

논문 2008-3-8

평판 디스플레이용 유리의 평탄도 및 두께 측정을 위한 레이저 센서의 비교 분석

A comparison and analysis of laser sensors for measuring the
flatness and thickness of flat display glass

김순철*, 한창호**, 오춘석***

Soon-Chul Kim*, Chang-Ho Han**, Choon-Suk Oh***

요 약

본 논문에서는 평판 디스플레이용 유리의 평탄도와 두께를 측정하기 위한 검사시스템을 구성한다. 유리 측정에 필요한 레이저센서와 로봇 암의 성능을 분석 및 해석한다. 3가지 레이저 센서를 사용하여 비교 분석하였고, 로봇암은 볼 스크루 타입을 사용하여 유리 측정 방법을 논하고, 문제점을 찾아내어 해결책을 제시한다. 유리의 평탄도와 두께 측정에 있어 스테이지와 로봇암에 의한 오차를 최소화하기 위해서 기구적 오차를 고려한 계측을 통해 성능을 개선한다.

Abstract

In this paper the glass inspection system for the thickness and flatness is implemented. Laser sensors and robot arms required for glass measurements is tested on the performance assesment. Three kinds of laser sensors are used and analysed, and 3-axis robot arm with the ball-screwed type is implemented. Thus the methods of glass measurement is discussed and the difficulties are solved to propose the solutions. To minimize the errors of glass measurement the system is improved as considered device errors.

Key Word : laser sensor, flatness, thickness, flat panel display, glass measurement

1. 서 론

현재는 디스플레이 산업의 발달로 TFT-LCD, PDP가 대형화 되고 있다. 또한 앞으로의 시장도 계속해서 성장 하고 있는 추세이다. 따라서 앞으로 지속적으로 많은 수요가 예상된다. 그렇지만 지금

우리나라에서는 사용되는 대부분의 기술과 장비들이 외국에 의존하고 있다. 또한, 여기에 들어가는 평판 유리 역시 생산하기 보다는 대다수를 수입에 의존하고 있다. 여기에 들어가는 유리는 0.1~0.7mm의 두께로 대부분의 장비 및 재료가 일본의 수입에 의존하고 있다. 국내의 기술로는 유리의 평탄도와 두께를 정확하고 정밀하게 측정하기 힘들다. 앞으로 연구가 지속되어서 정밀 검사 시스템의 구현되길 바란다. 본 논문에서는 스테이지, 로봇암, 센서,

*준회원, 선문대학교 전자공학과

**준회원, 선문대학교 전자공학과

***정회원, 선문대학교 전자공학과

접수일자 : 2008.3.6, 수정완료일자 : 2008.6.5

알고리즘 중에서 평탄도와 두께를 정확하게 측정하기 위하여 센서를 실험하고 시스템에 적합한 센서를 선택하였다.

II. 시스템 설계

본 논문에서는 평판 디스플레이용 유리의 평탄도와 두께를 측정하기 검사 장비의 구성 요소를 레이저 센서, XYZ스테이지로 구성하였고 자동으로 검사하는 시스템을 구현하였으며 측정 시 일어날 수 있는 상황을 고려하고 이에 대한 해결책을 찾기 위해 노력하였다. 본 연구에서는 앞서 말했듯이 유리의 평탄도와 두께를 정밀하게 측정하기 위한 방법론에 초점을 두었다.

1. 레이저 센서의 선택

사용할 센서를 선택하기 위해서 KAIS사의 테크니컬가이드[6]가 많은 도움이 되었다. 여기에는 센서의 용도에 따른 분류가 매우 잘되어 있어서 원하는 센서의 종류를 손쉽게 찾을 수 있었다. 그리고 본 연구에 사용할 센서를 다음과 같이 간추렸다.

Micro-Epsilon사의 optoILD1700-2와 OPTEX FA사의 CD4-L25 센서와 KEYENCE사의 LK-G30을 사용하여 서로 비교 할 수 있었다.

