

# 고속 LCD 이송 시스템의 진동감소를 위한 Finite Jerk 적용 가속도 최적화

정원지 #, 송태진\*, 홍대선\*\*, 김호중\*\*\*, 방덕제\*\*\*

## Acceleration Optimization of a High-speed LCD Transfer Crane Using Finite Jerk

Won Jee Chung#, Tae Jin Song\*, Dae Sun Hong\*\*, Ho Jong Kim\*\*\*, Duck Je Bang\*\*\*

### ABSTRACT

This paper presents the acceleration optimization of a high-speed LCD (Liquid Crystal Display) transfer system for the minimization of vibration. To reduce vibration is one of key requirements for the dynamic control of a high-speed LCD transfer system. In this paper, the concept of finite jerk (the first derivative of acceleration) has been introduced for realizing input acceleration. The profile of finite jerk has been optimized using a genetic algorithm so that vibration effect can be minimized. In order to incorporate a genetic algorithm, the dynamic model of a LCD transfer system which is realized by using the ADAMS® software has been linked to the simulation system constructed by the MATLAB®. The simulation results illustrated that the duration of finite jerk can be optimized so as to minimize the magnitude of vibration. It has been also shown that the acceleration optimization with finite jerk can make the high-speed motion of a LCD transfer system result in low vibration, compared with the conventional motion control with trapezoidal velocity profile.

**Key Words** : Finite Jerk(유한 저크), Acceleration Optimization(가속도 최적화), Genetic Algorithms(유전자 알고리즘), ADAMS®(아담스), Flexible Body(유연체), LCD Transfer System(LCD 이송 시스템)

### 기호설명

$A$  = maximum acceleration of the crane  
 $J$  = magnitude of jerk  
 $\Delta t$  = duration of jerk

$f(t)$  = objective function  
 $p(t)$  = penalty function  
 $T_{rf}$  = time of acceleration/deceleration

### 1. 서론

· 접수일: 2005년 8월 17일; 게재승인일: 2006년 1월 13일  
# 교신저자: 창원대학교 기계설계공학과  
E-mail wjchung@changwon.ac.kr Tel. (055) 279-7574  
\* 위아㈜[WIA corporation]  
\*\* 창원대학교 기계설계공학과  
\*\*\* ㈜신성이엔지 기술연구소

현재 웨이퍼 또는 LCD 생산 FAB 과 같은 첨단 제품 생산 시스템에 있어 빠른 생산 속도 및 공정 흐름을 바탕으로한 경쟁력 확보가 절실하게 요구된다. 이러한 고속 이송이 요구되는 생산 프로세스에 있어서 가장 중요한 논점은 빠른 속도로 공정을 진행시키면서 진동을 얼마나 감소시킬 수 있는가에 맞춰진다.(Abido 2003) <sup>1</sup>. 본 논문은 단지 유한저크(Finite Jerk)의 개념에서 구동 가속도 곡선을 수정하는 방법만으로 고속 LCD 이송 시스템의 진동을 최소화하는데 목적을 두고 있다. 즉 연구의 대상은 이미 디자인되어 기계적인 수정이 불가능한 시스템으로 함으로써 가속도 제어만으로 시스템의 저진동을 실현하는데 초점을 맞추고 있다. 수정된 입력가속도 곡선은 연속된 저크(continuous jerk)를 이용하여 생성한 경우가 유한 저크를 이용한 경우보다 서보모터 가감속 특성을 변화시키는데 유효하다는 연구결과가 있다. (Cahouet *et al.* 2002) <sup>2</sup> 하지만 연속되는 저크를 이용한 가속도 생성법은 프로파일 생성을 위한 연산량이 방대하기 때문에 실제 적용에 있어서 큰 어려움이 있다.

본 논문에서는 실변수 코딩과 별점함수의 개념을 도입한 유전자 알고리즘을 이용하여 유한 저크 방법을 적용한 가속도 최적화를 수행하고자 한다. 또한 시뮬레이션을 통해서 기존의 모터 구동 곡선인 사다리꼴형 속도 생성알고리즘(infinite jerk 발생)을 적용한 경우와 비교하여 제안한 가속도 생성 알고리즘의 효율성을 검증한다. 가속도 생성 및 시뮬레이션은 각각 MATLAB<sup>®</sup> <sup>3</sup> 과 ADAMS<sup>®</sup> 소프트웨어를 사용하였다.

