

LCD 생산라인의 생산성 향상을 위한 초박형 유리진동 계측 시스템의 개발

오영교¹ · 이정욱² · 선주영² · 광정석³ · 원문철^{2,+} · 이현엽⁴

Development of a Thin Glass Vibration Measuring System for Productivity Improvement of LCD Manufacturing Line

Young-Kyo Oh¹, Jung-uk Lee², Ju-Young Sun², Jeong-Seok Kwack³, Moon-Cheol Won^{2,+}, and Hyun-Yup Lee⁴

Abstract

Recently, the LCD manufacturing industries try to maximize the productivity of LCD panels due to sharp increase in the market need of LCD display. Usually, the increase in manufacturing speed induces additional vibration of glasses and manufacturing machineries. This kind of vibration can induce bad effects on the manufacturing accuracy, and even can damage the glasses. The vibration signal of glass itself is very useful to predict the allowable maximum level of manufacturing speed. Therefore, it is necessary to measure the vibration of the glass itself and a very thin vibration measurement system attachable on the glass is needed. Since in some processes the glasses need to go through very thin gaps such as 2.5mm, We develop a glass vibration measurement system with the thickness of 1.3mm. The system measures the glass vibration using MEMS type accelerometers and store vibration data in a Nand-Flash memory. The performance of the develop system has been verified on a real LCD manufacturing line and the accuracy of vibration measurement is comparable with that of an accurate commercial vibration measurement system.

Keywords : MEMS Accelerometer, LCD Manufacturing, Vibration Measurement, Glass Vibration

1. 서 론

최근 급격한 LCD 시장의 팽창으로 LCD 패널 생산 업체는 수익 증대를 위하여 생산성을 극대화 시키고자 많은 노력을 하고 있다. 단위 시간당 LCD 패널의 생산량을 늘리기 위한 방법으로 LCD 패널 생산 라인의 생산 속도를 높이면서 증가된 속도에 기인한 장비 진동 및 패널 생산용 유리의 진동이 발생한다. 또한 생산 장비의 노후화 및 정비 불량으로 인한 기계적 접촉에 기인하는 진동이 발생하게 된다.

생산 공정 중 발생하는 진동은 장비의 유지, 보수 측면에 악영향을 미치고, 공정의 정밀도를 확보하지 못하는 원인이 되며, 이러한 문제를 해결하고자 하는 일부 연구가 수행된 바 있다[1, 2]. 생산 중 유리의 파손으로 이어 질 수 있는 사안이므로 LCD 생산 공정 관리

분야에서 문제를 야기 시키는 가진원 파악 및 통제를 위하여 생산 공정 중 장비 및 유리의 진동 레벨을 계측하기 위한 초박형 시스템이 요구 되었다.

진동 계측 시스템은 다양한 분야에 적용되어 왔으며, "Brüel & Kjaer 社", "National Instrument 社" 등의 전문 업체에서 생산하는 많은 종류의 진동 계측 시스템이 있다.

이러한 기성 계측 시스템을 이용하여 기계진동 및 구조물의 상시 감시 시스템을 구성한 연구[3]가 있으며, MEMS(Micro Electro Mechanical System)기술을 적용한 가속도 센서와 무선통신을 이용한 무선계측 시스템을 구성하여 기계진동 계측에 적용하는 연구 [4]가 있다. 또한, 반도체 생산 공정에 사용되는 실리콘 웨이퍼의 반송중에 발생하는 진동을 계측하기 위하여 실리콘 웨이퍼와 유사한 형태를 갖춘 무선 진동 계측 시스템[5]이 있다.

LCD 공정 중 다양한 화학적 물리적 처리과정을 거치게 되는데, 산성도 및 염기도가 다양한 화학 약품을 이용한 공정이 존재하며, 특정한 처리 과정에 있어 glass가 장비를 통과하는 여유(gap)가 매우 협소한 경우도 있다. 또한, 진공상태로 감압되어 있고 밀폐된 챔버(chamber)내부에서 생산 공정이 진행 된다. 기 수행된 연구 및 개발된 계측 시스템은 진동 측정 센서의 두께가 두꺼워 특정 공정상

¹(주)LG 디스플레이(LG Display Co., Ltd.)

