

## 유전자알고리즘을 이용한 크레인가속도 최적화

박창권\*, 김재량(창원대 대학원 기계설계공학과)

정원지, 홍대선(창원대 기계설계공학과)

권장렬, 박범석(경남 창원시 M&L 주식회사)

### An Optimization Technique For Crane Acceleration Using A Genetic Algorithm

C. K. Park, J. L. Kim(Mecha. Design. Eng. Dept. CNU)

W. J. Chung, D. S. Hong(Mecha. Design. Eng. Dept. CNU)

J. R. Kwon, B. S. Park(M&L Ltd. Changwon. Kyung-nam)

#### ABSTRACT

This paper presents a new optimization technique of acceleration curve for a wafer transfer crane movement in which high speed and low vibration are desirable. This technique is based on a genetic algorithm with a penalty function for acceleration optimization under the assumption that an initial profile of acceleration curves constitutes the first generation of the genetic algorithm. Especially the penalty function consists of the violation of constraints and the number of violated constraints. The proposed penalty function makes the convergence rate of optimization process using the genetic algorithm more faster than the case of genetic algorithm without a penalty function. The optimized acceleration of the crane through the genetic algorithm and commercial dynamic analysis software has shown to have accurate movement and low vibration.

**Key Words** : Genetic Algorithms, Acceleration, Optimization, Penalty Function, Wafer Transfer Crane.

#### 1. 서론

현대 기계류는 고속화를 바탕으로 경량화, 저진동화, 저소음화를 추구하며 발전하고 있다. 이런 방향의 발전은 연구개발을 통해 원자재를 절감하고 고정밀도를 갖는 제품의 생산을 가능하게 한다. 엔지니어들은 기계산업의 여러 분야에서 이런 복합적인 문제를 해결하기 위해 여러가지 방법으로 최적화설계에 대해 연구를 수행해왔다. 하지만 이송부가 있는 기계에 있어서 이송부 속도를 향상시키는 문제에 있어서는 필연적으로 가속과 감속레벨에 따른 진동과 소음의 발생을 고려하여야 한다.(Leo and Inman 1999) 특히 진동의 경우 이송체의 정밀도 및 내구성에 직접적인 영향을 끼치게 된다.

이런점에서 기계의 고속화와 저진동화를 동시에 향상시키는 것은 대단히 어려운 문제다(Abido 2003) 기계이송부의 진동을 감소시키기 위해서 우리는 기계

의 질량과 관성모멘트 효과가 고려된 실제 동작상태에서의 모터 가감속 특성을 최적화 하여야 한다.

본 연구에서 우리는 유전자 알고리즘을 이용하여 반도체 물류 이송 크레인의 가속도를 최적화 하였다. 유전자 알고리즘을 이용한 최적화는 가속도 최적화와 같은 비선형문제의 최적화에 적합하며 해결영역을 확장하여 전역해에 도달할 수 있다. 따라서 다른 최적화 이론보다 본 연구의 목적에 적합하다. 본 연구를 통해 최적화된 가속도특성을 이용하여 최종적인 시뮬레이션을 수행하였다.

#### 2. 웨이퍼 반송 크레인(Wafer Transfer Crane)

Fig. 1에서 보여지는 바와 같이 웨이퍼반송 크레인은 반도체 Stocker System에서 웨이퍼가 적재된 케이스를 반송하는 크레인이며 반도체물류자동화 장치의 특성상 구동시 높은 정밀도를 필요로 하며, 점차

고속사양으로 발전하고 있는 추세이다.

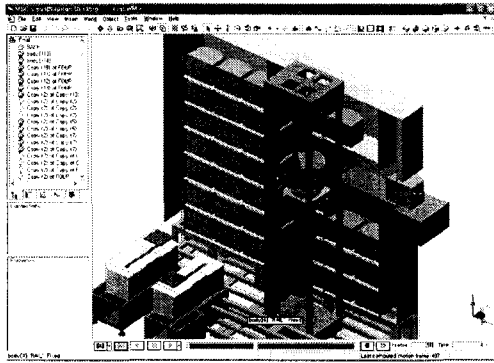


Fig. 1 Wafer Transfer Crane

### 2.1 타겟 모델(Target Model)

Fig. 2는 진동을 측정하게 될 타겟모델을 모델링한 것이다. 크레인의 형상은 구조설계단계에서 이미 여러 가지 이론과 설계식을 적용하여 만들어진 것이며 진동최소화를 위한 가속도 최적화 단계에는 반영하지 않는다. Fig. 3는 가속도 입력값에 따른 크레인의 진동을 측정하게 될 측정점이다.