## 2. 적용 대상 모델링

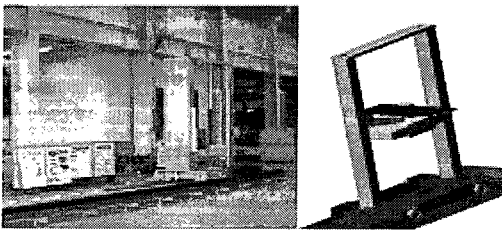


Fig. 1 Real LCD transfer crane and its simplified model

Fig. 1 의 좌측 그림은 실제 LCD 이송 시스템을 나타내고 있으며 우측은 3-D 모델링된 형상과 특성을 반영하도록 간략화한 모델을 나타내고있다.

LCD 이송 시스템은 LCD 제작공정에서 카세트 를 자동으로 프레임에 보관하고 필요시 꺼내는 작업을 하는 신속히 수행하는 자동창고의 역할을 하는 장치로 양쪽 컬럼부의 사이에서 카세트를 입출 하는 로봇 모듈이 상하방향으로 움직이고 시스템 전체가 주행방향으로 움직인다.

적합도 함수를 평가하기 위한 시뮬레이션 모델은 유연체를 포함한 다물체 동역학해석에서 강점을 가지고 있는 상용 소프트웨어인 ADAMS<sup>®</sup> (MSC. Software Cooperation. 2000) <sup>4</sup> 를 이용하여 구성하였다. 생성모델은 약 4m 높이의 2 개의 컬럼이 연결된 LCD 이송 시스템의 형태에 중력방향으로 움직이는 Dual Arm 입출 로봇을 탑재하고 있다. 이러한 형상은 고속 이송시 구조상 진동을 야기할 수 있으므로 시스템의 컬럼부는 모드좌표를 적용한 유연체로 도입하였다. 유연체로 생성한 컬럼부는 ANSYS<sup>®</sup> <sup>5</sup> 의 모달해석을 통해 획득하였다. 모델링된 차량은 TFLM (Transverse Flux Linear Motor) (Kang *et al.* 2003) <sup>6</sup> 을 적용한 전자기적인 추력을 이용하여 구동되므로 가속도 형태의 모션을 부여할 수 있도록 하였다. 또한 이송시스템을 지지하는 4 개의 Wheel 과 알루미늄 레일에 각각 접촉을 부여하였으며 이러한 마찰력도 역시 고속 이송시 진동 발생에 원인이 된다.

## 3. 유한 저크(Finite Jerk)

본 논문에서 유한 저크(finite jerk) (Choi *et al.* 2003) <sup>7</sup> 의 개념을 크레인형태의 구조물을 탑재한 차량의 수평방향 이동과 듀얼 암의 로봇을 탑재한 로봇 모듈의 수직방향 이송, 즉 2 부분의 구동부에 대한 가속도를 생성하는데 도입하였다. 소개된 연속되는 저크(continuous jerk) (Chung *et al.* 2003). <sup>8</sup> 의 개념을 도입한 가속도 생성은 방대한 연산량에 의해 실제 적용에 어려움이 있다. 따라서 유한 저크의 개념은 연속된 저크의 복잡한 계산을 대처할 수 있도록 제안되었다. 제안된 유한 저크 알고리즘은 서보 모터의 적용 면에서 효과적임을 실험에 의해 검증하였다. (Chung *et al.* 2005, submitted to SCI 2005). <sup>9</sup> 이 연구는 유한 저크 알고리즘이 기존의 사다리꼴 속도 곡선을 이용한 구동 알고리즘에 비해 진동 면에서 좋은 결과를 도출할 수 있음을 실험적으로 보여주고 있다. 따라서 제한된 유한 저크 알고리즘은 기존의 사다리꼴형 속도 생성 알고

리즘보다 향상된 알고리즘임과 동시에 연속된 저크 알고리즘의 단순화된 형태라 할 수 있다.

Fig. 2 는 시간  $t$  에 따른 유한 저크 알고리즘의 속도, 가속도, 저크 선도를 나타내고 있다. 그리고 가속구간인 ( $0 \leq t \leq T_{rf}$ ) 에서의 가속도와 속도식을 (1) 과 (2)에 각각 나타내었다.