²충남대학교 메카트로닉스공학과 (Department of Mechatronics Engineering ChungNam National University)

³(주)수퍼센츄리 (Super Century Co.,Ltd.)

⁴충남대학교 선박해양공학과 (Department of Naval Architecture and Ocean Engineering)

⁺Corresponding author : mcwon@cnu.ac.kr

(Received : Aug. 31. 2011, Accepted : Sep. 14. 2011)

의 협소한 공간을 통과하지 못 하며, 기존의 계측 시스템은 센서와 데이터 수집 장치 사이에 도선으로 연결 되어야만 하는 구조를 갖고 있어 진공 상태의 챔버 내에서 사용하기 부적당 하다. 또한, 센서 및 데이터 수집 회로의 내화학성이 충분하지 못하여 화학 약품이 사용되는 생산 공정 중에는 계측이 불가능 하다.

본 연구에서는 LCD 생산 라인에 적용 가능한 초박형 진동 계측 시스템을 개발 하였다. 특정 공정의 협소한 장비 사이를 계측 시스템 이 통과 하기 위한 최대 허용 두께(thickness) 1.3 mm(공차제외)를 만족시키기 위하여 기존의 시스템에 주로 사용되는 피에조(piezo)타입의 센서 대신 MEMS 타입의 가속도 센서[6]를 사용 하였다.

센서에서 계측된 진동 데이터는 유리에 부착된 계측 보드에 저장되며 계측종료 후 저장된 데이터는 PC에 다운로드가 가능하게 시스템을 개발하였다.

생산 과정 중 LCD 생산용 Glass가 좁은 공간을 통과해야 하므로 두께조건을 만족시키기 위한 초박형 계측 회로 개발과 이를 운용하기 위한 시스템에 관한 연구와 내 화학성과 두께를 동시에 만족시키기 위한 코팅방법에 관한 연구를 중점적으로 수행하였다.

아래 Table 1은 5세대 LCD 생산 공정에 적용될 초박형 계측 시스템의 요구 성능을 나타낸 표 이다.

Table 1. Required performance items of measurement system

No.	항 목	요구성능	비 고
1	진동 가속도 측정 채널	8 채널	공차포함
2	온도 측정 채널	1 채널	
3	시스템 연속 동작 시간	60분	
4	계측 시스템 두께	1.3 mm	
5	동작 온도	상온(최대 60 °C)	
6	동작 진공도	10m torr	
7	내화학성	PH2~PH11	
8	계측제어명령	무선	

진동 가속도 8 채널 및 온도 1채널을 포함한 총 9채널의 계측 채널을 갖고 있으며, 최대 60 °C 대기온도와 10 mm torr 의 진공도에서 최대 20분 연속 계측이 가능하여야 한다. 5세대 LCD 생산 공정 중 대기온도 200 °C이상의 공정은 고려하지 않았다.

PH2 ~ PH11의 화학 약품에 견뎌야 하는 내 화학성 요구 성능은 공정에 사용되는 에칭용액(CU-etchant)과 스트립용액(CU-striper)의 수소 이온 농도를 기준으로 삼았으며 이는 강 산성, 강 염기성에 해당되는 수치이다.

두 조건을 충족함과 동시에 10 m torr의 진공 상태에서 진동 가속도와 온도를 계측 할 수 있어야 한다.

2. 계측 시스템의 구성

2.1 시스템 구성도

진동 계측 시스템은 아래 Fig. 1 과 같이 크게 세 부분으로 구성 되어 있다. 진동 가속도를 전압 신호로 변환하는 가속도 센서 모듈, 센서보드에서 들어오는 전압 신호를 디지털 신호로 변환 및 저장하고 계측 시스템을 제어하는 TAMS(Thin Acceleration Measurement System) 인터페이스 모듈, TAMS 인터페이스 모듈로 제어 명령을 전송하고 계측된 데이터를 다운로드 하는 PC 인터페이스 모듈로 구성되어 있다.

