

함정용 능동 마운트의 개발을 위한 전자기식 작동기의 개념 설계

Concept Design of Electro-magnetic Actuator for Development of Active Hybrid Mount Applied to Naval Shipboard Equipment

조혜영† · 신윤호* · 문석준* · 정우진** · 원문철***

Hye-Young Jo, Yun-Ho Shin, Seok-Jun Moon, Woo-Jin Jung and Moon-Cheol Won

1. 서 론

본 연구에서는 구조기인 소음을 발생시키는 함정 탑재 장비의 진동 저감을 목표로 능동형 하이브리드 마운트용 전자기식 작동기의 개념 설계안을 제안한다. 전자기식 작동기의 목표 요구 작동력을 비롯한 설계인자들을 고려하여 전자기식 작동기를 개념 설계하고, 상용 전자기장 해석 프로그램을 이용하여 형상 및 배치 등에 대한 설계안을 제안·검토한다.

2. 전자기식 작동기 설계

2.1 전자기식 작동기의 1차 개념 설계

(1) 하이브리드 마운트의 구성

능동형 하이브리드 마운트는 점탄성 재료로 제작되는 수동 요소와 관심 주파수 구간에 대한 능동 제어 이론 적용을 위한 전자기식 작동기의 결합 형태로 구성된다. 배치형식에 따른 하이브리드 마운트의 동특성에 대한 비교 연구 결과를 바탕으로, 전자기식 작동기를 적용할 경우 지반으로 전달되는 전달력 감소 측면에서 비-접촉식 병렬형 마운트와 관성 질량형 마운트가 적절하다고 판단하였으며, 추가적인 중량이 요구되어 공간 제약 측면에서 한계를 가지는 관성 질량형 마운트를 배제하여 상대적으로 큰 힘을 발생시킬 수 있는 비-접촉식 병렬형 마운트를 하이브리드 마운트의 배치 형식으로 선정하였다.

(2) 작동기의 목표 요구 작동력 선정

대상 시스템에 대한 진동 허용 규격을 기술한 MIL-STD-740-2와 대상 시스템에 대한 기본 정보들을 바탕으로 산출된 작동기의 최대 요구 작동력은 200N이며, 최대 구동 변위는 $\pm 2\text{mm}$ 이다. 이는 공간에 대한 제약 조건과 함께 전자기식 작동기의 개념설계 시 목표 성능으로 정의한다.

(3) 작동기의 1차 개념 설계

본 연구에서의 전자기식 작동기 설계는 코일부가 움직이는 가동 코일형과 영구자석부가 움직이는 가동 영구자석형을 고려하여 총 3가지 형태의 작동기를 설계하였다.

가동 코일형 작동기의 고정자는 영구자석과 자로 형성용 금속(Ferro-metal)으로 구성되며, 이동자는 보빈에 일정 두께의 코일이 감긴 형태로 구성된다. 영구자석은 이동자가 움직이는 공간 내에 일정한 자기장을 발생시키고, 이로 인해 형성된 자기장 내에서 이동자에 감긴 코일을 통해 흐르는 전류의 수직 방향으로 작동기의 힘이 발생된다. 코일에 흐르는 전류의 방향과 세기에 비례하여 작동기의 힘의 방향과 세기가 결정된다.

가동 영구자석형 작동기는 이동자에 영구자석과 자로 형성용 금속을 부착하고 고정자에는 코일을 감는 형태로 구성된다. 코일에 흐르는 전류를 이용하여 영구자석에 의해 형성된 자계의 불평형 상태를 유도하여 힘을 발생시키며, 힘 발생 원리는 가동 코일형과 동일하다. 즉, 코일에 흐르는 전류의 방향과 세기에 비례하여 작동기의 힘의 방향과 세기가 결정된다.

가동 영구자석형 작동기는 이동자를 구성하는 영구자석의 개수 및 배치 형식에 따라 2가지로 분류되어 설계하며, 가동 영구자석형 I과 II로 구분한다. 가동 영구자석형 I은 반경 방향으로 극을 가지는 2개의 영구자석이 상·하부가 상반된 극을 가지는 직렬로 연결된 형식으로 구성하며, 가동 영구자석형 II는 1개의 영구자석이 반경 방향으로 극을 가지도록 설계한다. 여기서 가동 영구자석형 II는 영구자

† 교신저자; 한국기계연구원 시스템디자인믹스연구소

E-mail : gpduds@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7211, Fax : 042-868-7418

* 한국기계연구원 시스템디자인믹스연구소

** 국방과학연구소

*** 충남대학교

석이 반경 방향으로 자계를 형성하도록 자로 형성용 금속을 추가로 부착하여 설계한다.

(4) 1차 개념 설계안의 특성 검토

그림 1과 2는 3 가지 형태의 작동기에 대하여 각각 영구자석에 의해 공극에 형성된 자속밀도와 이동자의 단위 속도(1 m/s)로의 이동 시 발생된 역기전력을 나타낸 해석결과이다. 공극 자속밀도는 공극에 형성되는 자속의 밀도를 나타내며 영구자석에 따라 세기가 다르며, 로렌츠 법칙(Lorentz's law)에 따라 공극 자속 밀도가 높을수록 작동기가 큰 힘을 발생시킨다. 역기전력은 이동자의 단위 속도를 주었을 때 페러데이 법칙에 의해 유도되는 기전력의 값을 의미하며, 이를 이용하여 단위 전류당 작동기 힘 크기를 예측할 수 있다.