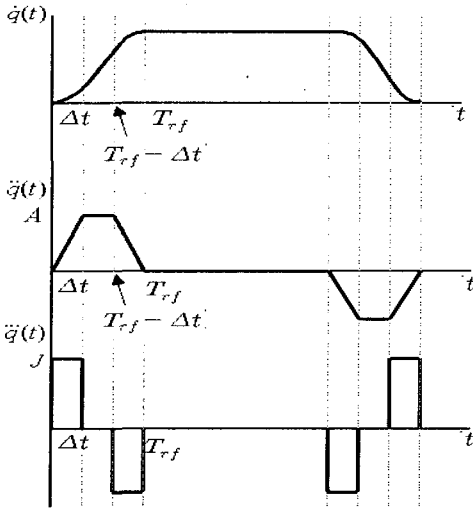


Fig. 2 Profiles of velocity, acceleration and jerk profiles for finite jerk

$$\ddot{q}(t) = \begin{cases} Jt & (0 \leq t \leq \Delta t) \\ A & (\Delta t \leq t \leq T_{rf} - \Delta t) \\ -\frac{A}{\Delta t}t + \frac{A}{\Delta t}T_{rf} & (T_{rf} - \Delta t \leq t \leq T_{rf}) \end{cases} \quad (1)$$

$$\dot{q}(t) = \begin{cases} \frac{A}{2\Delta t}t^2 & (0 \leq t \leq \Delta t) \\ At - \frac{A}{2}\Delta t & (\Delta t \leq t \leq T_{rf} - \Delta t) \\ -\frac{A}{2\Delta t}(t - T_{rf})^2 + AT_{rf} - A\Delta t & (T_{rf} - \Delta t \leq t \leq T_{rf}) \end{cases} \quad (2)$$

등속구간에서의 속도 크기가 주어졌다고 하면 가속구간에서의 최대 가속도 크기  $A$  는 (3)에서와 같이 정해진다.

$$A = \frac{V}{T_{rf} - \Delta t} \quad (3)$$

따라서 유한 저크 크기를 (4)에서 얻을 수 있다.

$$J = \frac{A}{\Delta t} \quad (4)$$

이것은 유한 저크를 이용한 가속도 곡선은 유한 저크 지속시간  $\Delta t$  에 정해질 수 있음을 나타내고  $\Delta t$  를 달리 함에 따라 다양한 유한저크 적용 가속곡선을 얻을 수 있다. 본 논문에서 LCD 이송 시스템의 상단 및 로봇모듈부의 진동을 최소화 할 수 있는  $\Delta t$  를 찾는 것을 목표로 하였다.

## 4. 유전자 알고리즘

### 4.1 적합도 함수 결정

유한 저크의 시간  $\Delta t$  를 최적화하는 과정은 적합도 함수를 최대화할 수 있는  $\Delta t$  를 찾는 과정이라 할 수 있으며  $\Delta t$  는 주어진 범위 안에서 허용되는 결과 범위 또한 만족할 수 있는 값이어야 한다. 유전자 알고리즘은 목적함수와 별점함수로 구성되는 적합도 함수를 크게 만드는 쪽으로 진행되어야 한다. 진동을 줄이는 최적화의 의미상 목적함수와 별점함수의 최소화가 이루어져야 하므로 적합도 함수는 목적함수와 별점함수의 역수를 취하여 최대화하도록 하였다. 따라서 적합도 함수는 아래 식과 같이 정의할 수 있다.

$$evaluation(n) = \frac{1}{f(t) + P(t)} \quad (5)$$

### 4.2 목적함수

유한목적함수인  $f(t)$  는 구동 모션인 가속도의 영향으로 인해 생기는 LCD 이송 시스템의 진동 크기로 평가된다. 본 논문에서는 LCD 이송 시스템의 수평 및 수직 모션을 구동 조건으로 부여한 ADAMS<sup>®</sup> 모델의 시뮬레이션 결과로 목적함수를 평가한다. Fig. 3 은 시뮬레이션 모델에서 측정을 위해 지정한 포인트를 나타내고 있다. 이 지점의 시간에 따른 상대변위는 목적함수와 별점함수에 반영되고 또한 실제의 시스템 운전시 구동 안정성을 지시하는데 효과적인 지점이다. 적용 대상이 되는 LCD 이송시스템은 높은 생산성을 위해 고속 이송 및 내구성을 필요로 하고 특히 내구성은 변형률의 크기와 관련이 있으므로 목표로 하는 인자를 진동변위로 선정하는 것이 타당하다 할 수 있

으므로 진동변위의 최소화 관점으로 적합도 함수를 평가하였다. 또한  $\Delta t$  에 따라 시스템에 가해지는 힘이 바뀌므로 그에 따라 달라지는 가감속 구간에서의 상단진동 횟수를 평가할 수 있도록 목적함수 및 적합도 함수를 선정하였다. 구동은 정적인 상태에서 목적함수 및 벌점함수를 평가하기 위해 구동 전 초기 휴지기 및 구동 후 말기 휴지기를 두어 실제 로봇 Loading/Unloading 시의 진동 영향을 고려할 수 있도록 하였다.