가속도 센서 모듈에서 TAMS 인터페이스 모듈로 넘어가는 진동 가속도 신호는 관심 주파수 영역 이외의 대역에 존재하는 노이즈 제거를 위하여 5차 Butter-worth filter를 배치하였다.

Butter-worth filter를 통과하여 수집된 아날로그 형태의 진동 가속도 신호는 TAMS 인터페이스 모듈 내의 ADC에 의하여 디지털 신호로 변환되며, 변환된 디지털 형태의 진동 가속도 신호는 dsPIC 프로세서[7, 8]를 거쳐 메모리에 저장 및 유선, 무선 통신을 이용하여 PC 인터페이스 모듈로 전송하게 된다.

가속도 센서 모듈과 TAMS 인터페이스 모듈은 LCD 생산용 유리에 함께 구성되며, 가속도 센서 모듈과 TAMS 인터페이스 모듈은 유리 위에서 도선으로 연결되어 있다.

PC 인터페이스 모듈은 PC의 USB 포트와 연결되는 하드웨어 보드와 PC에 설치되는 User Interface 기능과 데이터의 저장 및 계측 시작, 종료 기능을 갖춘 사용자 인터페이스 프로그램으로 구성되어 있다.

PC 인터페이스 모듈은 휴대용 Notebook PC에 장착되어 가속도 센서 모듈과 TAMS 인터페이스 모듈과는 분리되어 독립적으로 동작하게 된다.

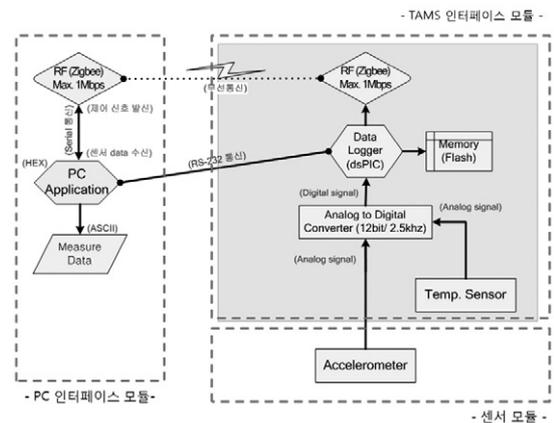


Fig. 1. Block diagram of measurement system.

계측 시스템 운용 측면에서의 공간 효율성을 높이기 위하여 온도 센서는 독립된 모듈로 구성하지 않고 TAMS 인터페이스 모듈 내부에 실장하였다.

2.2 가속도 센서 모듈 및 온도 센서

가속도 센서 모듈에는 진동 가속도를 전압 신호로 변환하여 주는 3축 가속도 센서와 전압 안정화 목적의 커패시터로 구성되어 있다.

Fig. 2에 도시한 바와 같이 가속도 센서의 3개 축 중에서 필요한 수직 방향(Z-axis)만 활성화 시켜 사용 하였으며, 센서 내부 클럭(clock) 노이즈를 차단하기 위하여 1507 Hz의 대역폭을 갖는 내부 저역 통과 필터(low-pass filter)를 거쳐 진동 가속도 신호를 출력 하게 된다.

센서 모듈의 내부에서 공급되는 전원(Vcc)과 기준전압(GND)은 전 원 안정화 부를 거쳐 센서로 공급 된다.

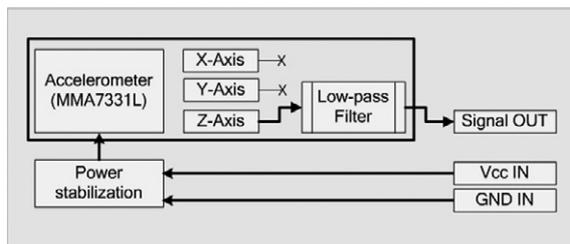


Fig. 2. Block diagram of accelerometer module.

