

저전압 RF MEMS switch의 형상 최적화 tud of shape optimization of RF M M s itch

*성기은¹, 유지영², #이세현³

*K. Sung¹, J. Y. Yu², #S. Rhee(srhee@hanyang.ac.kr)³

¹ 한양대학교 기계공학과, ² 한양대학교 기계공학과, ³ 한양대학교 기계공학과

Key words : Low voltage, Cantilever, RF MEMS Switch, Genetic algorithm, Finite element method, Optimization

1. 서론

본 연구에서는 저전압(low voltage)에서 구동 가능한 RF MEMS 스위치를 유전 알고리즘(genetic algorithm)과 유한요소법(finite element method)을 통해 최적설계를 했다.

제작 공정은 단가를 최소한으로 낮춰야 하는 RFID 등, 초소형 통신장치들의 특성을 고려하면 기존의 공정을 이용할 수 있어야 하고 단순한 형상이어야 한다. 정전기력을 이용한 기존의 RF MEMS 스위치의 기본적인 형상을 유지하며 스위치의 스프링 상수 값을 낮추거나[1], 정전기력을 받는 영역을 넓혀서[2] 구동전압을 낮춘 연구들도 있다. 이 경우 구동 전압이 6-9V 정도이다. 현재 사용되는 모바일 기기들의 사용 전압을 고려 할 때 6V 이하의 구동전압을 구현하는 것이 필요하다. 그러나 구동전압을 낮추면 스위치의 내구성이 낮아지는 문제점이 있다.

낮은 구동 전압을 갖고도 기계적으로 충분한 내구성을 갖는 기기용 RF MEMS 스위치는 아직 상용화 되지 못하고 있다. RF-MEMS 스위치는 반도체 공정을 통해 제작된다. 반도체 공정은 마스크 제작, 박막 증착 등의 시간과 비용이 많이 소모되는 공정을 포함한다. 그렇기 때문에 실험적인 방법을 통해서 RF-MEMS 스위치를 최적설계 하는 것은 비효율적이다. 따라서 유한요소법을 이용하여 실험을 대신 할 필요가 있다. 본 연구에서는 RF-MEMS 스위치를 이론적으로 모델링하고 이 모델로부터 기본적인 설계 변수를 설정했다. 이를 바탕으로 RF-MEMS 스위치의 유한요소 모델을 만들고 실수기반 유전 알고리즘을 통해 최적화를 수행했다.

2. antilever 형 RF M M s itch 의 설계 변수 결정

외팔보 형태의 RF MEMS 스위치는 구조적으로 모델링 되고, 구동 전압과 스위치에 작용되는 힘과의 관계는 정전기-힘 모델을 사용되었다. 가장 간단히 고려해 보면 힘은 구동 전압과 외팔보의 위치의 함수이고 이 힘을 통해 구조적인 지배 방정식을 얻는다. 그러나 외팔보의 스프링 상수는 외팔보의 형상에 따라 달라지고 형상이 간단하지 않은 경우 정확히 계산하기 어렵다. 또한 정전기력에 의한 힘도 구동 전압의 변화와 전극간 거리 그리고 구동 전극(Bias electrode)의 위치에 따라서 변하기 때문에 외팔보의 위치에 대한 해석과 서로 동시에 이루어져야 한다. 이렇게 수식적으로 고려하기 힘든 조건들 때문에 기존의 연구에서도 이론적 수식에 의한 결과와 FEM 해석 결과간의 차이가 큰 것을 알 수 있다.[3] 그러므로 MEMS 외팔보의 현상을 해석하기 위해 많은 가정을 한 이론적인 모델을 사용하는 것은 어렵고 최소한의 가정을 이용한 FEM 해석이 필요하다.

구조적인 해석을 통해 얻어진 결과를 이용하여 전기적으로 어떻게 얼마 만큼의 힘을 가해야 하는지 계산해야 한다. 정전기력은 전압이 인가된 두 전극 사이에 capacitance의 변화량에 의존한다. 전극에 전압을 주고 양 극판 사이의 유전율을 무시할 수 없는 경우 생성되는 힘은 다음 식

(1)와 같다.[4]

$$F = \frac{1}{2} \frac{\epsilon_0 \epsilon_r V^2}{\left(g + \frac{d}{\epsilon_r}\right)^2} \quad (1)$$

이때 V는 양 극사이의 전압차, ϵ_r 은 중간 유전체의 유전율, ϵ_0 은 진공의 유전율, g는 두 전극 사이의 거리, td는 중간 유전체의 두께이다.

위 결과를 고려하면 가장 중요한 변수는 외팔보의 형상을 나타내는 폭과 길이이고 Au 및 SiN의 층의 두께 및 두 전극 사이의 거리도 구동력에 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 따라서 최적 설계를 위한 변수는 외팔보의 형상을 구체적으로 나타낼 수 있는 변수들과 각 층의 두께 및 초기 간격으로 결정했다.

