

일체형원자로 제어봉구동장치의 회전형 스텝모터와 전자석용 자성체
구조재인 M-STs403과 STs430의 전자기적 특성

Electromagnetic Characteristics between M-STs403 and STs430
Used Ferromagnetic Structural Steel for Rotary Step Motor and
Electromagnet of SMART CEDM

허 형, 김지호, 유제용, 김종인
한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

일체형원자로 제어봉구동장치의 스텝모터 압력용기와 전자석 하부 압력용기의 자성 재료로 사용되고 있는 STs430과 ABB-CE형 상용로 CEDM의 자성재료로 사용되고 있는 M-STs403의 전자기적 특성(BH 특성)에 따른 토크와 추력을 비교, 평가하였다. 전자기 해석을 위해서 STs403 재료의 BH 특성곡선이 필요한데 이를 위하여 상용로 CEDM의 압력용기에 사용되는 M-STs403 재료의 BH 특성곡선 측정시험도 병행하였다. 해석 결과 내부식성이 우수한 STs430이 기계적특성이 우수한 M-STs403보다 토크와 추력에 있어 약 10-15% 정도 증가하였다.

Abstract

This paper describes the comparison and evaluation of electromagnetic characteristics between STs430 and modified STs403 used ferromagnetic structural steel for step motor and electromagnet of SMART CEDM. A measurement of magnetic hysteresis curve of modified STs430 was preformed for electromagnetic FEM analysis. The FEM results show that a magnetic force of step motor and electromagnet used STs430 instead of M-STs403 is increased about 10-15%.

1. 서 론

일체형원자로의 제어봉구동장치에 장착되는 스텝모터 압력용기 및 전자석이 장착되는 하부압력용기에는 그림 1 및 2에서 보는 바와 같이 전자기적 특성을 좋게 하기 위하여 자료가 형성되는 부분에 자성 재료를 사용한다. CEDM 압력용기에 사용되는 자성 재료는 강도는 물론 내부식성이 좋아야 하고, 투자율이 좋은 재료를 사용하여야 한다. 또한 CEDM 압력용기는 원자로 압력경계의 일부로서 KEPIC 규격 1등급 기기요건을 만족하여야 하므로, KEPIC 규격에 등재된 압력용기 재료를 사용하여야 한다[2]. 이러한 요건을 만족하는 재료 즉, 전자기적 특성과 강도가 우수한 재료로서 STS430과 현재 ABB-CE형 상용로 CEDM에 자성 재료로 쓰이는 ASME Code에 Code Case로 등재된 M-STs403(Modified STS 403)[3]을 비교, 평가해 보고자 한다.

따라서 본 논문에서는 STS430과 M-STs403 재료를 각각 사용하였을 때의 추력을 비교, 검토하기 위하여 일체형원자로 CEDM의 스텝모터와 전자석을 대상으로 하여 전자기 해석을 수행하였다. 전자기 해석을 수행하기 위해서는 STS403 재료의 BH 특성곡선이 필요한데 이를 위하여 상용로 CEDM의 압력용기에 사용되는 STS403 재료의 BH 특성곡선 측정시험도 병행하였다.