가속도 센서 모듈에 사용된 소자의 사양은 Table. 2와 같으며, 전체 계측 시스템에 요구되는 두께와 소비 전력을 고려하여 소자의 두께가 최대 1.0 mm가 넘지 않고, 배터리로 운용되는 시스템에 적합 하도록 저전력 소자들로 선정하여 구성 하였다.

Table 2. Specification of accelerometer

No.	항 목	사 양	비고
1	Bandwidth	300 Hz	Z-axis
2	Acceleration Range	±4 g	
3	Sensitivity	308 mv/g	
4	Supply voltage	3.3 V/500 μA	
5	Operating temp.	-40 °C~85 °C	
6	Vender	Freescaler社	

실제 제작된 가속도 센서 모듈은 Fig. 3과 같으며, glass 진동 시 가속도 센서 모듈에 의한 영향을 최소화 하기 위하여 glass와의 접촉 면적을 최소화 하여 10 mm×16 mm의 크기로 제작 하였다.

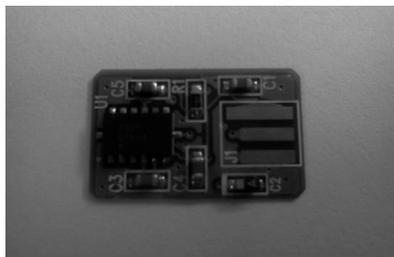


Fig. 3. Picture of accelerometer module.

온도센서는 외부 온도의 대략적인 변화를 측정하기 위한 센서 이므로 큰 정밀도를 요구하지 않는다.

계측 시스템 전체의 면적을 줄이기 위하여 외부 모듈로 제작하지 않고 TAMS 인터페이스 모듈 내부에 실장 하였다.

2.3 TAMS 인터페이스 모듈

TAMS 인터페이스 모듈은 가속도 센서 모듈에서 입력 받은 아날 로그 형태를 갖는 진동 가속도 신호를 디지털화 하여 메모리에 저장 하고 계측 종료 후 메모리에 저장된 진동 가속도 데이터를 사용자 PC 와 연결 되어있는 PC 인터페이스 모듈로 전송하는 역할을 하게 된다.

계측 회로가 실제 LCD 생산에 사용되는 glass 위에서 구동하게 되므로 외부전원 없이 배터리로 구동하게 된다.

배터리는 0.98 mm 두께를 갖는 리튬 폴리머(Lithium polymer) 전지를 사용하였고, TAMS 인터페이스 모듈 내부에 전원 ON/OFF용 비 접촉식 스위치 회로를 내장하고 있다.

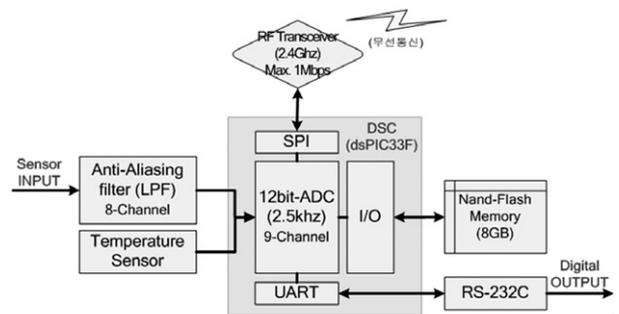


Fig. 4. Block diagram of TAMS interface module.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 가속도 센서 입력부분에 5차 저역 통과 필터(lowpass filter)를 부착하여 외부 노이즈의 영향을 저감 시킬 수 있도록 구성하였으며, 사용한 5차 저역 통과 필터는 MAXIM社의 "MAX7424"를 선택하여 사용하였다.

"MAX7424"는 차단 주파수(cutoff frequency)를 외부의 커패시 터로 가변 할 수 있어 ADC(Analog to Digital Converter)의 샘플 링 주파수(sampling frequency)에 적합한 차단 주파수를 사용자 가 선정 할 수 있다.