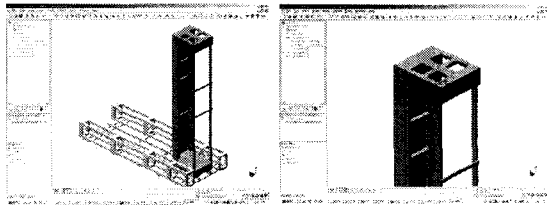


Fig. 2 Target Model

Fig. 3 Measuring Point

### 2.2 진동측정을 위한 운동방정식

Fig. 2에서 하단부에 모터로 구동되는 크레인은 본체 부분이 유연하므로 상부측정점(Fig. 3)에서 진동을 유발하게 된다. 여기서 본체를 강체로 가정하면 크레인의 구동부 및 진동관계 모델은 Fig. 4와 같이 단순화시켜 표현할 수 있다.

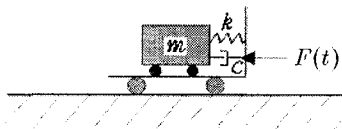


Fig. 4 Simplified Model

$F(t)$ 는 크레인 본체를 강체로 가정할 경우 실제 크레인 하단부에 구동력으로 작용하는 힘이 내부 진동영향을 포함하여 크레인 상부 측정지점에 직접적으로 작용하는 힘이다.  $F(t)$ 를 실제구동부에 작용하는 힘으로부터 본체의 유연성을 고려하여 유도하는 것은 수학적으로 매우 어려우며 본 연구의 주제와

관련이 없으므로 동역학 해석 소프트웨어(Visual Nastran)을 통해 얻어진  $F(t)$ 를 적용하기로 한다.

이 힘으로부터 모델의 운동방정식을 세워보면

$$F(t) = ma(t) \quad (1)$$

과 같으며 힘  $F(t)$ 에 대한 Spring-Damper System의 응답에 관한 식으로 표현하면

$$F(t) = ma(t) = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx(t) \quad (2)$$

가 된다. 여기서 작용력  $F(t)$ 는 시간에 따른 임의의 가진력이므로 Convolution Interation을 이용하여 응답(진동)을 구하였다. Convolution Interation은 임의의 가진력  $f(t)$ 를 크기가 변하는 일련의 충격량이라하고 미소시간에서의 충격량을 전시간에 대해 너하는 것으로 충격량에 대한 응답을 이용하여 임의의 가진력에 대한 정상상태 응답을 구하는데 사용된다. 식(2)에 대한 응답을 구하면

$$x(t) = \int_0^t F(\tau) \frac{1}{mw_d} e^{-\zeta w_d(t-\tau)} \sin w_d(t-\tau) d\tau \quad (3)$$

가 된다. 여기서  $\zeta = \frac{c}{2mw_n}$ ,  $w_d = \sqrt{\frac{k}{m} - (\frac{c}{2m})^2}$

$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ 이다.

### 3. 최적화 문제의 정의

식(3)으로부터  $f_x(t) = x(t)$ 가 되고  $f_x(t)$ 는 시간에 따른 가속도  $a(t)$ 에 의한 가진력  $F(t)$ 에 의해 발생하는 진동변위이다. 따라서 본연구의 최적화문제는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{minimize}[f_x(t) = x(t)] \quad (4)$$

### 4. 가속도곡선의 생성

#### 4.1 곡선가속도 선택 및 생성

산업기계 또는 로봇에서 motor를 제어하기 위해 쓰이는 가속도의 형태는 기본적으로 사각파형, 삼각파형, 곡선형이다. 이중 사각파형과 삼각파형의 경우 가속도가 급격히 변하는 구간이 있어 기계에 큰 순간진동을 야기한다. 따라서 곡선형태의 가속도가 진동을 최소화하는 목적에 타당하다.

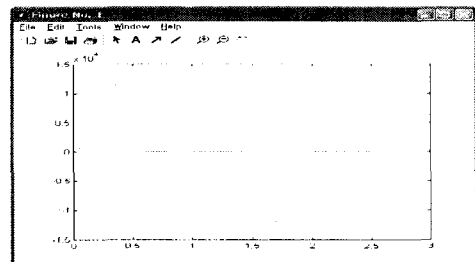


Fig. 5 Acceleration Curve

Fig. 6의 가속도곡선은 3개의 2차곡선의 조합으로 생성하였으며 변곡점은 연속식을 사용하여 정의하였고, 전체곡선은 연속식과 경계조건을 이용하였다. 곡선식을 MATLAB으로 프로그래밍하여 출력하였다.

#### 4.2 최고점 위치에 따른 가속도곡선의 변화

Fig. 7과 같이 가속도 곡선의 최고점이 변함에 따라 가속도의 Peak값이 달라진다.

