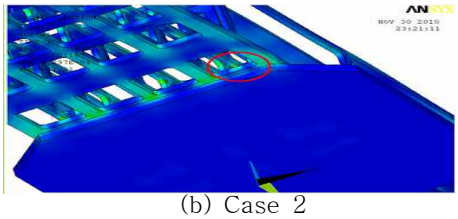
Fig 3. Maximum stress of the Delivery Robot

해석 결과 θ축과 연결되는 부근의 보강재 부위에서 31.2MPa의 최대응력이 발생하였고, 안전율은 8.8로 나타나 구조면에서 안전하다고 판단된다. θ축 본체에는 응력이 크게 발생하지 않았다.

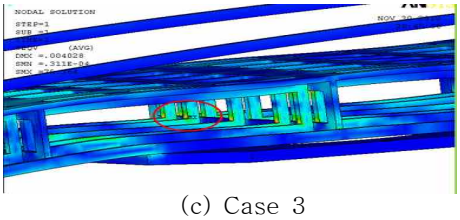
다음으로는 R축의 중량을 감소 시키고자 R축의 내부 형상을 변경하여 구조해석을 수행하였다. Fig 4는 이에 대한 해석 결과를 나타내고 그림의 타원은 최대 응력이 발생한 지점을 나타낸다.



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig 4. Stress Distribution of the R axis

Case 1은 R축의 원래 모델로써 중량은 84.5kg이고 최대응력은 24.7MPa이 발생하여 안전율은 11.2이다. 또한 변형량은 6.2×10^{-4}으로 거의 변형이 일어나지 않았다. Case 2는 R축의 옆판의 홀을 크게 한 경우로써 이때의 중량은 77.4kg으로 중량이 7.1kg 감소 되었고 최대응력은 41.3MPa이 발생하였다. 그리고 안전율은 6.7이 나왔고 변형량은 1×10^{-3}mm가 발생하였다. Case 3은 옆판의 사각구멍과 보강재의 사각구멍을 판 경우로 중량은 58.6kg으로 원래 모델보다 25.9kg(30.6%)의 중량감소를 보였고, 최대응력은 75.3MPa이 발생하였다. 그리고 안전율은 3.7이 나왔고 변형량은 4.2×10^{-3}mm가 발생하였다.

이상의 해석 결과 본래 모델의 안전율은 11.2로 과도 설계되었다고 볼 수 있고 중량감소비와 안전율을 기준으로 판단했을 때 Case 3이 가장 적합한 모델이라고 판단할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 국내의 원전 검사 및 유지 보수를 수행하는 딜리버리 로봇의 개발을 위한 기구해석을 하였다. R축에 정비용 작업공구의 무게와 가공력을 포함한 최대작용 부하가 적용될 때의 로봇의 구조해석을 수행하였다. 해석결과 안전율 11.2로 과도한 설계라고 판단되어 R축의 허용응력을 보존하면서 중량을 줄이기 위해 Case별로 구조해석을 수행한 결과 옆판의 홀과 보강재의 홀을 크게 한 Case3에서 30.6%의 중량이 감소되었다. 본 연구의 결과로 현재의 딜리버리 로봇의 설계에 대한 구조적 안전성을 확인하였고 이에 R축의 중량을 감소시킬 수 있는 방안을 제시하였다.

후기

본 논문은 2010년도 광역권간 연계 활성화사업의 지원으로 연구되었음.

참고문헌

1. 박종은,박종혁,최광희,권영복,“원자력발전소 계획예방정비 공정관리 전산시스템 개발” 한국에너지 공학회 2008년도 추계 학술대회 논문집 pp.91~96
2. 태성에스엔이FEA사업부, 유한요소해석 입문과 선형해석,2004.06.24
3. 태성에스엔이FEA사업부, Ansys 사용자를 위한 예제 모음집,2003