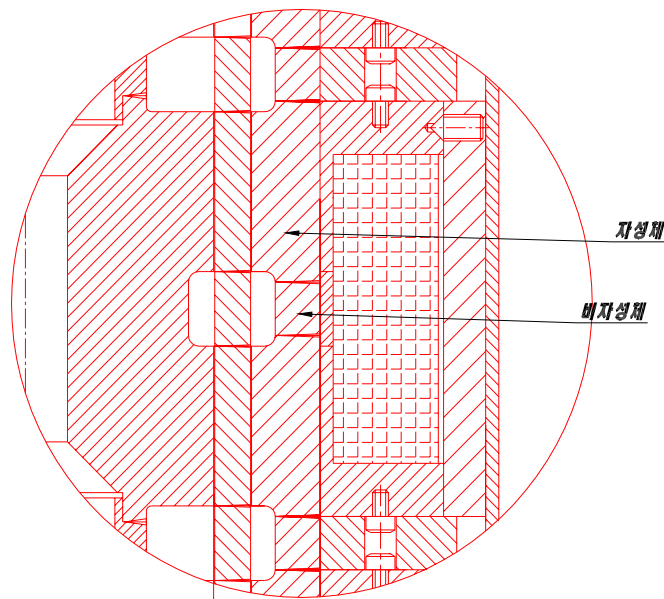


그림 1 스텝모터 내부의 자성재료

2. 본 론

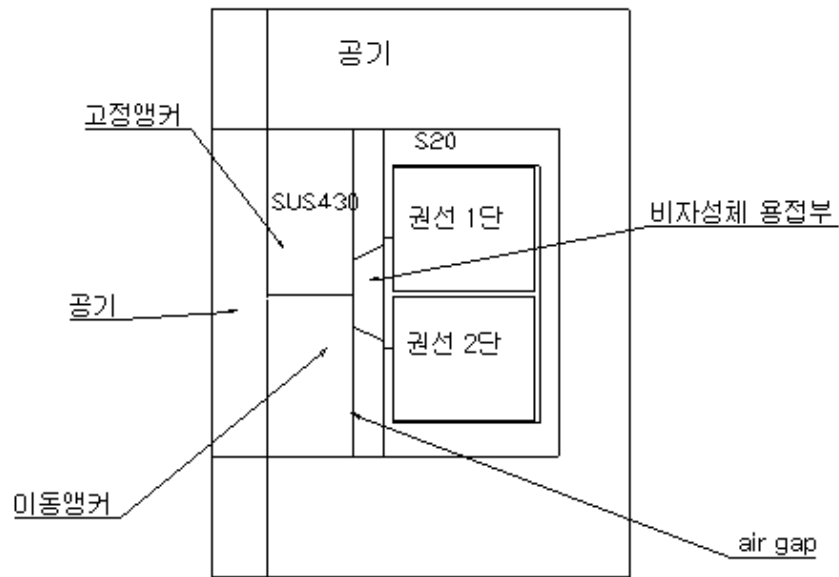


그림 2 전자석 내부의 자성재료

2.1 STS430 및 M-STs403의 기계적 특성 비교

표 1은 STS430 및 STS403의 Cr 함량 및 기계적 특성을 비교한 것이다[3]. 이 표에 의하면 부식특성(Cr 함량을 기준으로)은 STS430이 좋은 반면 기계적 특성은 STS403이 좋은 것을 알 수 있다.

표 1 STS430 및 M-STs403의 기계적 특성 비교

	STS430	M-STs403
Cr 함량(%)	17.25~18.26	11.5~13
인장강도(ksi)	65	70
항복강도(ksi)	35	40
응력강도(ksi) at 700 deg.F	18.5	21.2

2.2 STS430 및 M-STs403의 B-H 특성 비교

SMART-P CEDM에 사용된 STS430 재료의 BH 특성곡선 측정시험 결과는 그림 3에 주어져 있다. M-STs403에 대한 BH 특성 곡선을 구하기 위하여 상용로의 CEDM 압력

용기에 사용되는 M-STs403 재료를 이용하였다. 상용로 CEDM의 압력용기 자성 재료는 Code Case N-4-11에 등재된 Modified STS403 이다. M-STs403 시편 3개에 대한 BH 특성곡선과 STS430 시험결과와 중첩하여 그리면 그림 3과 같은데, 이 그림에서 BH 특성은 STS430이 우수함을 알 수 있다.