각 센서의 특징으로는 optoILD1700-2는 측정범위는 $\pm 1\text{mm}$ 이고 작동범위는 25mm이다. 스폿의 구경은 $35\mu\text{m}$ 이고 분해능은 $0.1\mu\text{m}$ 이며 샘플링 속도는 $400\mu\text{s}$ 이다. 통신방법은 RS-422를 USB신호로 전환하여 사용하여 하였다. 또한 0~10V의 아날로그 출력이 가능하다. 또한 앰프를 내장하여 쉽게 사용할 수 있게 하였고 색상의 영향을 극소화 했다. 그림 1은 센서를 스테이지에 장착하여 실험을 하는 장면이다. 센서의 무게는 550g이다.

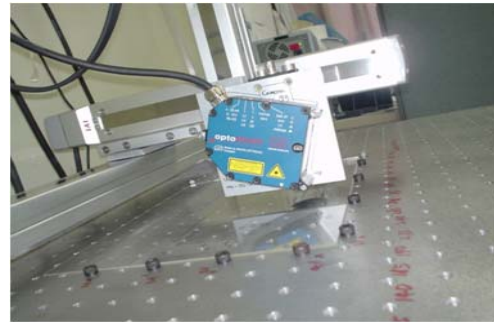


그림 1. optoILD1700-2
Fig 1. optoILD1700-2

다음은 CD4-L25의 센서로 CD4-A/N앰프를 사용했으며 측정범위는 $\pm 1\text{mm}$ 이고 작동범위는 25mm이다. 스폿의 구경은 $35\mu\text{m}$ 이고 분해능은 $0.1\mu\text{m}$ 이며 샘플링 속도는 $100\mu\text{s}$ 이다. 통신방법은 RS-232C로 속도는 38400Bps를 사용하였다. 또한 $\pm 5\text{V}$ 의 아날로그 출력이 가능하다. 그림 2는 센서를 스테이지에 장착한 사진이다. 센서의 무게는 250g이다.



그림 2. CD4-L25
Fig 2. CD4-L25

다음은 KEYENCE사의 LK-G30으로 LK-G3001V 컨트롤러를 사용하였고, 측정범위는 $\pm 4.5\text{mm}$ 이고 작동범위는 23.5mm이다. 스폿의 구경은 $30\mu\text{m}$ 이고 분해능은 $0.05\mu\text{m}$ 이며 샘플링 속도는 $50\mu\text{s}$ 이상이다. 통신방법은 USB2.0을 이용하였다. 엠머스타 렌즈의 사용으로 투명체의 두께측정이 가능하다. 공초점방식이 아님에도 두께측정이 가능한 것은 엠머스타 타입 렌즈의 채용으로 인해서이다. 엠머스타 타

입 렌즈란 모든 각도에서 들어온 빛을 한 점으로 집광하는 것을 가능하게 해준다. 그림 3을 보면 여러 각도에서 들어온 빛을 한곳으로 집광해주는 것을 볼 수 있다. 따라서 굴절각에 의한 오차를 보정 해주면 두께를 측정할 수 있게 해준다.

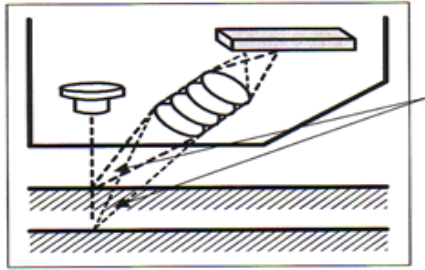


그림 3. 엠머스타 렌즈
Fig 3. High accuracy Ernostar lens

Li-CCD 기술을 사용하여 기존에는 상이 CCD의 가운데, 가장가리에 맺혔는지 알 수 없었지만 이 기술을 사용하며 상의 위치를 검출할 수 있게 되어 정밀한 측정이 가능하게 되었다. 그리고 ABLE기술은 물체에 따라 레이저 파워와 발광시간을 조절하는 기술로 대상물체와 상관없이 측정이 가능하게 해준다. 레이저의 파워는 최대 8배, 발광시간은 최대 1662배 조정이 가능하다. 또한 컨트롤러를 통해 $\pm 10V$ 로 아날로그 출력이 가능하다. 그림 3은 센서를 설치한 사진이다. 센서의 무게는 280g이다.