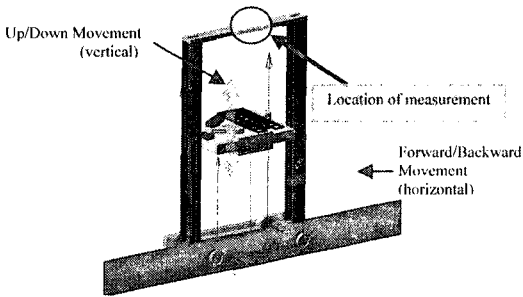


Fig. 3 The location of spots for measurement

측정지점은 구동시 가장 큰 폭의 진동 변위가 예상되는 크레인의 상단 가운데에 위치하고 있다.

목적함수  $f(t)$  는 이 측정지점에서의 진동 변위와 관련이 있고 (6)에서와 같이 표현할 수 있다.

$$f(t) = w_1 \frac{f_1(t)}{f_1^*} + w_2 \frac{f_2(t)}{f_2^*} \quad (6)$$

$f_1(t)$  와  $f_2(t)$  로 나타나는 결과 변동범위는 큰 차이가 있으므로  $f_1^*$  와  $f_2^*$  는 동등한 수준의 목적함수값을 반영하기 위해 도입한 스케일 인자들이다. 또한 스케일된 각각의 결과에 상대적인 중요도를 부여하기 위해 가중치  $w_1$  과  $w_2$  를 부가하였다. 식의 값들은  $f(t)$  값의 변화에 따른 전체적인 시뮬레이션 후 경향 파악을 통해서 결정하였고 Table 1 에 나타내었다.

### 4.3 벌점함수

또한 벌점함수는 (7)과 같이 정의하였다.

$$P(t) = \varepsilon \cdot \delta \cdot \left[ w_1 \frac{\phi_1(t)}{\phi_1^*} + w_2 \frac{\phi_2(t)}{\phi_2^*} \right] \quad (7)$$

식의  $\phi_1$  와  $\phi_2$  는 측정지점 각각의 진동 피크의 횟수와 허용 진동 범위(Table 3)를 벗어난 횟수를 나타낸다. 또한  $\phi_1^*$  와  $\phi_2^*$  는 진동피크의 횟수와 허용진동범위를 벗어난 횟수를 평가함에 있어 스케일을 맞추기 위한 인자들이다. 상수  $\delta$  은 벌점함수가 적합도 함수에 미치는 전체적인 영향력을 결정하는 상수이다. 특히  $\varepsilon$  은 부호를 결정하는 요소로 최대화나 최소화 문제에서  $\pm$  로 표현되며 본 연구에서와 같이 목적함수를 최소화시켜야 하는 목적에서는 + 값으로 결정한다. 마찬가지로  $w_1$  과  $w_2$  은 벌점함수에 미치는 영향을 반영하기 위한 가중치이다. 벌점함수를 정의하기 위해 선택한 요소들은 Table 2 에 잘 나타나 있다.

Table 1 Factors of objective function

| Weight factor | Sub-object function                                | Scaling Factor      |
|---------------|--|---------------------|
| 0.3           | $f_1(t) = (\text{Sum of displacement-3000}) * 100$ | $f_1^* = 7100-3000$ |
| 0.7           | $f_2(t) = (\text{peak of displacement-1.4}) * 100$ | $f_2^* = 2.3-1.4$   |

Table 2 Factors of penalty function

| Weight factor | Sub-object function  | Scaling Factor       |
|---------------|--|----------------------|
| 0.3           | $\phi_1 = (\text{Count of vibration-250}) * 100$           | $\phi_1^* = 280-240$ |
| 0.7           | $\phi_2 = (\text{Number of vibration displacement}) * 100$ | $\phi_2^* = 240$     |

Table 3 Constraints of dynamic model

|  |   |
|--|---|
| Average Speed<br>for Constant Velocity Range   | 2.17m/s(horizontal)                       |
|  | 1m/s(vertical)                            |
| Time of Movement                               | 3.4s(horizontal)                          |
|  | 3.8s(vertical)                            |
| Time of Evaluation                             | 11.819s                                   |
| Limits of Maximum<br>Acceleration/Deceleration | $0 \leq \Delta t_h \leq \frac{T_{rf}}{2}$ |
|  | $0 \leq \Delta t_v \leq \frac{T_{rf}}{2}$ |

Table 3 은 최적화 과정시 시뮬레이션에 적용되는 모델의 허용 조건을 나타내고 있다. 실제  $T_{rf}$  는 수평이송과 수직이송 1.3 초와 1.5 초로 각각 정하였다.