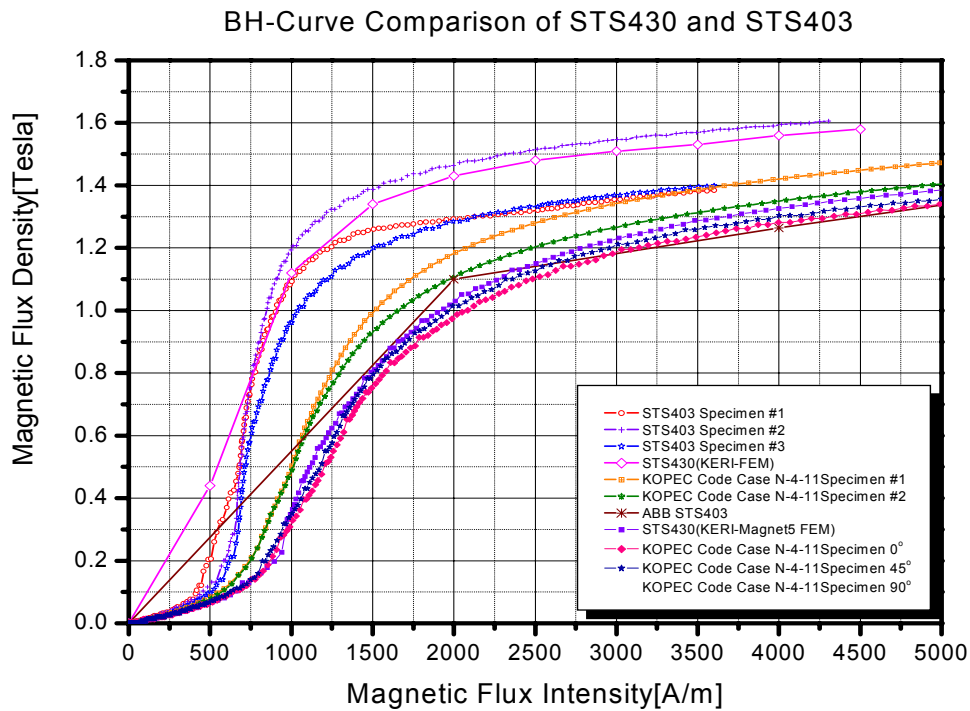


그림 3 STS430/M403의 BH특성 비교

2.3 전자장 유한요소해석

2.3.1 스텝모터

스텝모터 압력용기 자성 재료를 STS403을 사용하는 경우, 토크 크기를 비교하기 위하여 그림 3의 M-STs403의 BH 특성곡선 자료를 입력으로 하여 스텝모터에 대한 전자장 유한요소해석을 수행하였다.

해석방법은 스텝모터는 회전력을 발생하는 로터의 치가 12개로 이루어진 축대칭 형태로 1개의 치만을 선택하여 축방향으로 이등분하여 그림 4와 같이 3차원 해석 모델을 구성하였다. 이 모델은 스텝모터 전체의 1/24에 해당하게 구성하였다[4].

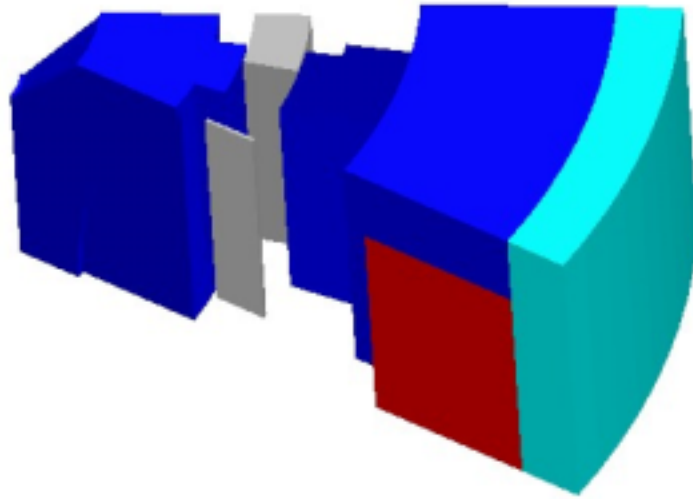


그림 4 스텝모터 토크계산을 위한 3차원해석 모델

그림 5는 스텝모터 압력용기의 자성 재료를 STS430으로 한 경우와 M-ST403 으로 한 경우에 대한 스텝모터의 토크해석 결과를 비교한 것이다. 이 그림에 의하면 스텝모터 압력용기 재료를 M-ST403으로 사용할 경우 STS430을 사용하는 것보다 토크가 약 10%정도 감소됨을 알 수 있다.