최대 관심 주파수 보다 1.414배 크게 필터의 차단주파수를 설정 하여 최대 관심주파수 영역이 완전하게 필터를 통과하도록 하였다. 차단 주파수보다 약 10배 정도 큰 주파수로 ADC 샘플링 주파수를 설정하여, 최종 샘플링 주파수는 2.5 KHz로 결정하였다.

TAMS 인터페이스 모듈 내부에 16bit DSC(Digital Signal Controller)를 탑재하였으며 DSC의 사양은 Table 3과 같다. 탑재 된 DSC는 내장된 12bit 분해능을 갖는 ADC와 DSC 외부의 무선 트랜시버(RF transceiver), 낸드 플래시 메모리(Nand-flash memory), RS-232C 통신을 위한 소자를 제어하게 된다.

Table 3. Specification of dsPIC33FJ128GP206A

No.	항 목	사 양	비고
1	ADC Resolution	12 bit	
2	Communication	UART, SPI	
3	Internal memory	128 KB	
4	Operating speed	40 MIPS	
5	Operating voltage	3.3 V	
6	Vender	Microchips社	

무선 트랜시버는 PCB위에 새겨진 안테나를 제외하고 단일 소자 형태로 동작하는 TI사의 “CC2400”[9]을 사용하였으며, 사양은 Table 4와 같다. 무선 트랜시버는 TAMS 인터페이스 모듈의 제어에 필요한 각종 신호를 PC 인터페이스 모듈과 무선으로 교환하는 역할을 하게 된다.

Table 4. Specification of CC2400

No.	항 목	사 양	비고
1	RF Frequency range	2,4 GHz	
2	Operating voltage	1,8 V / 3,3 V	Core/IO
3	Current consumption	24 mA/19 mA	RX/TX
4	Data rate	1 Mbps	Maximum
5	Vender	TI社	

낸드 플래시 메모리는 ADC를 거쳐 디지털화 된 진동 가속도 신호를 매 샘플링 마다 순서대로 저장하게 되며, 저장된 데이터는 계측 종료 후 Table 5와 같이 정의된 데이터 패킷(packet)에 따라 RS-232C 통신으로 약 625 Kbps 속도로 PC 인터페이스 보드로 전송하게 된다.

Table 5. Definition of RS-232C data packet

헤더코드	명령코드 + 주소값		설 명
#	D	0x000000~0xFFFFF	해당 주소 데이터 다운로드

(a) RS-232C Command data packet definition

헤더코드	주소 값	데이터(9ch.)	설 명
0xEEEE	4byte	18byte	해당 주소 계측 데이터

(b) RS-232C Response data packet definition

2.4 PC 인터페이스 모듈

PC 인터페이스 모듈은 TAMS 인터페이스 모듈과 계측 제어 신호를 교환하며, 저장된 데이터를 PC에 다운로드 받는 역할을 한다.

2.4.1 인터페이스 하드웨어 보드

인터페이스 하드웨어 보드는 사용자가 계측에 사용되는 PC에 연결하여 사용하게 되므로 가능한 한 소형으로 제작하였으며, Fig. 5와 같이 사용자 편의를 위하여 PC측으로 전송되는 모든 신호는 USB 변환 디바이스를 사용하였다.

TAMS 제어를 위한 신호는 무선 트랜시버를 통하여 교환하며, 제어 신호 패킷을 일치시키기 위하여 DSC에서 신호 패킷을 변환하여 PC 측으로 전송하게 하였다.

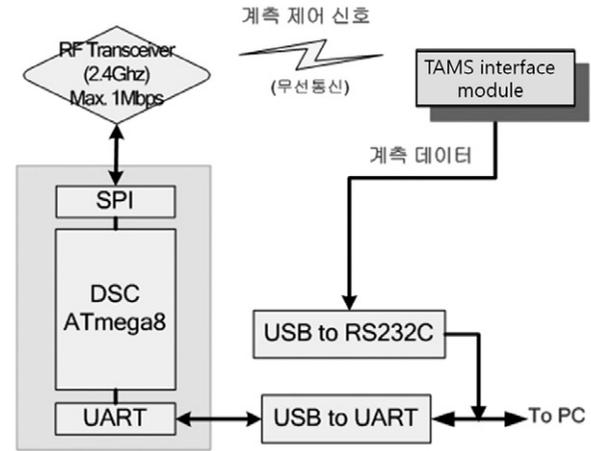


Fig. 5. Block diagram of PC interface module.