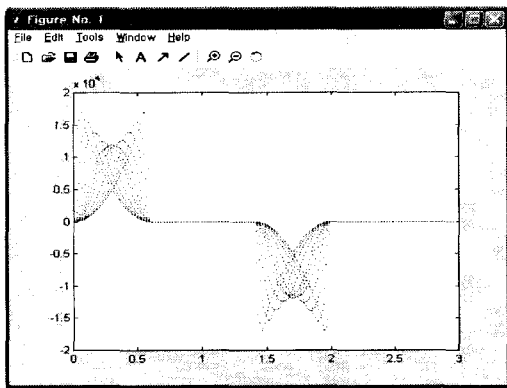


Fig. 6 Peaks of Acceleration Curve

이는 모터제어를 가속도로 할 경우 정해진 변위를 이동하기 위한 전략이다. 이후 유전자알고리즘을 이용하여 가장 진동을 적게 유발하는 Peak값의 위치를 찾아 최적의 가속도 곡선을 생성할 것이다.

### 5. 유전자알고리즘을 이용한 최적화

유전자알고리즘(Genetic Algorithm)은 생물진화의 원리와 유전학에 바탕을 두고 있는 이론으로써 우수한 형질을 가진 개체가 자연계에 잘 적응하여 우수한 자손들을 생성한다는 자연계의 법칙을 그대로 응용한 알고리즘이다. 유전자알고리즘을 이용한 최적화는 기존의 최적화 방법과는 달리 도함수의 개념을 전혀 사용하지 않고, 방향성 있는 탐색과 확률탐색을 수행하기 때문에 연속, 불연속의 혼합, 불연속 영역등과 같은 최적화 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다.

#### 5.1 유전자알고리즘을 이용한 최적화 Flow

본 연구에서 유전자알고리즘을 적용하여 최적화를 수행해 나가는 순서는 Fig. 8과 같다.

#### 5.2 목적함수(Objective Function)의 정의

앞절에서 정의된 최적화문제인 식(4)를 동역학

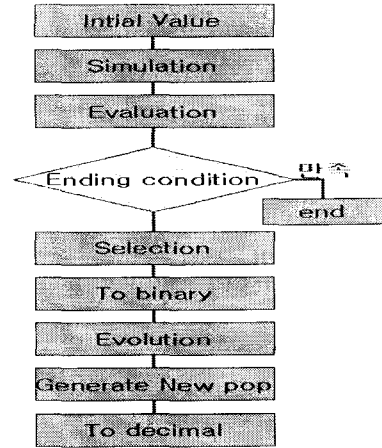


Fig. 7 Flow Chart

해석소프트웨어를 이용하여 입력값인 모터의  $a(t)$ 로부터 시간에 대한  $f_x(t)$ 를 구하여 진동변위에 대한 목적함수를 정의하였다.

$$F_{objective} = c_1 \frac{f_1}{f_1^*} + c_2 \frac{f_2}{f_2^*} \quad (5)$$

여기서  $c$ 는 가중치이고,  $f^*$ 는 scaling factor이다.

#### 5.3 벌점함수(Penalty Function)와 구속조건

본 연구에서는 Simulation결과 진동변위의 크기와 Peak의 개수가 구속조건 이상으로 클 경우 벌점을 적용하여 적합도를 낮추어 다음세대로의 선택확률이 낮아지도록 하는 방법을 사용하였다. 구속조건은 설계사양에 맞추었으며 이를 적용하기 위한 벌점함수는 다음과 같다.

$$P_{penalty} = c \cdot \delta [W_1 \theta_1(x) + W_2 \theta_2(x)] \quad (6)$$

여기서  $\theta_1$ 은 구속범위를 넘는 정도이고,  $\theta_2$ 는 Peak의 개수이다.

#### 5.4 적합도평가와 종료조건

개체의 적합도는 최소최적화의 특성상 다음과 같이 정의된다.

$$fitness = \xi \frac{1}{F_{objective} - P_{penalty}} \quad (7)$$

여기서  $\xi$ 는 벌점상수이다. 종료조건은 fitness>20인 경우로 설정하였다.

#### 5.5 유전인자의 정의

본 연구에서는 유전자알고리즘의 기본인자인 선택, 교배, 돌연변이를 사용하였다.

##### 5.5.1 선택(Selection)

염색체(Chromosome)의 재생산은 선택과정에 영향을 받는데 개체집단의 진화과정에서 선택과정은 개체집단의 진화에 중요한 영향을 미친다. 우리는

높은 적합도값을 갖는 염색체가 선택될 확률이 높도록 설정하는 룰렛휠선택방법을 채택하였다.

