

## ADAMS를 이용한 로봇시스템의 동적 해석 및 제어

정원지(창원대), 송태진\*(창원대 기계설계공학과), 정동원(창원대 기계설계공학과)  
방덕제((주)신성이엔지), 윤영민((주)신성이엔지), 김기현((주)신성이엔지)

Dynamic Analysis and Control of Robot System Using ADAMS

W. J. Chung(Changwon National Univ.), T. J. Song\*(Mech. Eng. Dept., CNU)  
D. W. Jung(Mech. Eng. Dept., CNU), D. J. Bang(Shinshung ENG. Co.),  
Y. M. Yoon(Shinsung ENG. Co.), K. H. Kim(Shinshung ENG Co.)

### ABSTRACT

This research is that analyze multi-body system that have flexibility. We composed system consisted of crane, part of traveling and robot. And we analyzed the aspect of vibration when this system runs using ADAMS. Through this research we can analyze vibration and displacement of end-effector part of the large size robot. And this research can become reference that is going to analyze resemblant dynamic system.

**Key Words** : Stocker Transfer Robot(스토커 이송 로봇), ADAMS®, Flexible Body(유연체), Vibration(진동)

### 1. 서론

국내 반도체 및 LCD 산업은 선진국 수준의 기술 및 생산기술을 확보하고 LCD 생산부분에서 세계시장의 40%이상을 차지하는 국가 주력 산업으로 발전하였다. LCD 생산 라인의 경우, Stocker 시스템의 세대수 증가에 따라 커져가는 Glass의 크기와 무게 증가에 따른 이송시스템의 급속한 대처가 필요하다. 시스템의 각 부분 분석은 모델링된 물체에 국한된 정적 해석 수준에 그치고 있고 실제의 동적거동에 관한 연구는 시스템의 설계 기술의 발전에 비해 미비한 실정이다. 또한 실제의 이송 시스템의 경우 정적 해석보다는 동적 해석 결과에서 적용성이 높다고 할 수 있다. 본 연구에서는 이송 로봇과 로봇을 포함한 시스템을 한 예로 선정하고 다물체 동역학 해석 툴인 ADAMS®(Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems)를 이용한 동적 해석을 수행하도록 한다. 특히 대형화된 로봇의 구조상 유연체 해석이 필요하므로 동적 부분에 대한 고려가 선행되어야 한다. 수행 결과는 Glass를 이송하는 로봇의 End-effector부의 진동분석에 주안점을 두도록 하여 제어 입력에 따른 진동 양상을 파악하는 것을 연구 범위로 하였다.

분석하고자 하는 시스템의 모델링을 수행하고 각 모델을 ADAMS®상에서 구성한다. 유연체로 가정되어야 할 부분을 판별하여 톨상에서 등가의 Flexible Beam을 생성하여 해석을 수행한다. 로봇을 제어하기 위한 서보 모터의 일반적인 제어 곡선을 입력하여 End-effector에서의 진동 특성을 분석할 수 있도록 한다. 하나의 복합 구조체를 이루고 있는 각 부분의 거동이 End-effector의 진동특성에 어떠한 영향을 미치는지 알 수 있다. 비교 항목은 진동 변위의 크기 및 진동 변위 의 합(에너지)의 형태로 분석하였다. 실제 이송로봇 Arm의 운동시 모터 제어를 원활하게 하면서 또한 진동을 감소시킬 수 있는 가속도 Profile을 선별하고 찾아내는 것이 바로 본 연구의 핵심이라 할 수 있다. 이를 바탕으로 진동을 줄인 유연한 시스템의 구동을 생성해낼 수 있을 것이다.

본 연구는 유사한 시스템에 대한 분석 시 선례가 될 수 있을 것이라 판단한다. 유연한 다물체 구조물을 분석함에 있어서 구조물의 특성과 동적 거동을 분석하고 다양한 모사실험을 통해 진동을 감소시켜 동적 구조물을 이상적으로 유지할 수 있는 제어 방법을 찾을 수 있을 것으로 예상된다. 그리고 차후 최적화 알고리즘을 통한 제어 최적화를 목표로 연구가 이루어져야 할 것으로 본다.