유선 통신 부분은 계측이 종료된 후 TAMS 인터페이스 모듈과 도선으로 연결하여 계측된 데이터를 다운로드 하는 역할만 수행하므로 PCB 모듈 형태가 아닌 상용 품으로 판매되는 USB to RS-232 변환기를 구입하여 사용하였다.

Fig. 6 (b)와 같이 인터페이스 하드웨어 보드를 제작하였고, 인터페이스 보드는 제어신호 교환을 위한 무선 통신과 계측 데이터 다운로드를 위한 유선 통신의 역할을 수행한다.



(a) USB to RS232 converter



(a) USB to RS232 converter

Fig. 6. Picture of PC interface module.

PC 인터페이스 모듈과 교환되는 무선 데이터 패킷은 아래 Table 6과 같이 10 byte의 정형화된 포맷으로 정의 하였다

Table 6. Definition of RF data packet

헤더코드	명령코드 + 주소값, 어백코드(0)	설명
#	S T A R T 0 0 0 0 0	계측시작
	E N D 0 0 0 0 0 0	계측 끝
	C L E A R 0 0 0 0 0	변수 초기화
	M E M O R Y E R A	메모리 삭제
	M E M O R Y 0 0 0	현재 주소 값 전송
	S A 0x000000~0xFFFFFFFF	다운로드 시작 주소값
E A 0x000000~0xFFFFFFFF	다운로드 끝 주소값	

(a) RF Command data packet definition

헤더코드	Memory Address(24bit)	설명
0xF1	0x000000~0xFFFFFFFF	다운로드 시작 주소 응답
0xF2	0x000000~0xFFFFFFFF	다운로드 끝 주소 응답
0xF3	0x000000	변수 초기화 완료
0xF5	0x000000	메모리 삭제 완료
0xF6	0x000000~0xFFFFFFFF	현재 주소 값 전송 완료
0xF7	0x000000~0xFFFFFFFF	다운로드 시작 주소값
0xF8	0x000000~0xFFFFFFFF	다운로드 끝 주소값

(b) RF Response data packet definition

2.4.2 사용자 인터페이스 프로그램

C# 기반으로 작성된 PC 응용 프로그램으로 인터페이스 하드웨어 보드의 데이터 교환과 USB to Serial 변환기를 통한 TAMS 인터페이스 모듈과의 무선 데이터 교환이 가능하도록 작성 되었다.

무선통신과 유선통신 모두 하나의 프로그램에서 처리하며 Table 5와 Table 6 에서 소개한 모든 데이터 패킷을 처리할 수 있도록 프로그램이 작성 되었으며, 화면 구성은 Fig. 7과 같다.

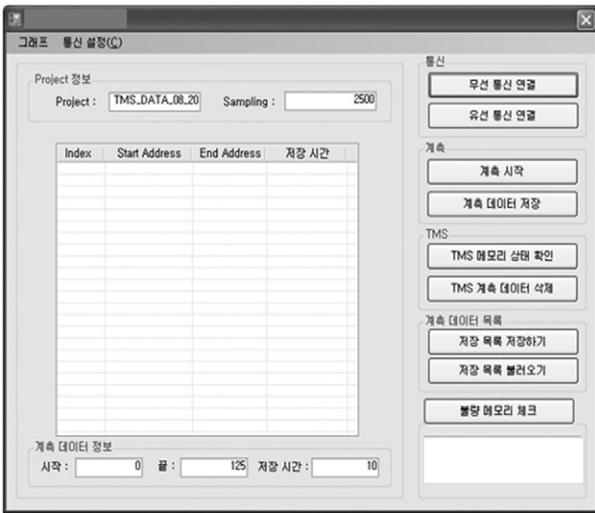


Fig. 7. User interface application.