그림 4 LK-G30
Fig 4. LK-G30

본 논문에서는 위의 3가지 센서를 모두 측정하여 실험하였다. 스테이지 상의 문제점으로 인해 두께측정이 가능한 모델(KEYENCE사의 LK-G30)을 사용하기로 하였다. 이 내용에 대한 실험결과와 그에 따른 결론은 다음 장에서 다루기로 하겠다.

2. 스테이지 설계

본 연구에서 사용할 스테이지를 설계하기 위하여 몇 가지 자료를 참조했다. 그중에서 센서를 사용하여 두께를 측정하는 방법에 관하여 살펴보기로 하겠다. 일단 유리를 측정하기 때문에 물을 이용한 측정방법은 제외하기로 한다. 다음 두 가지 측정방법은 대상 물체의 두께를 측정하는 방법을 비교하였다.

첫 번째로 그림 5는 샌드위치 측정 방법을 나타낸다. 두 개의 센서 사이로 물체를 측정하는 방법이다. 위와 아래에서 측정하여 두께를 산출해 내기 때문에 진동에 의한 오차를 줄일 수 있다. 그리고 센서가 고정되어 있기 때문에 센서의 이동에 의한 진동 오차를 줄일 수 있다. 하지만 이 방법을 사용하기 위해서는 정밀한 스테이지와 동기식 측정방법이 필요하다. 그래야 센서가 서로 번갈아가면서 측정해야 상호 간섭을 줄일 수 있기 때문이다. 또한 센서가 같은 위치를 측정해야 하는데 번갈아가며 측정하기 때문에 같은 위치의 데이터를 얻기 위해서는 정지한 상태에서 측정해야 하는 단점이 있다.

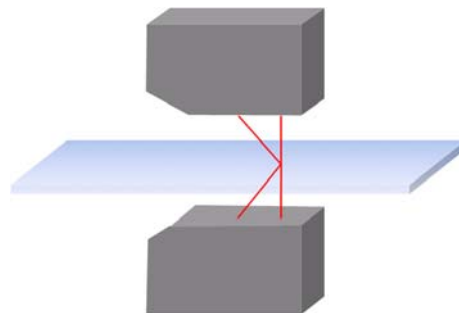


그림 5. 샌드위치 측정 방법
Fig 5. Sandwiching measurement method

다음 측정 방법은 스테이지 위에 대상 물체를 놓고 공초점과 같은 두께측정이 가능한 센서로 측정하는 방법이다. 하나의 센서를 사용하기 때문에 동기화 문제와 센서의 간섭 문제가 발생 하지 않는다. 하지만 센서의 가격이 비싸다는 단점이 있다. 그림 6은 하나의 센서로 측정하는 방법을 나타낸 것이다.

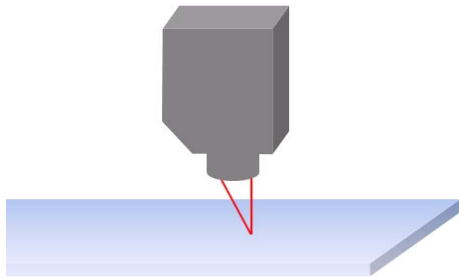


그림 6. 상위 측정 방법
Fig 6. Top surface measurement method

위의 두 가지 측정 방법 중에서 본 연구에서는 두 번째 방법을 선택하여 스테이지를 구성하였다.

3. 스테이지 구현

본 연구에서는 스테이지의 구현을 XYZ축을 사용하는 방법으로 구현하였으며 로봇 암으로는 IAIKorea사의 볼 스크루 타입을 사용 했다. X축은 500mm, Y축은 200mm의 스트로크를 가지며 Z축은 100mm의 스트로크를 가진다. 반복 정밀도는 각 축 당 0.02mm의 오차를 가진다. 아래의 표 1에 축에 대하여 간단히 요약하였고 그림 7은 구성된 스테이지를 보여준다. 그리고 에어 컴프레서를 이용하여 스테이지의 오차를 줄였다.