#### 4.4 유전자 알고리즘 파라미터

별점함수를 적용한 유전자 알고리즘 구현을 위해서 구속조건 (Gen and Cheng 1997).<sup>10</sup> 구속조건이 있는 최적화에 좋은 효과를 발휘하는 실수 변수 코딩을 사용하였다. 본 연구에서 쓰인 유전자 알고리즘의 파라미터를 Table 4 에 나타내었다.

Table 4 Parameters of genetic algorithm

|                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|
| Population Size          | 20                       |
| Coding                   | Real Number              |
| Probability of Crossover | 0.8                      |
| Probability of Mutation  | 0.01                     |
| Crossover Operator       | Simple Crossover         |
| Mutation Operator        | Uniform Mutation         |
| Reproduction Operator    | Roulette Wheel Selection |

## 5. 시뮬레이션

### 5.1 시뮬레이션 인터페이스

Fig. 4 은 시뮬레이션 플로우 차트(flow chart) 를 나타내고 있다. 시뮬레이션은 수렴조건 만족 또는 최대 세대수와 같은 종료조건에 만족할 때까지 수행된다. 본 논문에서는 종료 조건으로 최대 세대수를 선정하였다.

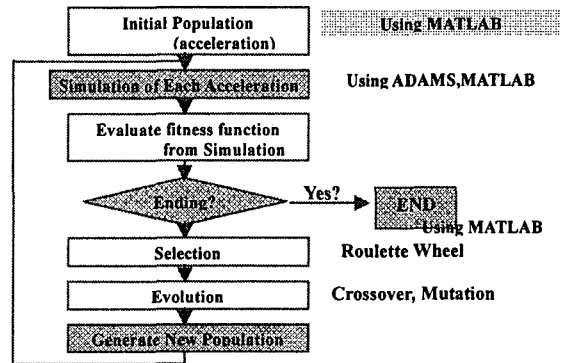


Fig. 4 Flowchart of simulation process

MATLAB<sup>®</sup> SIMULINK 와 ADAMS<sup>®</sup>/ Control (MSC. Working Knowledge 2000).<sup>11</sup> 의 유전자 알고리즘 적용을 위한 데이터 교환 인터페이스는 Fig. 5 와 같다.

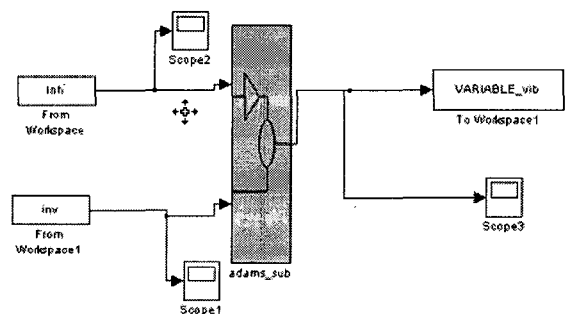


Fig. 5 Interface of ADAMS<sup>®</sup> with MATLAB<sup>®</sup>

### 5.2 시뮬레이션 과정 및 결과

Fig. 6 은 유한저크 방법을 이용해서 임의로 생성된 초기세대 해집단 중 하나의 생성된 가속도 프로파일을 보이고 있다. 상단의 그래프는 로봇 모듈의 임의 상승 가속도 프로파일과 하단은 이송 시스템의 임의 주행 가속도 프로파일을 나타내고

있다. 초기 생성 프로파일은 시뮬레이션모델에 적용되어 이후 각 해집단의 목적함수 및 벌점함수를 포함한 적합도 함수의 평가가 이루어지고 선택, 교배, 돌연변이의 과정을 거쳐 다음 세대에 반영되는 과정을 반복하게 된다.

각 유전자 알고리즘 수행하는 과정에서 17 세대와 26 세대의 해집단에서 가장 좋은 적합도 함수값을 나타내는  $\Delta t$  를 이용한 가속도 프로파일과 그 결과 컬럼부 유연효과에 의한 이송 시스템의 하부 기준 상단의 상대 진동변위 그래프를 Fig. 7 과 Fig. 8 에 각각 나타내었다. 이후 최적해 탐색과정을 계속 거쳐 Fig. 9 에서 보는 바와 같이 55 세대에서 수렴하였다. 전체적인 진동변위의 크기면에서 최적화 초기의 진동변위 그래프에 비해 감소를 확인할 수 있다. Fig. 10 은 세대에 따른 진동 변위의 평균(mean)값과 피크(peak)값의 변화를 나타내고 있다. 진화를 거듭할수록 진동변위의 크기의 평균과 피크값이 감소된 결과로 나타났다. 유전자 알고리즘을 이용하여 적합도가 커지는 방향으로 초기 해집단 생성으로부터 수렴에 도달하는 과정은 Fig. 11 에 나타나있다.