## 2. 이론

### 2.1 Flexible Beam

구조물을 이루는 보는 기본적으로 설계에서 강체로 가정한다. 이러한 가정을 바탕으로 안전을 평가 등의 구조해석이 이루어지고 있다. 실제 이러한 가정은 정적인 구조물의 경우 합리적인 방법으로 구조해석상의 시간을 절약하고 모델링을 단순화하는 등의 이점을 가지고 있다. 그러나 고정밀을 요하는 이송구조물에 있어서의 진동을 시뮬레이션하기 위해서는 구조물을 이루는 평판을 유연한 소재로 보는 것이 타당하다. Link의 유연성을 정의하기 위해서는 하나의 Link를 여러 개의 질량 element로 나누어 각 element를 Link의 유연성을 표현하는 스프링으로 연결하는 방법을 이용한다.[1] 보의 유연성을 표현하는 스프링은 보의 늘어남(extension), 비틀림(torsion), 굽힘(bending)을 표현할 수 있어야 한다.

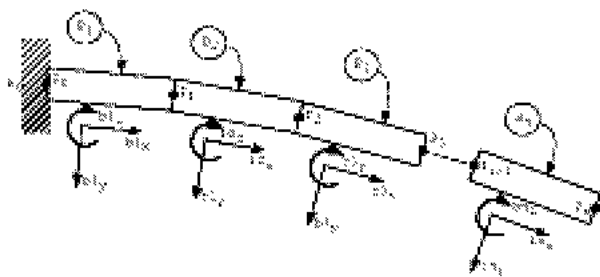


Fig. 1 Discreteness of flexible beam

Fig. 1과 같이 \$B\_1\$와 \$B\_2\$로 연결된 전체스프링의 내부에너지 \$V\$는 식(1)과 같이 가정된다.

$$V_i = \frac{1}{2} K_i^e \theta_i^2 + \frac{1}{2} K_i^t \phi_i^2 + \frac{1}{2} K_i^b \psi_i^2 \quad (1)$$

또한 이 보에 작용하는 일반적인 힘 \$F\_r\$은 식(2)과 같이 표현된다.

$$(F_r)_{V_i} = - \quad (2)$$

$$(r = 1, \dots, 4n)$$

## 3. 해석 대상

### 3.1 대상물

해석에 포함되는 요소들은 Fig. 2와 같이 Crane, Dual Arm 로봇, 주행부가 있다. ADAMS 해석 이전에 동특성 해석틀인 MSC.visualNastran 4D 상에서 각부의 구성품들을 Rigid Body로 조립한 것을 나타내고 있다. 메커니즘의 구성이 적절하여 구동이 원활하게 되는 것을 시뮬레이션 상에서 확인 가능하였다. Rigid Body 형태의 해석 결과이므로 구동시 Fork

부의 동적거동을 확인은 불가능하다.

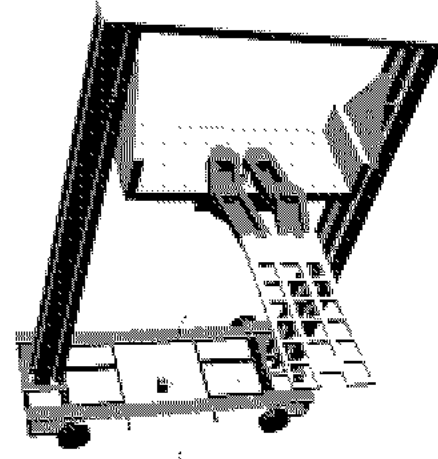


Fig. 2 simulation model

### 3.2 목표

최종적인 타겟은 Robot Fork부의 진동이다. 시스템의 각 방향 구동시 및 구동 이후 Shelf로의 이송 상태는 Fork 부의 유연성에 의해 입출시 간섭문제가 생기는데 대한 분석이 가장 중요하다.[2] 하지만 Rigid Body 형태의 구성은 진동분석이 불가능하므로 반드시 유연체 형태의 분석이 필요하다. ADAMS의 Discrete Flexible Link기능을 이용하여 등가의 유연 Beam을 형성하여 Fork의 동적거동을 분석한다.