표 1. 로봇 암의 스펙
Table 1. Specification of robot arm

Axis	Repeatability (mm)	Max speed (mm/s)	Min speed (mm/s)	Lead (mm)	Ball screw (φmm)
X	±0.02	380	1	6	10
Y		400		6	10
Z		165		2.5	8

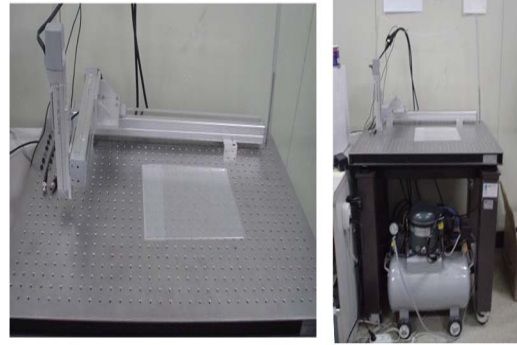


그림 7. 검사 시스템
Fig 7. Inspection system

III. 실험 및 문제점 해결

실험은 2개의 물체를 가지고 측정하였다. 그 중에 첫 번째는 BLU 패널로 다른 하나는 0.7T의 두께를 가지는 유리로 측정하였다. 일단 스테이지의 정밀도를 알아보기 위해 정반을 측정하였다. 센서로는 optoILD700-2와 KL2-L2가 사용 되었다. 그림 8은 측정하는 방향을 나타내었다.

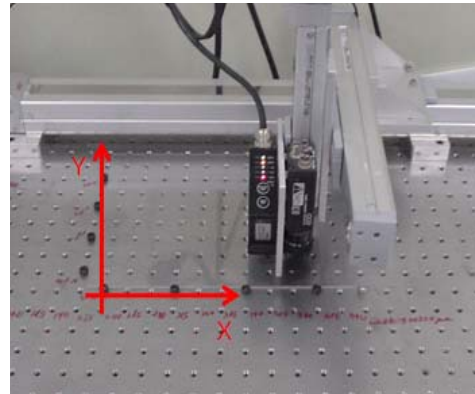


그림 8. 측정 방향
Fig 8. Direction of measurement

표 2. 측정된 데이터

Table2. Acquired data

y/x (0.01mm)	11500	14000	16500	19000	21500	24000	26500	29000	31500	34000	36500	39000	41500	44000	46500	49000	50030
3000	9859	9853	9850	9848	9852	9851	9854	9856	9858	9864	9863	9871	9877	9875	9872	9867	9867
5500	9869	9864	9863	9860	9861	9861	9863	9866	9867	9871	9876	9880	9880	9880	9879	9874	9876
8000	9877	9873	9872	9869	9870	9870	9872	9874	9875	9877	9882	9885	9885	9885	9884	9881	9883
10500	9885	9881	9881	9878	9877	9880	9880	9880	9881	9883	9886	9889	9891	9891	9890	9886	9888
13000	9893	9889	9889	9887	9887	9886	9887	9889	9889	9891	9893	9895	9896	9896	9896	9893	9896
15500	9902	9900	9898	9896	9896	9896	9897	9895	9896	9898	9900	9900	9902	9904	9902	9903	9904
18000	9909	9907	9905	9905	9904	9905	9903	9905	9905	9904	9907	9907	9909	9907	9910	9910	9909
19900	9918	9915	9915	9914	9914	9912	9912	9911	9911	9912	9915	9915	9915	9915	9917	9916	9916