3. 실험 및 검증

3.1 진동 가속도 계측 성능 검증

“Brüel & Kjaer 社”의 Pulse Analyze를 개발된 우리부착 진동 계측 시스템과 동시에 사용하여 5세대 LCD 생산 공장 내부에서 계측 하였다.

모두 LCD 생산용 유리(1100 mm × 1250 mm) 위에서 가속도

센서 모듈 과 근접하여 Pulse 장비의 피에조 타입 가속도 센서를 부착하여 계측 하였고, 그 배치는 Fig. 8과 같다.

S1~S8 까지는 개발된 계측 시스템의 가속도 센서 모듈을 나타내 고 PULSE1, PULSE2 는 Pulse Analyzer 장비에 연결된 피에조 타입의 가속도 센서 부착 위치이다.

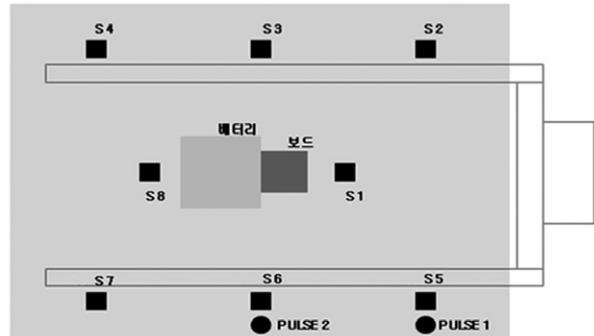


Fig. 8. A sensor location on the LCD glass.

계측 시스템은 2.5 kHz로 샘플링 하였고, Pulse 장비는 16.384 kHz로 샘플링 하였다. Pulse 의 샘플링 주파수가 더 높기 때문에 계측된 신호들은 Pulse 장비에서 더 크게 계측 되었으며, 5번 채널에서의 계측 결과는 Fig. 9에 도시하였다.

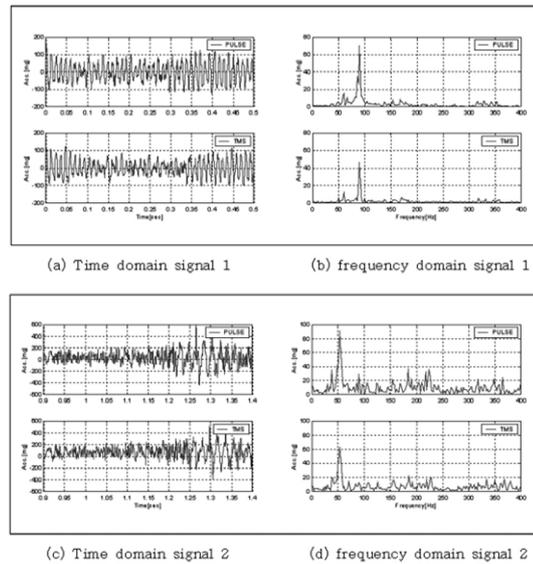


Fig. 9. Results of glass vibration measurement.

두 계측 시스템의 시간영역 데이터와 주파수 영역 데이터를 비교 하여 보면 주파수 성분과 크기가 매우 유사하게 나타남을 확인할 수 있다.

4. 결 론

LCD 생산 장비의 진동을 측정하기 위한 계측 시스템을 설계 및 제작하여 5세대 LCD 생산 공정에 적용하였고 계측 결과를 전문 장비인

Pulse 와 비교하여 개발한 계측 시스템의 신뢰성을 검증 하였다.

진동 계측에 있어 상대적으로 저렴한 MEMS 타입의 가속도 센서로 8채널의 진동 가속도를 계측 하는 시스템을 양산 할 수 있는 가능성을 확인 할 수 있었고 현존하는 계측 장비로 계측 할 수 없었던 LCD 공정 라인 이동 중의 유리 진동 가속도를 계측할 수 있다는 가능성을 확인 하였다.