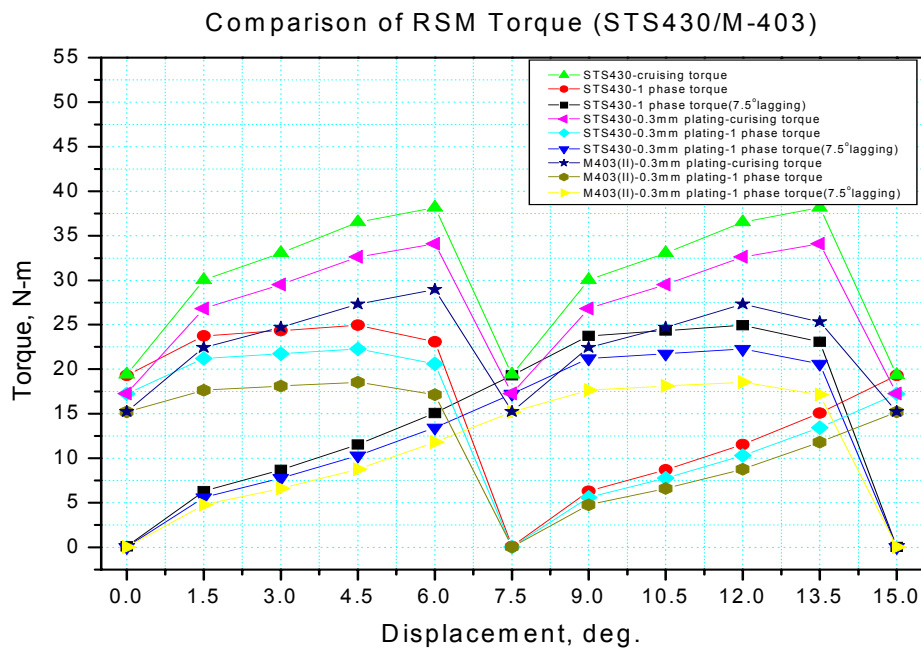


그림 5 스텝모터 자성재인 STS430과 M-ST403 사용시 토크비교

2.3.2 전자석

하부 압력용기 자성 재료를 STS403을 사용하는 경우, 추력크기를 비교하기 위하여 그림 3의 M-STST403의 BH 특성곡선 자료를 입력으로 하여 전자석에 대한 전자기장 해석을 수행하였다. 해석방법은 참고문헌 [5]와 같다.

그림 6은 하부 압력용기의 자성 재료를 STS430으로 한 경우와 M-STST403으로 한 경우에 대한 전자석의 추력해석 결과를 비교한 것이다. 이 그림에 의하면 하부 압력용기 재료를 M-STST403으로 사용할 경우 STS430을 사용하는 것보다 추력이 약 15%정도 감소됨을 알 수 있다.

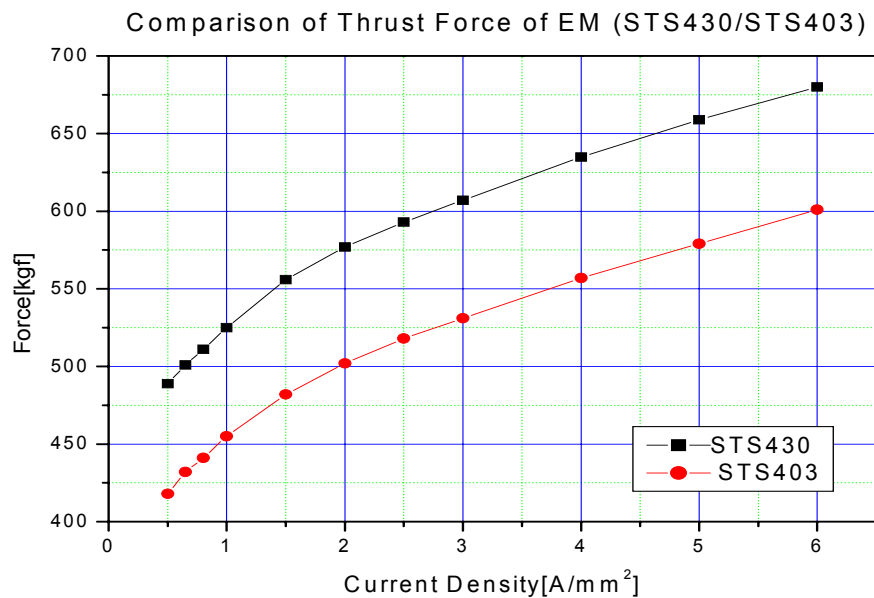


그림 6 전자석 자성재인 STS430과 M-STST403 사용시 추력 비교

3. 결 론

원자로 압력용기용 자성 재료인 STS430과 M-STST403의 전자기적 특성을 비교한 결과 STS430 사용시 추력과 토크에서 약 10-15% 정도 증가됨을 알 수 있다. 따라서 일체형 원자로 CEDM 압력용기의 자성 재료로는 현재 사용되고 있는 STS430을 쓰는 것이 유리하다. 다만 표 1에서 보는바와 같이 응력강도가 STS403에 비하여 다소 떨어지지만 CEDM 압력용기는 STS430의 응력강도를 기준으로 설계되어 있으므로 규격 기준을 만족한다.

4. 참고문서

- [1] SMART-CD-DW620-00, Rev.00, CEDM 집합체 도면
- [2] KEPIC MDF, 20002 Edition
- [3] Code Case N-4-11, "Special Type 403 Modified Forgings or Bars Section III, Division 1, Class 1 and CS", Aproved on July 13, 1981.
- [4] SMART-CD-CA620-03 Rev. 00, CEDM 회전형 스텝모터 3차원 전자기해석 계산서
- [5] SMART-CD-CA693-01, Rev. 00, 시험용 전자석 Sizing 계산서