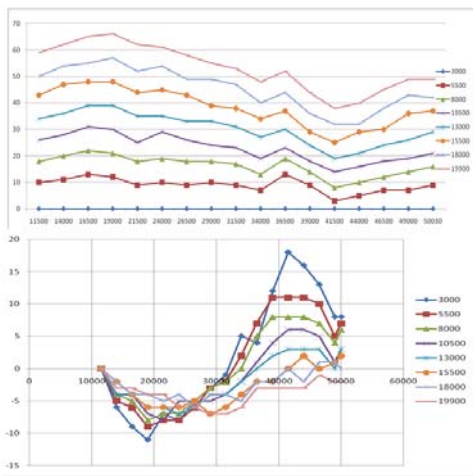


그림 9. X-Y 그래프
Fig 9. X-Y Graphs

표2는 측정 데이터를 나타낸다. 데이터의 측정은 각 점을 측정한 것이다. 여러 번에 걸쳐 획득한 데이터를 평균을 내서 각 X축의 시작을 원점으로 정해서 그런 그래프(그림 9의 상)와 각 Y축의 시작을 원점으로 정해서 그런 그래프(그림 9의 하)이다.

측정한 데이터를 토대로 중간 결론을 내리면 스테이지 자체의 평탄도를 신뢰할 수 없는 수치가 나왔다(X축은 약0.5mm Y축은 약 0.6mm의 오차 발생). 특히 X축을 이동하면서 얻은 데이터는 일정한 오차가 아닌 곡선과 같은 오류를 나타내었다. 하지만 이것을 개선하기 위해서는 정반의 문제인지 로봇 암의 문제인지를 확인 할 필요가 있었다. 그래서 XY축을 변경한 다음에 데이터를 획득했다. 그 결과 그림 10과 같은 결과를 얻었다.

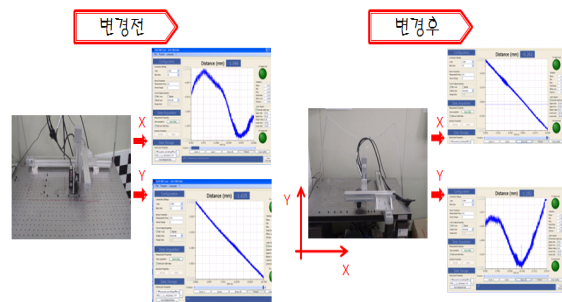


그림 10. 획득한 결과
Fig 10. Results of acquired

위의 결론으로부터 정반보다는 로봇 암의 문제로 인해 오차가 발생한다는 것을 알 수 있었다. 스테이지 자체에 오차가 있더라도 일정하고 반복적으로 나온다면 정반의 오차를 레퍼런스로 하여 측정된 결과 값과 연산하여 두께를 측정하는 방법을 실험하였다. 실제로 측정된 정반의 레퍼런스 측정값을 R, 평탄도를 측정된 값이 W라면,

$$T(i, j) = W(i, j) - R(i, j) \quad (1)$$

위 식으로 측정하고자 하는 대상의 실제 두께 T의 값을 산출해 낼 수 있다. 따라서 그림 11의 대상 물체를 측정된 다음에 레퍼런스를 측정하고 위의 식(1)을 실제로 측정된 값에 대입해 보았다. 결과가 그림 12와 같이 나왔다. 실제두께(1.25)와 측정된 두께의 오차는 $1.25 \pm 0.02\text{mm}$ 로 계산되었다.



그림 11. 대상 물체
Fig 11. Target object



그림 14. 휘어져 있는 경우
Fig 14. The glass warps

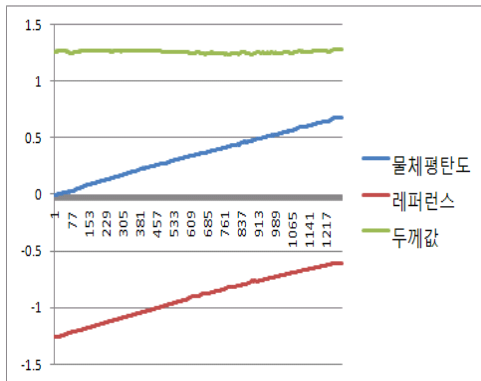


그림 12. 두께와 측정된 값
Fig 12. Thickness and acquired data

위의 결론으로 봤을 때는 실험에 쓰이는 센서가 평탄도만을 측정한다면 문제가 없을 것으로 보였다. 하지만 여기에 숨어 있는 문제점이 발견되었다.

