액정디스플레이(LCD) 판넬유리 운반로봇의 진동저감에 대한 연구

Vibration Attenuation Study for an LCD Pannel Handling Rotot

탁태오^{*}, 김헌영^{*}, 전형호^{**}, 오용빈^{***} Tak, Tae-Oh^{*} Kim, Heon-Young^{*} Chun, Hyung-Ho^{**} Oh, Yong-Been^{***}

Abstract

The development of efficient and precise handling of an liquid crystal display (LCD) panel has been addressed as the sizes of LCD panels become much larger than ever. The majority part of LCD panel handling is conducted by industrial robots for the cost reduction and the quality control. A challenging problem, vibration of the panel, can be found when the robots are utilized for handling LCD panels. The vibration causes the poor product precision and the low productivity. The characteristics of LCD panels, which are the high size-to thickness ratio, the high elasticity, and the high brittleness, are the major sources of the vibration

This paper introduces the vibration attenuation techniques to overcome the difficulties encountered in the LCD production using the industrial robots.

키워드 : Keywords : *Robot, LCD glass panel, Vibration a ttenuation.*

1. 서론

LCD 유리기판의 크기가 증가할수록 제품 생 산성이 향상되므로 국내외 LCD 제작업체들은 경 쟁적으로 유리기판의 대형화를 추구하고 있다. 일 례로 4세대 680×880mm 라인에서는 유리기판 1장에 서 15인치 패널을 6장 생산할 수 있으나, 5세대 1100×1250mm 라인에서는 15인치 제품 15장을 생산 할 수 있다. 단순 수치로 비교한다면 생산성이 2.5 배 높아지는 셈이다. 5세대 기판보다 2배 정도 커 진 6세대 기판을 거쳐 현재 5세대 기판보다 4배 이상 커진 7세대 기판을 위한 시험 생산이 진행되 고 있다.

LCD기관이 대형화 됨에 따라 여러 단계의 제 작 공정에서 유리기관을 신속하고 정확하게 운반 하는 일이 매우 중요한 일로 부각되고 있다. 현재 유리기판의 운반은 대부분 로봇에 의해서 행해지 고 있는데, 이 과정에서 대두되는 문제는, 면적에 비해 두께가 얇은 기관의 외형적 특성과 탄성계수 가 높으며 취성이 강한 유리의 물성적인 특성이 어우러져 기판의 운반 중에 심한 진동이 발생한다 는 점이다. 생산성 향상을 위해서 기판을 고속으로

^{*} 강원대학교 기계메카드로닉스공학부 교수, 공학 박사

^{**} 강원대학교 대학원 기계메카드로닉스공학과 박사과정

^{***} 강원대학교 대학원 기계메카드로닉스공학과 석사과정

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제24권 B호, 2004. 탁 태 오, 김 헌 영, 전 형 호, 오 용 빈

운반하거나 혹은 운반의 시작과 종료 과정에서 유 리에 높은 가속도가 걸릴 때 많은 진동이발생하게 된다. 이러한 기관의 진동은 가공공정의 정밀도를 떨어뜨리고 생산성을 감소시킨다.

유리기판의 진동은 로봇과 유리의 상호작용에 의해서 발생한다. 따라서 유리의 진동 문제를 풀기 위해서는 로봇과 유리의 동역학을 동시에 고려해 야 한다. 본 논문에서는 5세대 1100×1250mm LCD 유리기판을 운반하는 로봇에서 발생하는 진동문제 를 해석할 수 있는 방법을 제시하고 이를 기반으 로 하여 진동저감 방안을 제시하고자 한다. 동역학 해석을 수행하기 위해서 다물체 동역학적 접근 방 법에 의해서 로봇을 모델링하고, 로봇의 모델에 쉘 (shell)요소를 이용한 유리의 탄성체 모델을 결합시 킨 로봇과 유리의 동적 상호작용을 고려한 운동 모델을 제시하고자 한다.