앞으로의 연구 과제를 통하여 무선 통신의 성능과 대역폭을 개선하여 실시간 계측 및 다수의 계측 시스템에 대한 동시 계측의 가능성 확인이 필요 할 것이다.

다수의 계측 시스템을 네트워크로 연계하여 계측할 수 있으면 공정장비에 대한 직접적인 진동 관리 시스템을 구축 할 수 있으며, 축적된 진동 데이터를 바탕으로 DB를 구축하여 향후 LCD 생산 공정의 생산성 향상에 필요한 진동 가속도 데이터의 기준으로 삼을 수 있을 것이라 생각한다.

감사의 글

신호 계측을 위해 협조하여 주신 LG 디스플레이 5세대 LCD 공장 관계자 여러분께 감사의 말씀을 드립니다.

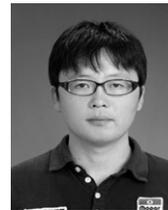
REFERENCES

- [1] 최기한, 한장우, 이상룡, “대면적 TFT-LCD 유리기판 이송용 복합재료 로봇 손 개발에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 A권, 제26권, 제7호, pp.1357~1365, 2002.
- [2] 이현승, 이영신, 김현수, 이장원, 이세훈, “다점지지된 TFT-LCD 유리기판의 고유진동수 최적화”, 한국소음진동 공학회 2005년도 춘계학술대회논문집, pp. 246~249, 2005.
- [3] 허광희, 이우상, 이 규, 이동기, “스마트구조물과 자가 획득 무선계측 시스템 설계”, 한국구조물진단학회 2004년도 봄 학술발표회 논문집, 2004
- [4] 손종덕, 심민찬, 양보석, “MEMS 가속도계 기반의 기계 상태감시용 스마트센서 개발”, 한국소음진동 공학회 논문집, vol. 18, no. 8, pp. 872~878, 2008.
- [5] Khoon Peng Lim, *Real-time detection of wafer shift/slide in a chamber.*, United States Patent 7,750,819 B2, 2010.
- [6] Freescale Semiconductor Inc., *MMA7331L data sheet.*, Freescale Semiconductor Inc., 2010.
- [7] James H. McClellan, Ronald W. Schafer, Mark A. Yoder, *DSP FIRST : A multimedia Approach.*, Prentice-Hall Inc., USA, 1998.
- [8] Microchip Technology Inc., *dsPIC33FJ128GP206A data sheet.*, Microchip Technology Inc., 2009.
- [9] Texas Instruments Inc., *CC2400 data sheet.*, Texas Instruments Inc., 2008.



오 영 교(Young-Kyo Oh)

- 2011년 충남대학교 메카트로닉스공학과 (공학석사)
- 2011년~현재 (주)LG Display 생산기술 센터 근무
- 주관심분야 : 시스템 디자인, 진동, 신호 처리



이 정 욱(Jung-uk Lee)

- 2009년 충남대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)
- 2009년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 석사과정
- 주관심분야 : 진동, 계측, 신호처리, 기계학습 알고리즘



선 주 영(Ju-Young Sun)

- 2011년 충남대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)
- 2011년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 석사과정
- 주관심분야 : 진동, 계측, 신호처리, 기계학습 알고리즘



곽 정 석(Jeong-Seok Kwack)

- 2004년 충남대학교 선박해양공학과(공학석사)
- 2004~현재 (주)수퍼 센츄리 팀장
- 주관심분야 : 선체 구조 진동



원 문 철(Moon-Cheol Won)

- 1995년 U.C 버클리 기계공학과(공학박사)
- 1995~현재 충남대학교 메카트로닉스 공학과 교수
- 주관심분야 : 메카트로닉스 제어 및 계측 시스템, 기계학습 알고리즘



이 현 엽(Hyun-Yup Lee)

- 1991년 MIT 조선공학(공학박사)
- 1997~현재 충남대학교 선박해양공학과 교수
- 주관심분야 : 진동/충격