정반에 놓고 측정 하였을 경우 그림 13과 같이 2가지의 문제를 고려하여야 했다. 첫 번째는 유리의 표면은 일정하지만 안쪽이 비었을 경우(1)와 두께는 일정하지만 유리가 뚫을 경우(2)를 고려하여야 하였고 그림 14와 같이 물체를 공중에 띄워서 측정 하였을 경우는 중력에 의한 휨의 발생을 고려하여야 하였다.

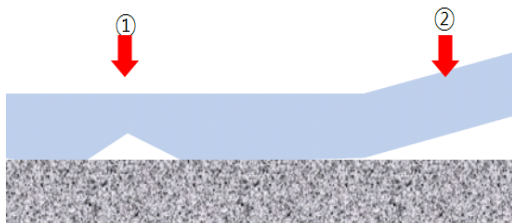


그림 13. 측정시 문제점
Fig 13. Problems when measurement

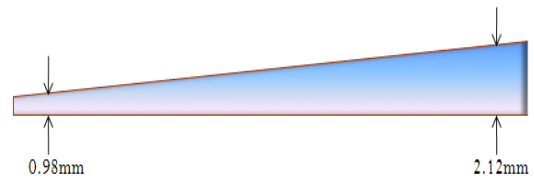


그림 15. 대상 물체
Fig 15. Target object

두 가지 문제를 모두 고려하였을 경우 두께 측정과 평탄도 측정이 가능한 제품을 사용하는 것이 연구에 적합하다고 판단하였다. 여기서 앞서 말한 KAIS사의 optoILD1700-2 와 KL2-L2를 사용하여 측정하였는데 두 센서의 차이점은 optoILD1700-2의 경우는 투명체 유리의 경우만 측정가능하고 다른 투명체인 플라스틱의 경우에는 측정이 불가능하였다. 따라서 실험의 확장성을 고려하였을 경우 KL2-L2를 사용하는 것이 좋다는 가정 하에 실험을 하였지만 위와 같은 문제점으로 인해 적합한 센서를 고려해 봐야했다.

다음으로 고려한 것이 LK-G30이었다. 측정 대상 물체는 그림 15에 나타내었고 측정 결과는 그림 16에 나타내었다. 여기서 레퍼런스에 의해 실제의 평탄도를 계산하지는 않은 데이터를 가지고 연구하였다.

그림 16에서 마지막에 데이터가 불안정하게 나오는데 이것은 대상 물체와 정반의 거리가 미세하게 떨어져서 (그림 17참조) 정확하게 구분하지 못해 생기는 오차이다. 이 문제 해결을 위해서 다른 측정 방법을 고려했다.

물체를 띄워서 측정한 결과의 표면은 상당히 많

이 휘어져 있음을 확인 할 수 있다. 따라서 평탄도에 따른 두께의 차이를 알아보려고 정반에 놓인 물체는 정반에 고정된다는 가정 하에 실험을 하였고 다른 데이터는 대상 물체를 정반에서 띄운 상태에서 얻은 데이터를 비교 대상으로 하였다. 실험의 이유는 만약에 평탄도에 따라서 두께가 바뀐다면 평탄도가 불규칙할 때 얻은 데이터는 의미를 잃게 되기 때문이다. 측정된 데이터는 그림 18에 나타났다.

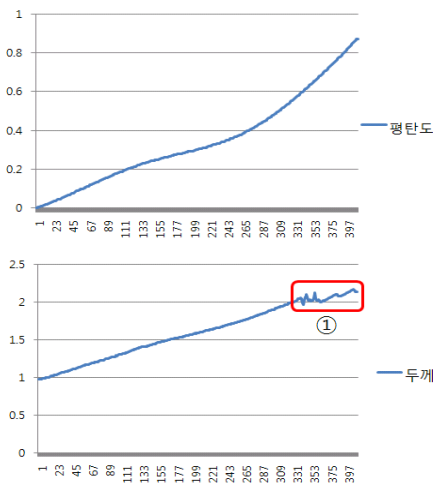


그림 16. 획득한 데이터(LK-G30)
Fig 16. Acquired data(LK-G30)