물성치가 표준화된 철과 같은 금속재료와 달리 유리는 제조공정에 따라서 물성치에 많은 편차가 발생하고, 또한 강한 취성으로 인하여 탄성변형 이 론에 근거한 수학 모델로는 유리의 동적 거동을 정밀하게 예측하기가 용이하지 않다. 본 논문에서 는 유리의 이러한 특성을 고려하여 지금까지 알려 진 유리의 물성치를 이용하지 않고 실험적 방법에 기초한 유리의 탄성거동 모델을 제안하고자 한다. 즉 표준화된 절차의 시험을 수행하고 이 시험 결 과를 역학적으로 분석하여 유리의 물성치를 추출 하고 이 물성치에 근거하여 유리 거동의 수학적 모델을 구성하고자 한다.[1],[2].

2.본론

그림 1 (a)에는 LCD 제작 과정에서 유리기판의 운반에 사용되는 전형적인 로봇이 나타나 있다. 병 진운동을 하는 포크부분에 유리가 얹혀지며 포크 는 로봇의 Arm1에 고정되어 있으며 Arm2와 Arm3의 길이는 같다. 그림 1 (b)과 같이 Arm1과 Arm2 사이, Arm2와 Arm3 사이 그리고 Arm3과 Body 사이는 각각 회전조인트로 연결되어 있는데, 유리기판이 병진운동을 하기 위해서 각 Arm 간의 회전각은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$\theta_1=\theta_3$	(2.	1)
$\theta_2 = 2\theta_1 = 2\theta_3$	(2.	2)

Arm2와 Arm3의 길이가 서로 같고, 식(2.1)과 (2.2) 와 같이 조인트 각변위의 조건이 만족되면 Arm1 은 각도 변화 없이 X축 방향으로 병진운동한다.



(a) 유리운반 로봇의 구조와 명칭



(b) 병진운동을 하기 위한 조건

그림 1 LCD용 유리핸들링 로봇의 명칭 및 병진운동 메커니즘

동역학적 해석을 수행하기 위해서 로봇의 각 부 분의 길이, 무게, 관성모멘트가 필요하다. 필요한 데이터는 표 1과 표 2 에 요약되어 있다.

표 1 로봇 각 링크의 길이

	х	У	Z
	length[mm]	width [mm]	depth [mm]
Arm1	50	1000	100
Arm2	550	76	37.5
Arm3	550	76	37.5
Body	200	600	40

	무게	관성모멘트		
	[kg]	Ixx	Iyy	Izz
		[kg-mm2]	[kg-mm2]	[kg-mm2]
Arm1	39.005	3.28E+06	4.06E+04	3.26E+06
Arm2	13.34	7659.21	4.13E+05	4.18E+05
Arm3	13.34	7659.21	4.13E+05	4.18E+05
Body	37.45	1.13E+06	1.30E+05	1.25E+06

표 2 로봇 각 부분의 무게 및 관성모멘트

Modulus, 감쇠행렬, 감쇠비등이 있다. 그리고 Y와 Z방향의 shear deflection의 보정값으로서의 Timoshenko beam 이론[4]을 적용하며 작용한 힘의 요소로 물 리적 힘의 질량은 I와 J에 모델링한다. 표 3은 포 크를 모델링한 빔의 물성치를 보여준다.



그림 3 ADAMS/Beam의 자유도와 작용점



그림 2 포크와 부시의 모델링(단위:mm)

강체로 가정한 Body나 Arm과는 달리 유리 기 판이 얹혀지는 포크 부분은 탄성체로 모델링 해야 한다. 그 이유는 로봇이 구동될 때 유리뿐만 아니 라 포크 부분에도 진동이 발생하므로 결국 유리와 포크부분의 상호작용을 고려해야 하기 때문이다. 로봇과 유리의 동역학 해석은 다물체 동역학 해석 코드인 ADAMS[3]를 사용하고자 한다. 포크의 탄 성 효과는 ADAMS에서 제공하는 선형 빔요소인 ADAMS/Beam을 사용하여 나타내고자 한다. 좌우 측 포크는 그림 2.2와 같이 각각 7개의 선형 빔 요 소로 구성하였다. 그림 3은 ADAMS/Beam을 보여 주고 있는데 단면적과 길이를 가진 탄성체를 모델 링 할 때 사용된다. X1- Y1- Z1좌표에 대해 X2-Y2- Z2 좌표계는 3방향의 병진과 3방향의 회전이 가능한 6개의 자유도를 갖는다. 입력변수로는 길 이, X Y Z 방향의 관성모멘트, 단면적, Young's