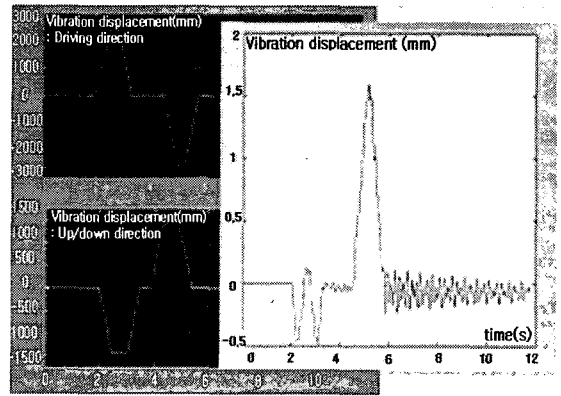


Fig. 7 One of Vibration Displacement at the 17th Generation ( $\Delta t = 0.4603s$ ,  $\Delta t = 0.5755s$ )

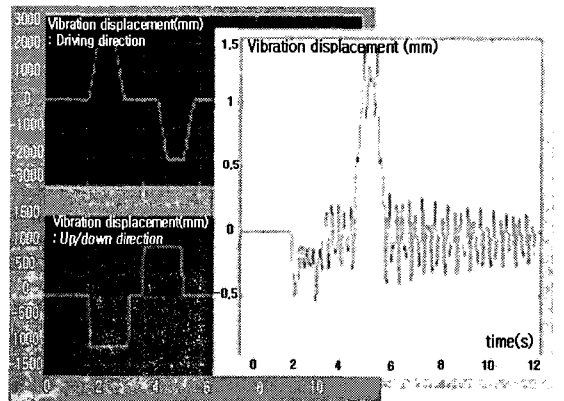


Fig. 8 Vibration Displacement at the 26th Generation ( $\Delta t = 0.0825s$ ,  $\Delta t = 0.3574s$ )

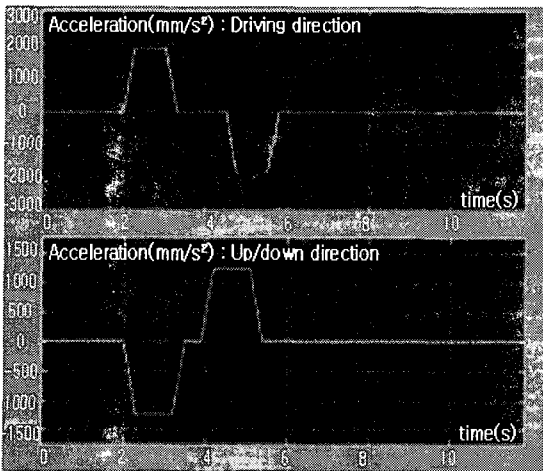


Fig. 6 One of Initial Acceleration Population with Finite Jerk ( $\Delta t = 0.2979s$ ,  $\Delta t = 0.2727s$ )

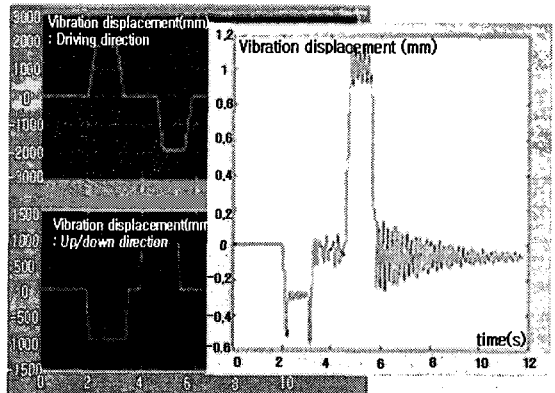
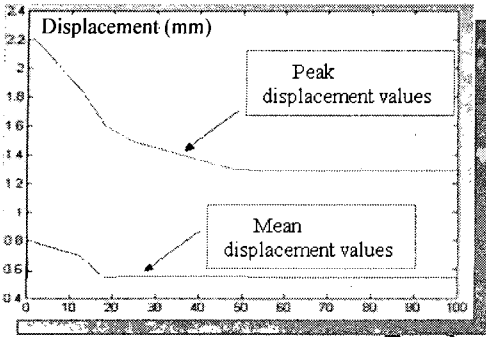