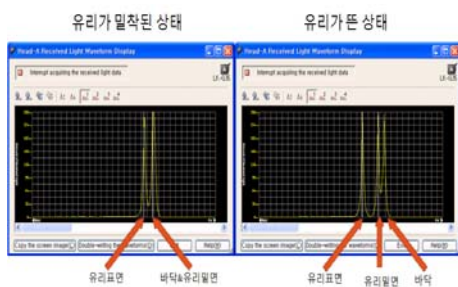


그림 17. 문제점
Fig 17. Point of problem

그림 18을 요약하면 표면의 차이는 최대 0.230mm, 평균 0.47mm나지만 두께의 경우 최대

차이는 0.026mm, 평균 차이는 0.004mm로 측정되었다. 따라서 평탄도가 다르더라도 두께의 차이에 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

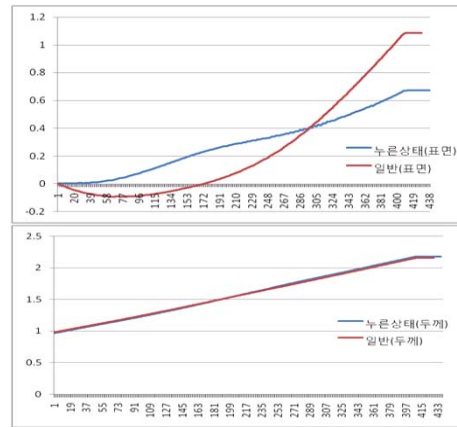


그림 18. 두께 측정 결과
Fig 18. Measured result of thickness

다음으로 측정된 것은 두께가 0.7mm인 유리를 대상으로 측정을 하였다. 그 결과는 그림 19에 나타났다. 평탄도는 스테이지의 오차인 0.6mm내에 들었다는 것을 알 수 있다. 두께는 평균 0.692mm로 0.008mm정도의 오차가 있는 것을 확인 할 수 있으나 로봇 암의 오차가 각 0.020mm인 것을 고려할 시 상당히 좋은 결과임을 알 수 있다.

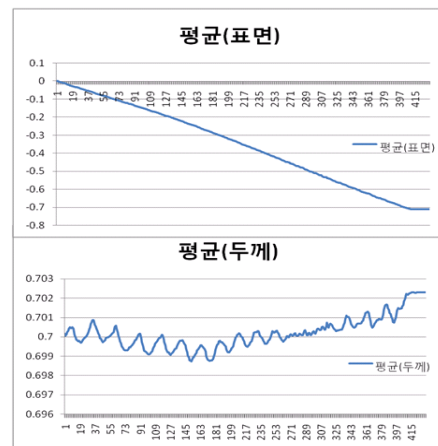


그림 19. 측정 결과
Fig 19. Measured result

다음은 물체를 띄워서 표면과 두께를 측정한 결과이다. 그래프는 그림 20에 나타내었다.

그림 20의 두께의 평균은 0.700193mm이고 오차는 $0.7 \pm 0.002\text{mm}$ 이었다. 기존 센서에 비하여 상당히 많은 오차가 줄어들었다는 것을 알 수 있다.

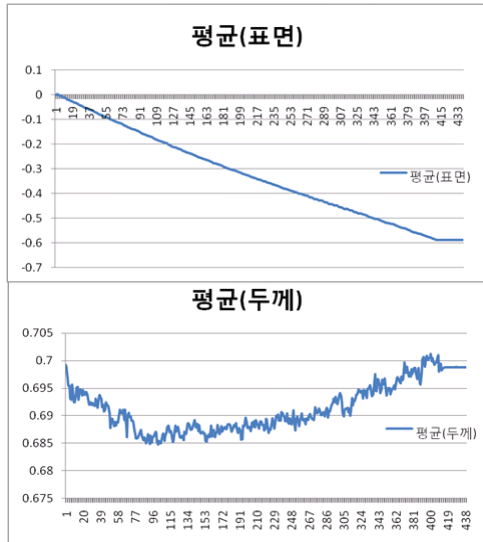


그림 20. 두께 측정 결과
Fig 20. Measured result of thickness

IV. 결 론

본 논문에서는 검사를 하기 위한 센서 종류의 선택 및 적합한 센서의 선택, 그리고 스테이지의 구성에 대하여 연구를 하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