가동 코일형 작동기는 상대적으로 낮은 저항, 인덕턴스 값으로 전류 응답성이 우수하지만 출력 힘이 가장 작기 때문에 힘 특성 향상을 위한 자기회로 구조 개선이 요구된다.

가동 영구자석형 작동기 I은 영구자석의 극이 상부·하부가 다른 형태이므로 공극에서 자속의 극이 다름을 알 수 있으며, 자속 밀도의 크고 이에 따른 정적 힘 특성이 가장 우수하다. 하지만 이러한 특성을 만족하려면 입력 전압 조건을 충족해야 한다.

가동 영구자석형 작동기 II는 넓은 구간에서 안정된 힘 특성을 가지지만 가동 영구자석형 I에 비해 낮은 역기전력으로 목표 요구 작동력을 만족시키려면 높은 전류 입력을 요구한다.

2.2 전자식 작동기의 2차 개념 설계

(1) 2차 개념설계 방향

1차 개념 설계안에 대한 해석 결과를 기준으로 누설 자속을 최소화하고, 경량화를 목표로 2차 개념 설계를 수행하였다. 그리고 모터의 회전 시 발생하는 코깅 토크(Cogging Torque)와 유사한 개념을 지니는 디텐트 력(Detent Force)에 대한 해석을 통해 1차 개념 설계안의 유효성을 검토하였다.

(2) 작동기의 2차 개념 설계

가동 코일형 작동기는 1차 개념 설계안과 비교하여 고정자의 외부에 위치시킨 영구자석을 고정자의 내부로 이동시켜 외부로 손실되는 누설 자속을 감소시켰다. 가동 영구자석형 작동기 I, II는 고정자의 외측에 감긴 코일을 내부로 이동시켜 경량화를 시도하였다. 이에 대하여 1차 개념설계와 동일하게 자속밀도, 역기전력에 대한 해석을 수행하였으며, 디텐트력에 대한 해석을 추가로 수행하였다.

(3) 2차 개념 설계안의 특성 검토

그림 3과 4는 상용 전자기장 해석 프로그램을 이용하여 작동기의 2차 개념 설계안들에 대해 공극 자속밀도와 역기전력을 해석한 결과이며, 그림 5는 디텐트 력을 해석한 결과이다. 디텐트 력은 이동자의 진행 방향의 반대 방향으로 작용하는 힘으로 작동기에 요구되는 작동력을 발생시키기 위하여 작을수록 좋다.

가동 코일형 작동기는 1차 설계안과 비교하여 영구자석의 부피가 줄어 공극 자속 밀도의 세기와 역기전력이 감소하였고 3가지 작동기 설계안 중 여전히 상대적으로 가장 약한 힘 특성을 가진다. 하지만 가장 작은 디텐트 력을 가지며 전류 입력에 의한 철심 포화 등의 우려가 없어 선형적 힘 변화를 예상할 수 있다.

가동 영구자석형 작동기 I은 1차 설계안과 비교하여 영구자석의 폭을 줄여 공극 자속 밀도의 세기를 감소시켰으며 보다 고른 자속밀도를 가지도록 공극 부위를 설계 변경하였다. 3가지 형태의 작동기 중 가장 큰 정적 힘 특성 나타내지만, 영구자석의 위치 불평형 시 무여자 상태에서도 큰 힘을 발생시킨다. 즉, 디텐트 력이 크다는 단점을 지닌다.

가동 영구자석형 작동기 II는 1차 설계안과 목표 요구 작동력을 기준으로 영구자석의 폭을 줄였으며, 불필요한 내외측 부위를 제거하여 경량화를 시도하였다. 가동 영구자석형 작동기 II에 대한 디텐트 력 검토 결과, 그 힘이 상대적으로 작아 가장 우수한 성능을 가진다. 그러나 전류로 인하여 유도된 자기장을 사용하므로 가동 코일형에 비하여 응답 속도 측면에서 단점을 가질 것으로 예상된다.

3. 결 론

본 연구에서는 저주파수 대역의 진동 저감을 목표로 하는 능동형 하이브리드 마운트의 전자식 작동기에 대한 개념 설계를 수행하였다. 수동 마운트와 작동기의 배치 형식을 결정하였으며, 가동 코일형과 가동 영구자석형 전자식 작동기의 개념 설계안을 제안하였다. 2 단계에 걸쳐 수행된 개념 설계에서 초기 설계안을 바탕으로 누설 자속을 감소시키고 작동기를 소형화, 경량화시키는 방향으로 설계 변경을 수행하였으며, 공극 자속밀도, 역기전력, 디텐트 력 등에 대한 검토를 통해 각 개념 설계안의 장단점을 논의하였다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소의 연구지원으로 수행되었습니다.