Fig. 9 Vibration Displacement at the 55th Generation (Convergence) ( $\Delta t = 0.2548s$ ,  $\Delta t = 0.1138s$ )



Convergence

Fig. 10 Variations of the mean and peak values of vibration displacements according to  $\Delta t$

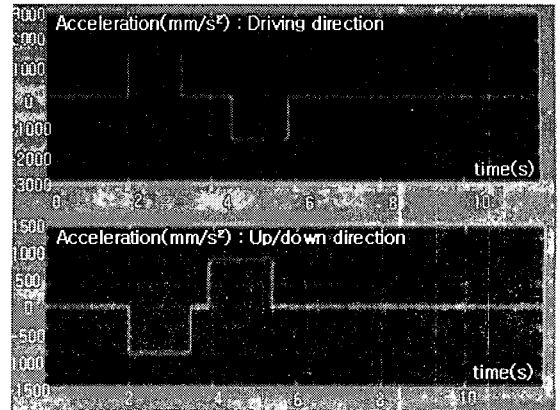


Fig. 12 Input acceleration with trapezoidal velocity profile

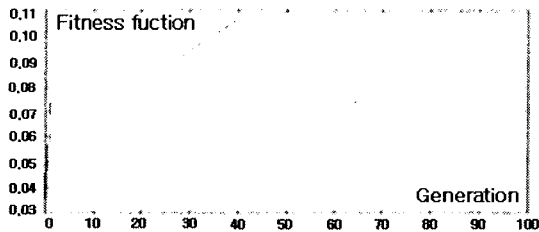


Fig. 11 Process of Convergence with Generation vs. Fitness

## 6. 비교

본 논문에서 제안된 알고리즘의 효용성을 입증하기 위해 사다리꼴형 속도를 이용한 기존의 가속도곡선의 시뮬레이션 결과와 유한저크 방법을 이용한 가속도 곡선의 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 이미 언급한 바와 같이 저진동이 절실히 요구되는 고속 LCD 이송 시스템에서 기존의 알고리즘은 불연속되는 가속도에 의해 무한한 저크를 발생시켜 진동유발의 문제를 가지고 있다. Fig.12 는 기존의 사다리꼴 속도 구동 방법에 따른 시간에 대한 가속도 그래프이다. Fig.13 은 사다리꼴 가속도 곡선으로 구동시켰을 때의 결과를 나타내고 있다. 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘의 결과 데이터를 Table 5 와 같이 비교하였다. 기존의 가속도 프로파일을 적용한 결과와 제안된 가속도 생성법을 이용한 결과 비교에서 알 수 있듯이 피크 및 평균 진동 변위 면에서 각각 약 41% 및 31%의 저감을 가져온다. 또한 12 초간의 진동변위의 적분값과 진동 횟수면에서도 감소된 것을 알 수 있다.

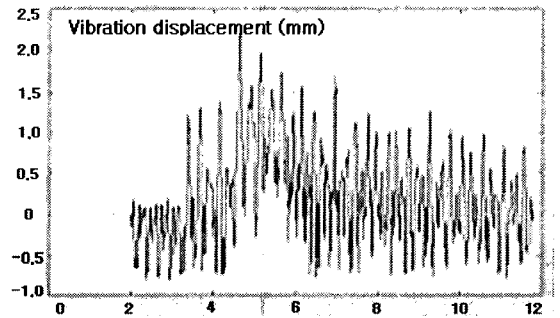


Fig. 13 Result of Vibration for Input Velocity with Trapezoidal Profile

Table 5 Comparison of conventional profile with optimized profile with finite jerk

|                            | Conventional Profile | Optimized Profile using Finite Jerk |
|----------------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Maximum (Displacement)     | 2.2153               | 1.2928<br>(41.6% of reduction)      |
| Mean (Displacement)        | 0.7937               | 0.5460<br>(31.2% of reduction)      |
| Sum of Displacement        | 4.6337               | 1.8840<br>(59.3% of reduction)      |
| Numbers of Vibration Peaks | 3595                 | 1120(68.8% of reduction)            |