## 4. 해석 과정

### 4.1 구속 및 조립

아래 Fig. 4와 같이 ADAMS상에서 각 Constraint를 부여하고 각 부분의 조립을 수행한다. [3] Fork부의 분석은 제외한 Part의 조립후 Dual Arm의 구동, Z(상향)-방향의 Robot Base 구동, Crane Assay의 주행 방향(전후) 구동의 3가지 구동조건을 부여한다.

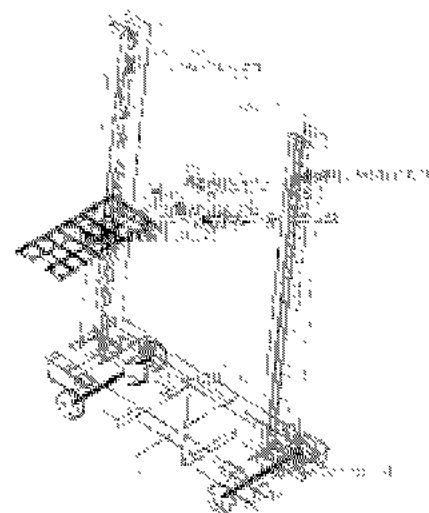


Fig. 3 Assembling Crane and Robot in ADAMS<sup>TM</sup>

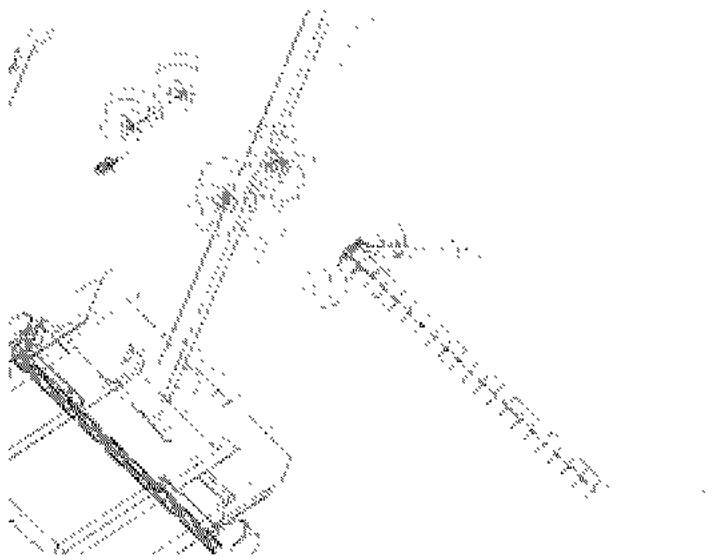


Fig. 4 Flexible Link which connected on robot arm

모델링툴인 CATIA V5<sup>®</sup> 상에서 Fork부의 Inertia 및 Mass 체크 후 Link의 element property를 부여하여 Flexible Beam을 생성시킨다. [4] 생성된 Beam을 Fork의 구속조건과 동일하게 조립한다.

### 3.2 구동 시뮬레이션

이상의 시뮬레이션 조건을 부여한 후 각 구동 조건에 맞는 3가지 구동 모션을 부여한다. 진동정도의 규명은 각 진동에 의한 변위값 및 변위 에너지를 비교함으로써 분석하도록 한다. Fig. 5는 진동 분석이 이루어지는 Fork 등 Link의 끝단의 Marker를 나타내고 있다.