3. F M 과 유전 알고리즘을 이용한 최적설계

RF MEMS 스위치의 성능을 평가 하기 위해 첫째, 최소한의 구동전압, 둘째, 최대한의 복원력을 목표로 한다. 이것은 저전압 구동과 신뢰성 획득이라는 두 가지 성능을 얻기 위한 조건이다. 최적화 될 설계 변수로는 구조를 표현하는 10 개 인자를 사용하였다. 유한요소 모델은 다층 shell 모델을 기반으로 하여 전극이 서로 접촉하여 압력을 받을 수 있도록 구현하였다. 또한 전극 이동시 각각의 위치에 따라 변하는 반력과 정전기력을 계산 하도록 구현하였다

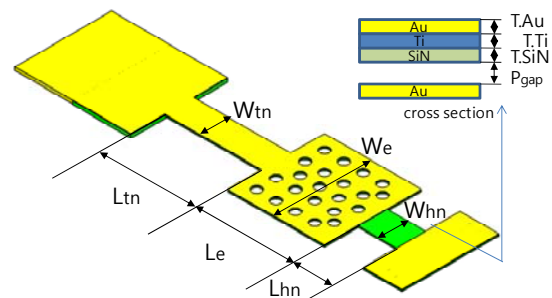


Fig. 1 independent variables of RF MEMS switch model

설계 변수는 Fig. 1에서 보는 것과 같이 Wtn, We, Whn은 외팔보의 폭을 의미하고, Ltn, Le 그리고 Lhn은 각 요소의 길이를 의미한다. T.Au, T.SiN, T.Ti는 각층의 두께를 나타내고, P.gap은 초기 간극을 나타낸다. table 1는 각 설계 변수와 각 변수의 해공간(solution space)를 나타낸다.

Table 1. independent variables and their boundaries

independent variables	Wtn	Ltn	We	Le	Whn
upper bound[Xub]	150	200	200	200	150
lower bound[Xlb]	10	10	50	50	10
independent variables	Lhn	T.Au	T.SiN	T.Ti	Pgap
upper bound[Xub]	150	1.0	2.0	0.1	2.0
lower bound[Xlb]	10	0.4	0.8	0.03	0.5

본 연구에서는 실수 기반의 유전자를 사용하여 최적화를 수행하였다. 각 개체의 성능을 결정하기 위해 유한요소 해석으로 얻어진 최대 구동 전압과 최대 복원력을 사용했다. 최대 구동 전압은 최소화 해야 하고 최대 복원력은 최대화 해야 한다. 따라서 각각 얻어진 전압과 힘을 식(2)과 같이 목적함수로 표현했다. 이 목적함수는 최소화되어야 한다.

$$bci fci = M \left(\left(\frac{1}{M} \left(\frac{1}{()} \right) \right) \right) \quad (2)$$

여기서 ()는 전극의 위치()에 따른 구동 전압값, ()는 전극의 위치에 따른 반력 그리고 $\frac{1}{M}$ 은 volt 단위의 ()와 uN 단위의 ()간의 상대적인 비를 조정하기 위한 상수이다. $\frac{1}{M}$ 값으로는 120이 사용되었다.

본 연구에서는 유전 알고리즘의 한 세대당 개체 수를 20개로 제한하였다. 이것은 유한요소 해석을 수행함에 있어 시간과 비용을 고려해 결정한 것이다. 그러나 설계 변수에 비해 20개는 작은 집단으로 볼 수 있다. 이 경우 일반적인 방법을 사용하면 유전 알고리즘의 성능에 큰 영향을 미친다. 이것은 개체간의 상대적인 적합도 차가 너무 크거나 너무 작은 것에서 기인한다. 이것을 극복하기 위해서 스케일링 윈도우 방법을 이용하여 정규화를 수행하였다. 거대한 정의역에 비해 부족한 개체수 때문에 지역 최소점에 수렴하는 것을 방지하기 위해 마이크로 유전 알고리즘을 적용하여 해가 수렴하면 가장 좋은 해를 제외하고 나머지 개체를 새로 생성하여 다시 더 나은 최적점 찾도록 하였다. 개체수의 부족은 재생산에도 영향을 미친다. Pham과 Jin[5]은 새로운 형태의 재생산 연산자를 이용하여 이 문제를 극복했다. 본 연구에서도 이 재생산 방법을 응용하여 실수 기반 유전 알고리즘에 적합하도록 수정하여 사용하였다. 유전자의 교배에는 이진 코딩의 일점 교배를 근사하게 묘사한 수정단순교배법을 교배율은 0.9로 사용했다. 돌연변이는 적은 수의 개체에서 성능을 높일 수 있도록 고안된 동적 돌연변이법을 사용하였다.