## 7. 결론

본 논문은 고속 LCD 이송 시스템의 진동 감소를 위한 가속도 최적화 방법에 대해 제시하였다. 입력 가속도를 최적화하기 위해 유한 저크의 개념을 소개하였다. 유한 저크의 개념을 도입한 가속도 곡선은 LCD 이송시스템과 같은 특정한 기계 분야에서 전역해 탐색을 통해 비선형 문제의 해결할 수 있는 유전자 알고리즘을 이용하였다. 유전알고리즘을 적용하기 위해서 LCD 이송 시스템의 시물레이션 모델은 ADAMS® 소프트웨어를 사용하여 구성하고 MATLAB® 를 이용해서 최적화를 수행하였다. 결과 진동의 크기와 윗수면에서 감소를 가져올 수 있는 저크 시간 최적화를 수행할 수 있었다. 또한 기존의 사다리꼴형 속도를 구동 가속도로 LCD 이송 시스템에 적용한 적용한 결과와 비교해 보았을 때 가속도 최적화가 이루어졌음을 판단할 수 있었다.

본 연구의 최적화는 시물레이션 모델에 기초한 것으로 최적화된 결과를 수정없이 실제의 LCD 이송 시스템의 가속도 최적화에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 만족할만한 결과를 내기 위해 아래 항목과 같은 고려가 필요하다.

1) 실제의 구동은 속도제어를 위한 추진력으로 구동되므로 구동력을 고려한 최적화를 이루도록 해야한다.

2) 실제 이송 시스템의 진동은 컬럼부의 유연성 뿐 아니라, 결합부위의 강성, 이송부의 흡인력에 따라 나타날 수 있으므로 시물레이션 모델에 적용하여 실제 구동실험결과와 비교하여 만족할 만한 성능이 재현되도록 시물레이션 모델을 수정해야 할 것이다. 따라서 본 연구가 LCD 이송 시스템과 같이 더 이상의 기계 디자인에서의 수정이 허용되지 않는 기계시스템의 저진동을 위한 동적 제어에 적용될 수 있다.

## 후 기

본 연구는 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원 및 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역 전략산업 석·박사 연구인력 양성사업의 연구결과입니다. 또한 본 연구는 에너지관리공단의 에너지 절약 기술개발 프로젝트형 사업의 지원 및 ㈜신성이엔지의 지원으로 수행된 연구결과임을 밝힙니다.

## 참고문헌

1. Abido, M. A., "Genetic Algorithm for Multi-objective Environmental/Economic Dispatch," *Electrical Power and Energy Systems*, Vol.25, pp. 97 - 105, 2003.
2. Cahouet, C., Luc, M. and David, A., "Static Optimal Estimation of Joint Acceleration for Inverse Dynamics Problem Solution," *Journal of Biomechanics*, Vol.35, pp.1507 - 1513, 2002.
3. Kim, Y. S., "Design of Control System using MATLAB (Korean)," *NopiGipi*, pp.527-639, 1997.
4. MSC. Software Cooperation, "ADAMS/Flex Training Guide," *MSC. Software*, pp.65-68, 1997.
5. Swanson Analysis System, "ANSYS Introduction to ANSYS," *Swanson Analysis System*, pp.152-163. 1994.
6. Kang, D. H., Chun, Y. H. and Weh, H., "Analysis and Optimal Design of Transverse Flux Linear Motor with PM Excitation for Railway Traction," *IEEE Proc. Electr. Power Appl.*, Vol. 150, No. 4, 2003.
7. Choi, Y. H. and Hong, J. H., "A Study on the Feed Rate Optimization of a Ball Screw Feed Drive System for Minimum Vibration," *Proceedings of the KSNVE Annual Conference*, pp.962 - 966, 2004.
8. Chung, W. J., Park, C. K., Hong, D. S., Kim, D. Y., Kwon, J. R. and Park, B. S., "A New Optimization Technique For Wafer-Transfer Crane Dynamic Control Using A Genetic Algorithm," *Proc. of Int. Conf. on Computer, Communication and Control Technologies (CCCT 2003)*, pp.388 - 393, July 2003.
9. Chung, W. J., Kim, S. H., Jung, D. W., Kim, G. T., Park, M. H. and Shin, K. S., "Experimental Study on AC Servomotor Acceleration Optimization Using Finite Jerk," *Proceedings of the WMSCI 2005* pp.217 - 222, July 2005.
10. Gen, M. and Cheng, R., "Genetic Algorithms And Engineering Design," *A Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY & SONS, INC*, pp 27-41, 1997.
11. MSC. Working Knowledge, "MSC. ADAMS / Control Tutorial Guide," *MSC.software*, pp.80-122, 2000.