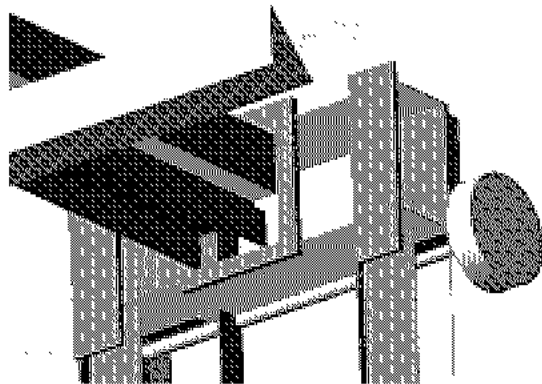


Fig. 5 Marker on Flexible Link

첫 번째 구동은 Robot Arm의 구동으로서 60deg/s의 각속도를 가지는 속도Profile 형태로 부여하며, 가속 특성은 1.5rad/s<sup>2</sup>을 부여하였다. 두 번째 구동은 Robot Base의 z(상향)방향 이송으로 1.5m/s의 속도 Profile과 0.1g의 가속 조건을 부여하였다. 세 번째 구동조건은 이송시스템의 주행(전후)으로 2m/s의 속도 Profile과 0.15g의 가속 조건을 부여하였다. 이러한 특성들은 모터의 용량 및 제어 수준에 따른 것으로 실제 구동 가능한 속도 곡선이라 할 수 있다.

이러한 속도 및 가속도 조건으로 Flexible Body의

Profile별 결과를 분석하였다.

## 5. 해석 결과 및 고찰

### 5.1 주행 조건에 따른 결과

Robot Arm 구동에 따른 Fork 끝단의 변화는 Table 1 및 Fig. 6과 같다.

Table 1 Fork Edge Displacement

Acceleration	displacement (mm)	Traslational Kinetic Energy(Nmm)
1.5rad/s	3247.1~3248.5	0~14445

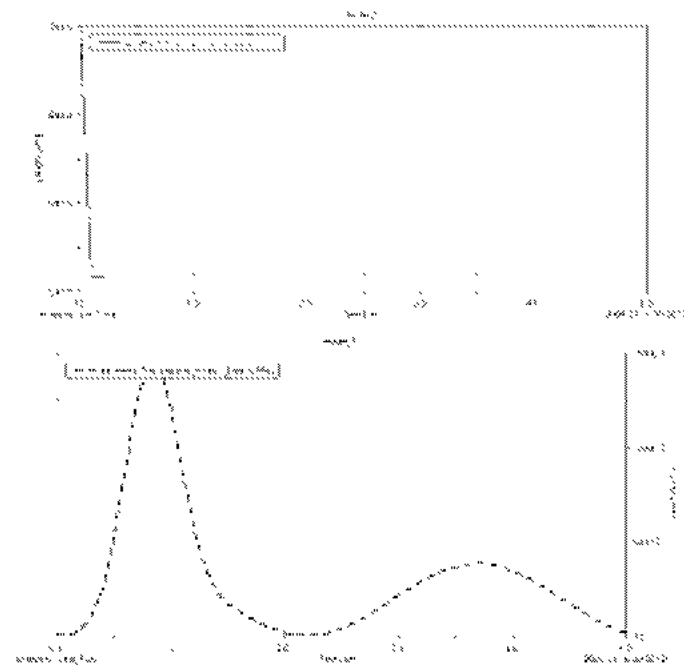
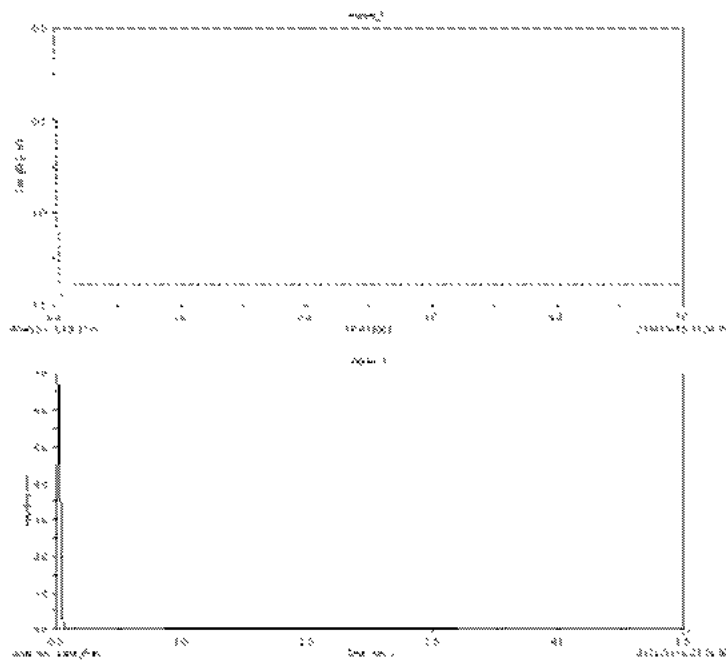


Fig. 6 Displacement and Translational Kinetic Energy

Robot Base의 z 방향 구동에 따른 Fork 끝단의 변화는Table 2 및 Fig. 7과 같다.