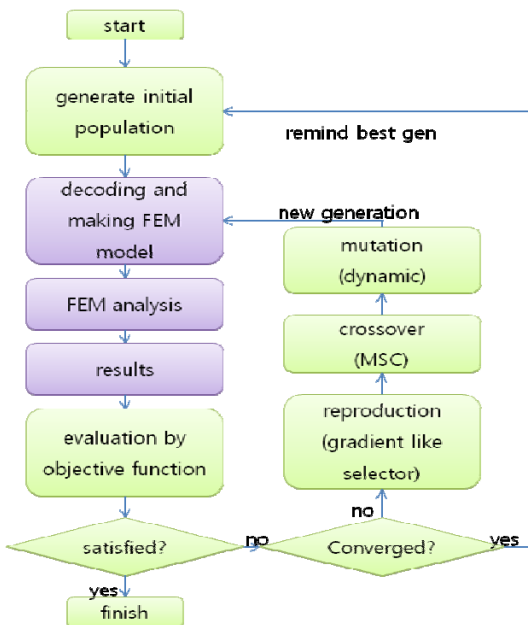


Fig. 2 structure of FEM analysis base genetic algorithm

Fig. 2는 본 연구에서 사용된 FEM 기반의 유전 알고리즘의 구조를 보여준다. 일반적인 유전 알고리즘이 유전자의 평가를 위해서 사용된 수식화된 모델 대신 FEM을 이

용한 모델링과 해석을 이용한다. 이것을 통해 수식으로 단순히 표현하기 힘든 현상에 대해서도 다수의 실제 실험을 하지 않고도 설계 변수를 최적화하는 것이 가능하다. 실제 현상에 가깝게 하기 위해서 FEM 모델 해석은 외팔보의 높이가 변함에 따라 전극간의 거리가 변하면 실제 발생하는 정전기력도 변하도록 구성했다.

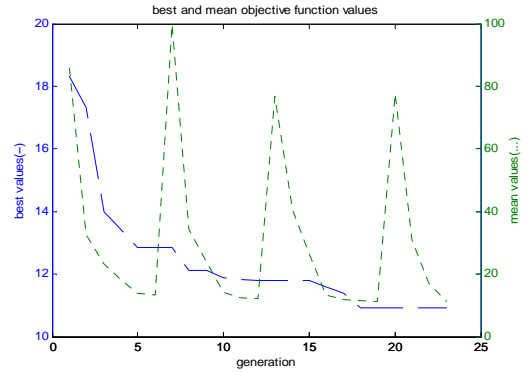


Fig. 3 best and mean objective function values

GA는 23세대까지 계산되었다. Fig.3를 보면 각각의 세대에서 목적함수의 최적값과 평균 값의 변화를 알 수 있다. 6세대 이후 최적값으로 수렴했다고 볼 수 있다. 최적 값은 table 2와 같다.

table 2. optimized independent variables

independent variables	Wtn	Ltn	We	Le	Whn
optimized values	80	160	190	200	90
independent variables	Lhn	T.Au	T.SiN	T.Ti	Pgap
optimized values	20	0.5	0.9	0.05	1.1

결론

모바일기기 등에 사용 가능하도록 낮은 전압에서 구동 가능한 RF MEMS 스위치를 구현하는 것을 목적으로 하였다. 외팔보 형상의 DC 접촉 스위치를 기계적/정전기적으로 모델링하고 이를 통해 설계 변수를 결정했다. 결정된 설계 변수를 바탕으로 유전 알고리즘을 이용하여 유한 요소 해석을 수행 하여 최적의 설계 값을 찾았다.

후기

본 연구는 서울특별시의 전략산업 혁신 클러스터 육성 지원사업 및 2007년 두뇌한국 21 사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. D. Peroulis, et al, "Electro-mechanical Considerations in Developing Low-voltage RF MEMS Switches," IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol. 51, No. 1, pp. 259-270, 2003.
2. S. R. Pacheco, et al, "Design of Low Actuation Voltage RF MEMS Switch," Microwave Symposium Digest, Vol. 1, pp. 165-168, 2000.
3. S. Afrang, et al, "Design and Simulation of Simple and Varying Section Cantilever and Fixed-fixed End Types MEMS Switches," ICSE 2004 Proc., 595-596, 2004.
4. Gabriel M. Rebeiz, "RF MEMS THEORY, DESIGN, AND TECHNOLOGY," WILEY INTER-SCIENCE, 2003.
5. D. T. Pham and G. Jin, "A hybrid genetic algorithm", Proc. 3rd World Congress on Expert Systems, Vol. 2, pp.748-757, 1996