표 3 포크(빔)의 물성치

Young's modulus	2.07E5 N/mm2	Steel
Shear modulus	8.023E4 N/mm2	14개의
Density	7.801E-6 Kg/mm3	빔으로
Section size	10030 mm	모델링
Length	1050(150 X 7)mm	(2포크 X 7 맘)

포크와 유리기판 사이에는 부시(bush)를 이용하 여 모델링 한다. 유리와 포크의 접촉 부분에 부시 를 장착하는 이유는 포크가 유리에 닿는 순간 유 리의 미끄러짐을 방지하고 충격을 완화시켜주어 유리의 파손을 줄이기 위함이다. 그림 2는 6개의 동일한 부시의 위치를 보여주며 표 4는 부시의 물 성치를 보여 준다.

표 4 포크와 유리 사이의 접촉부분 6점 부시의 물성치

Stiffness	1400 N/mm	X-V-Z
Damping	3500 N-sec/mm	3방향
Torsional stiffness	10000 N-mm/deg	물성치
Torsional damping	1000 N-mm-sec/deg	농일

산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제24권 B호, 2004. 탁 태 오, 김 헌 영, 전 형 호, 오 용 빈

ADAMS를 이용하여 유리의 동적 거동을 해석 하기 위해서 ADAMS 에서 제공하는 쉘요소인 ADAMS/Autoflex 를 사용하고자 한다. 유리와 같 이 두께가 얇은 경우 솔리드보다는 쉘요소가 더 적절한데 ADAMS/Autoflex에서는 그림 4와 같은 삼각 쉘요소를 제공한다. 볜딩의 효과를 정확하게 표현하기 위해서 절점이 6개이며 각 절점의 자유 도가 6개인 삼각 파라볼릭(parabolic) 쉘요소를 이 용하여 모델링하며. 모델링에 필요한 입력값으로는 Young'g Modulus, 포아송의 비, 밀도, 요소의 크 기, 최소 요소의 크기, span angle, 최소 span angle, 두께, 모델해석에 필요한 동역학 모드의 수 등이 필요하다.



그림 4 삼각 파라볼릭 쉘요소

유리 제품에 대한 강도 측정을 하면 동일한 공 정에 의해 만들어진 제품이라도 그 측정값에 10-15%의 차이를 보이기 때문에 유리의 강도를 정확하게 예측하기가 쉽지 않으며 다른 공정을 통 해 만들어진 유리의 경우는 차이가 더욱 크다. 이 는 대부분의 취성 재료에서 나타나는 현상으로서 강도의 측정값이 거의 일정한 일반 금속재료와 동 일하게 다룰 수 없다. 따라서 일반적으로 문헌상으 로 알려진 유리의 강도를 이용하여 유리의 동적거 동을 표현하는 수학적 모델을 만드는 것은 타당하 지 않다. 본 논문에서는 유리의 이러한 특수성을 고려하여 수학적 모델링에 필요한 유리의 물성치 를 실험적인 방법에 의해서 구하고자 한다.

유리의 물성치를 구하기 위해서 3종류의 시험을 수행하였는데, 그림 5와 같이 인장/압축 만능시험 기를 이용하여 유리시편에 대하여 3 Point Bending Test, O-Ring Test, Denting Test 에 대 한 시험을 실시하였다[5]. 그림 5(a)는 만능시험기 와 데이터 수집을 위한 PC를 보여주고 있으며, 시 험의 종류에 따라서 그림 5(b)와 같이 해당되는 지 그를 장착함으로 각각의 시험이 가능하다. 시험의 출력된 결과는 작용 하중(lb)과 변형율(strain) (%) 으로 구성된다. 변형율은 길이 25.4mm에 대한 변 형량을 표시한다.



(a) 만능시험기



(b) 지그가 장착된 상태

그림 5 인장/압축만능시험기

그림 6과 그림 7은 각각의 시험에 사용된 시편의 규격과 시험방법을 나타낸다.