스테이지를 IAIKorea사의 로봇 암을 이용하여 스테이지를 구성하였으며 시리얼 통신을 이용해 제어할 수 있는 프로그램을 MFC를 이용하여 만들었다.

여러 가지 센서를 사용하여 현 상황에 적합한 센서를 직접 실험을 통해 알아내었다. 그리고 유리의 평탄도를 측정하여 두께를 산출하기는 어렵다는 것과 두께가 같더라도 평탄도가 다를 수 있는 것을

발견하였다.

그리고 정반의 평탄도 문제를 해결하기 위한 실험을 하였으며 그 결과 로봇 암의 문제를 증명하였다. 정반의 평탄도가 일정하지 않더라도 반복 측정 시 같은 오차를 가지고 있다는 것을 이용하여 대상 물체를 측정하여 정반의 오차와 값을 산출하는 식 1을 도출하였다. 또한 영상 획득 보드를 통해 실시간으로 영상의 입력을 받을 수 있는 시스템을 구성하였다.

향후 과제로는 스테이지와 센서의 동기화를 정확하게 하는 방법의 고안과 스테이지의 반복 정밀도를 더 높일 필요가 있다. 또한 앞으로 획득한 영상을 처리하여 스크래치와 미세얼룩에 대한 검사를 수행할 수 있는 시스템이 개발되어야 한다. 그리고 또한 센서의 개발이 절실히 필요하다.

참고문헌

- [1] 권진혁, "비접촉식 광학적 방법을 이용한 간격, 두께 및 진동 측정 장치의 개발", 영남대학교 석사 논문, 2002.
- [2] 변중환, 유영기, 오춘석, "백라이트 유리 성형물의 형상측정에 관한 연구", 한국산학기술학회 춘계 학술발표논문집, 제5권, 제1호, pp. 131-138, 2004.
- [3] 윤상필, "평판투명물체의 형상 및 두께측정을 위한 비접촉식 광학센서의 개발", 선문대학교 석사 논문, 2002.
- [4] 조상희, "평판디스플레이용 백라이트 유니트의 결합검출을 위한 비전시스템 개발", 선문대학교 석사 논문, 2006.
- [5] 조찬형, "LCD 광학 검사장치 개발에 관한 연구", 금오공과대학교 석사 논문, 2007.
- [5] LK-G30 "<http://www.keyence.co.kr>"
- [6] KL2_L2, optoILD-1200-2, 화이버 센서, 테크니컬가이드 "<http://www.kais21.co.kr>"

본 논문은 중소기업청의 2007년 산학협력실 지원 사업을 통해 개발된 결과물입니다.

저 자 소 개



김순철(정회원)

- 2008년 선문대 전자정보통신공학부 졸업.
- 2008년 동 대학원 석사 재학 중.
<주관심분야> 영상처리, 모션캡처, 자동검사



한창호(정회원)

- 1993년 청주대 전자공학과 졸업.
- 1995년 동 대학원 석사.
- 2005년~현재 선문대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학 중.
<주관심분야> 영상처리, 모션캡처, 자동검사



오춘석(정회원)

- 1980년 서강대학교 전자공학과 (학사).
- 1986년 Marquette University 컴퓨터공과 (석사).
- 1992년 University of Arizona 컴퓨터공과(박사).
- 1980년~1993년 전자통신연구원(ETRI) 선임연구원.
- 2001년 미국 Optical Sciences Center Visiting Scholar.
- 1993년~현재 선문대학교 전자정보통신공학부 교수.
<주관심분야> 화상처리, 자동검사, 머신비전, 광학시스템설계