### 5.5.2 교배(Crossover)

개체집단의 염색체를 서로 임의의 위치에서 서로 맞바꾸는 과정이며 적합도가 높은 개체들이 빠르게 결합하여 집단의 전역으로 확산시키는 역할을 한다. 유전자의 교배위치는 난수를 사용하였으며 1점교배하였고, 교배확률( $P_c$ )은 0.8로 하였다.

### 5.5.3 돌연변이(Mutation)

돌연변이는 개체집단내에 하나의 염색체를 선택하여 그 중에서 하나또는 그 이상의 유전자를 반전시킨다. 다시말해 유전자의 값이 0이면 1로, 1이면 0으로 바꾸는 것이다. 돌연변이 과정은 현재 집단에 존재하지 않는 새로운 정보를 제공해 준다. 이는 재생산 및 교배과정과 함께 사용될 때 전역적 탐색능을 향상시킨다. 본 연구에서 돌연변이 확률( $P_m$ )은 0.01로 설정하였다.

### 5.6 초기개체와 진동발생

곡선가속도를 이용하여 곡선 Peak가 가속구간내 10개의 지점으로부터 초기개체를 만들어 가속도곡선을 생성하고 Simulation하여 진동발생을 유발하였다.

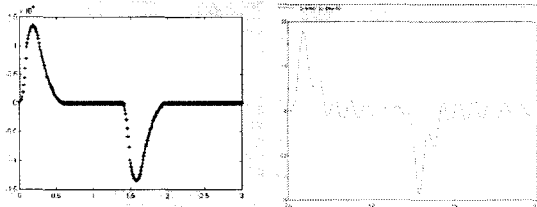


Fig. 8 initial Acceleration Fig. 9 Vibration

본 연구에서 진동해석은 Visual Nastran을 사용하였으며, Programming은 MATLAB을 사용하였고, 이 둘을 연동시켜 Closed Loop을 형성하고, 최대 100세대동안 종료조건 fitness=20으로 하여 Simulation하였다.

### 5.7 결 과

27세대에서 종료조건을 만족하는 가속도곡선을 찾아내었으며, Fig.10과 Fig. 11에서 보여지고 있다.

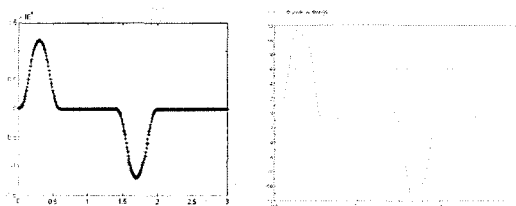


Fig. 10 27th Acceleration Fig. 11 Acceleration

## 6. 결 론

27번째 세대에서 설계치에 부합하는 진동특성을 갖는 가속도곡선을 찾아내었으며 이는 초기모델에 비해 다음과 같이 개선된 특성을 나타내었다.

	최대진동 변위	진동 Peak의 개수	진동변위의 합(에너지)
초기모델	19.5mm	31개	449.5864
최적화 모델	11.9mm	25개	373.7782
개선정도	39% 감소	19.4% 감소	16.9% 감소

구동부가 있는 기계류에서 Motor의 진동을 저감하기 위해서는 기계구조물성에 맞는 적절한 가속도 특성을 찾아야 하며 유전자 알고리즘을 이용하여 반도체 이송크레인의 진동을 크게 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

### 후 기

본 연구는 과학기술부, 한국과학재단지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

### 참고문헌

1. Abido, M. A. 2003. "A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective environmental/economic dispatch" *Electrical Power and Energy Systems* 25, 97-105
2. Baumal, A. E.; J.J. McPhee and P.H. Calamai. 1998. "Application of genetic algorithms to the design optimization of an active vehicle suspension system". *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 163, 87-94
3. Gen, M. and R. Cheng. 1997. *GENETIC ALGORITHMS AND ENGINEERING DESIGN*. A Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY & SONS, INC.
4. Leo, D. J. and D. J. Inman. 1999. "A Quadratic Programming Approach To The Design Of Active-Passive Vibration Isolation Systems". *Journal of Sound and Vibration* 220(5), 807-825
5. MSC. Working Knowledge. 2000. "MSC.visualNastran Desktop Tutorial Guide"
6. 높이깊이. 2000. "MATLAB an introduction and application"
7. Violaine Cahouet Martin Luc and Amarantini David. 2002. "Static optimal estimation of joint acceleration for inverse dynamics problem solution" *Journal of Biomechanics* 35, 1507-1513
8. 배병태 "유전알고리즘과 다단계설계 방법을 이용한 고속이송체의 구조설계 최적화", 창원대학교 석사 학위논문, 2001. 12.