(b) O-Ring Test와 Denting Test 시편

그림 6 시험에 사용된 시편(단위: mm)







(b) O-Ring Test



(c) Denting Test

그림 7 시험방법

시험에서 얻은 Strain값을 이용하여 식(2.3)과 같이 최대변위 δ_{\max} 를 구한다.

$$\delta_{\max} = 25.4 \times \frac{Strain}{100}$$
(2.3)

구해진 δ_{\max} 를 식(2.4)에 대입하여 Young's Modulus를 구할 수 있다.

$$E = \frac{PL^3}{4bh^3 \delta_{\max}} \tag{2.4}$$

시험에서 얻어진 Young's Modulus는 63.9GPa 로 일반적으로 유리의 Young's Modulus로 사용되 는 46.2Gpa과는 상당히 상이한 값을 가짐을 알 수 있다.

표 5와 같은 입력값을 이용하여 ADAMS/Autoflex 에서 유리를 모델링 한다. 유리의 규격은 1100× 12500×.5mm 이다. 모드해석에서 얻어진 모드 중 운 송 중 가진 될 수 있는 저차 모드 3개만을 이용하 여 해석하였으며 모드의 주파수 및 형상은 그림 8 과 같다.



산업기술연구(강원대학교 산업기술연구소 논문집), 제24권 B호, 2004. 탁 태 오, 김 헌 영, 전 형 호, 오 용 빈



그림 9 각 조인트의 각도 변위



(c) 3차모드(1010.7Hz)

그림 8 유리 FEM 모델의 모드형상 및 주파수

표 5 유i	믜 FEM모델	의 입력값
--------	---------	-------

Poisson's ratio	0.245
Density	2.595E-6 Kg/mm3
Element size	20 mm
Element minimum size	5 mm
Element minimum angle	10
Element span angle	20
Number of Modes	6

ADAMS/Autoflex를 이용하여 모델링한 유리 FEM 모델을 그림 1과 같이 포크위의 부시에 얹어 해석을 수행하였다. 그림.9와 같이 각 조인트를 구 동하여 로봇을 운동시켰다. 그림 11과 그림 12은 유리판의 각 위치에서의 상하 방향의 변위를 나타 내며 위치에 대한 표시는 그림 10과 같다. 그림 10 유리판 변위를 측정한 위치



그림 11 위치 1의 상하 변위 (5초간-step : 500)



그림 12 위치 2의 상하 변위 (3초간-step : 300)

각 위치의 변위에서 알 수 있듯이 Arm1에 가 까운 위치2 보다 포크 끝부분인 위치 1에서 큰 상 하 변위로 진동이 발생함을 알 수 있으며, 진동 주 파수가 유리의 모드해석에서 얻어진 주파수와는 다른 저주파수 영역인 약 18Hz로 유리의 주파수와 공진된다고는 볼 수 없다. 로봇의 운동과정에서 발 생된 진동은 로봇의 포크가 유리의 무게와 자중에 의해서 진동된 것으로 보여 지며 진동을 저감시키 기 위해서는 포크의 강성이나 유리가 얹어지는 위 치를 조정해야 할 필요가 있다.

포크의 강성이 유리의 진동에 미치는 영향을 알 아보기 위하여. 단면을 기존 100×30mm에서 100 ×20mm로 두께를 줄여 해석하였으며 그림 13~그 림 14는 위치1과 위치2에서의 상하 변위를 보여준 다. 상하 변위가 기존의 포크보다 2배이상 커졌음 을 알 수 있다.



로봇의 전송 속도가 유리판에 어떤 영향을 주는 지 알아보기 위해 속도를 2배로 하여 위치 1에서 의 유리판의 상하운동을 알아보았다. 그림은 Arm 의 회전 속도가 2배임을 보여주고 있으며 그림 16 은 속도 변화에 의한 유리판의 상하 진동을 알 수 있다. 그림 15에서 보듯이 속도를 2배로 하여 구동 시키면 유리판 위치 1의 상하 변화가 좀 더 큰 것 을 알 수 있다.



그림 15 속도 변화 선도.