Table 2 Fork Edge Displacement

Acceleration	displacement (mm)	Traslational Kinetic Energy(Nmm)
0.1g	0~1.5	0~6.7328



이송시스템의 주행에 따른 Fork 끝단의 변화는 Table 3 및 Fig. 8과 같다.

Table 3 Fork Edge Displacement

Acceleration	displacement (mm)	Trnaslational Kinetic Energy(Nmm)
0.15g	3247.0~3248.5	0~558.3

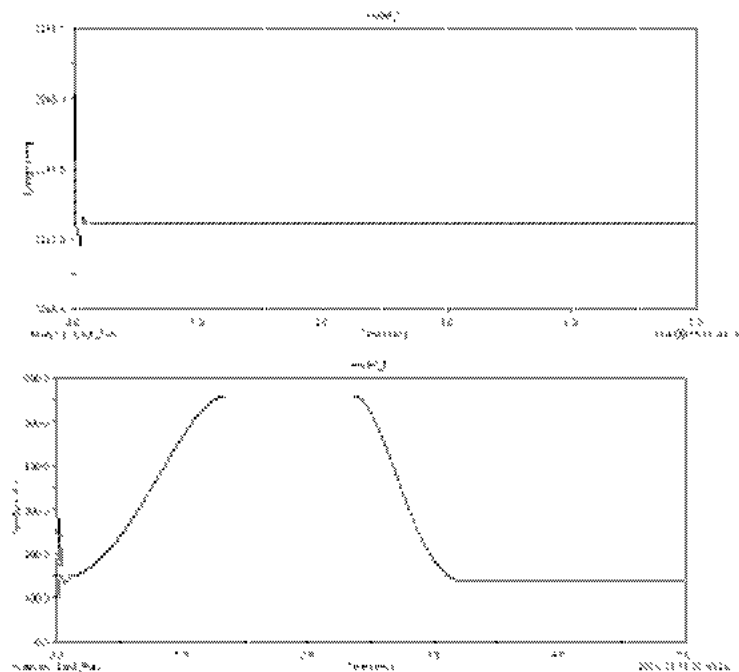


Fig. 6 Displacement and Translational Kinetic Energy

## 5.2 고찰

각 주행 조건에 따른 분석 시 이상의 결과에서와 같이 Flexible Body 끝단의 Marker 의 거동을 displacement, Translational Kinetic Energy의 개념으로 살펴보았다. Flexible Body의 재료 특성상(해석을 위해 damping ratio를 0.01으로 두었음) 진동의 확연한 효과는 확인할 수 없었지만 Robot Arm 구동과 이송 시스템의 주행의 경우 Translational Kinetic Energy의 변화가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 연구의 대상과 같이 동적 거동에 있어 유연체가 미치는 영향이 큰 시스템의 분석에 있어서 하중 및 기하학적 형상에 따른 시뮬레이션 분석을 수행해 보았다. 이러한 비교 내용은 경향성을 파악하여 나타나는 결과를 미리 예측해 가능하도록 해주고, 진동의 발생 원인을 규명할 수 있도록 분석하는 기초 자료가 될 것이다. 차후 최적화 알고리즘을 도입하여 제어 가속도 곡선의 최적화 연구로의 확장도 가능하다.

## 후기

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터(RRC)의 지원에 의한 것입니다. 또한 본 과제는 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역 전략산업 석·박사 연구인력 양성사업의 연구결과입니다.

## 참고문헌

1. P. Mitiguy, A, K, Banerjee "Determination of spring constants for modeling flexible beams," MSC technical journal, 2000
2. Rao. S. S "Mechanical Vibration," Addison-Wesley, 1995 p271, p274
3. ADAMS User's Manual, 2000.
4. "Simulation of Dynamic Behavior of Thermal Overload Relay Mechanism with Flexible Flat Springs,"2001 Korea User Conference, 2001.