그림 16 속도 변화에 따른 위치 1의 상하변위

유리판과 포크 사이에서 로봇의 구동 시 유리판 의 진동에 많을 영향을 주는 부시(Bush)의 강성과 댐핑값에 변화를 주었다. 처음 부시 입력값에서의 위치 1의 상하 변위와 표 6과 같이 부시의 물성치 를 입력 후 구동시켰을 때의 위치 1의 변위를 비 교해 보았다. 그 비교값은 그림 18에서 볼 수 있듯 이 처음의 부시 물성치 보다 변화된 부시의 물성 치를 입력했을 때 위치 1의 상하변위가 줄어듦을 알 수 있다. 그림 17에서 보여주는 바와 같이 또한 각각 포크에 부착된 그 수를 2배 증가시켜 6개의 부시를 부착했을 때와 12개의 부시를 부착했을 때의 위치 1의 상하변위를 그림 19에서 비교해 보았다. 표 6 포크와 유리 사이의 접촉부분 6점 부시의 물성치 (2)

Stiffness	1600N/mm	x-y-z
Damping	3800N-sec/mm	3방향 므서키
Torsional stiffness	10100N-mm/deg	물 경 시 동일
Torsional damping	1050N-mm-sec/deg	



그림 17 12개의 부시의 모델링(단위:mm)



그림 18 부시 물성치 변화 후 위치 1의 상하변위



그림 19 부시 수량 변화 후 위치 1의 상하변위

3.결론

유리 운반용 로봇의 유리 진동을 해석하기 위해 서 유리와 로봇의 상호작용을 고려한 동역학적 모 델을 제안하였다. 로봇은 다물체 동역학적 모델링 방법에 의해서 유리가 얹히는 포크부분은 빔요소 로 모델링 하였으며 나머지 부분은 강제로 모델링 하였다. 유리는 삼각 쉘요소에 의한 탄성체 요소로 모델링 하였는데, 유리의 제조공정에 따라서 변하 는 물성치와 유리가 가지는 취성을 고려하여 실험 적 방법에 의해서 유리의 물성치를 추정하였다. 이 를 위해서 유리 시편에 대한 3점 굽힘시험, O-RING 시험, Denting시험을 수행하였다. 실험에 의해서 구해진 물성치는 유리에 대해서 일반적으 로 알려진 물성치와는 큰 차이를 보임을알 수 있 었다.

유리의 진동은 중앙이나 안쪽보다는 끝단으로 갈수록 심하였으며, 최대 3mm정도의 진폭이 발생 하였다. 유리의 진동은 유리를 지지하는 포크의 형 상이나 강성, 혹은 부싱의 부착 위치에 따라서 큰 변화가 발생함을 알 수 있었다. 따라서 유리의 진 동을 저감시키기 위해서는 유리가 얹히는 포크의 형상과 강성, 고무 지지대 위치와 물성치에 대한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Chang Sup Lee, Dai Gil Lee, Je Hoon Oh and Hyun Surk Kim, "Composite wrist blocks for double arm type robots for handling large LCD glass panels," Composite Structures, Vol. 57, Issues 1–4,pp. 345–355, July 2002.
- [2] J. R. Rice, "A path independent integral and approximation analysis of strain concentration by notches and cracks," ASME J. Apple. Mech., Vol. 35, pp. 379~386, 1968.
- [3] ADAMS/ Solver Reference manual, Mechanical Dynamics, Inc., 2002.중심으로", *대한토목학회 논문집*, 제14권, 제1호, pp.161 -170, 1994.
- [4] S. P. Timoshenko and J. N. Goodier, Theory of Elasticity, McGraw-Hill, 1982.

- [5] Y. Murakami, "Stress Intensity Factors Handbook," Pergamon Press, New York, 1987
- [6] Je Hoon Oh, Dai Gil Lee and Hyun Surk Kim, "Composite robot end effector for manipulating large LCD glass panels,"Composite Structures, Vol. 47, Issues 1-4, pp. 497-506, December 1999.
- [7] Chang Sup Lee and Dai Gil Lee, "Manufacturing of composite sandwich robot structures using the co-cure bonding method," Composite Structures, In press, Corrected Proof, Available online 16 December 2003.