

https://doi.org/10.7735/ksmte.2018.27.4.376

J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. ISSN 2508-5107(Online)

원전용 지지격자판의 비접촉 자동 계수 및 챔퍼검사에 관한 연구

정해균^a, 홍준희^{b*}, 정황영^b

Study on Non-contact Automatic Counting and Chamfer Inspection of Spacer Grid straps

HaeGyoon Jung^a, Junhee Hong^{b*}, Hwangyoung Jeong^b

Department of Safety & Emergency Management, KHNP Central Research Institute,
 70, Yuseong-daero 1312beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon 34057, Korea
 Department of Mechanical Engineering, Chungnam National University,
 99, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34134, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	18	May	2018
Revised	10	July	2018
Accepted	27	July	2018

Keywords: Spacer Grid Strap

Counts the number of straps

Chamfer

Laser Displacement Sensor

ABSTRACT

In this work, we investigated spacer grid straps using a strap inspection device with a laser displacement sensor. Non-contact measurement using laser displacement sensors has the advantages of high speed and automated measurement. The strap inspection device consisted of a jig, laser displacement sensor, and signal processing circuit. The variation in the output value of the strap inspection device was measured. The mid inner-strap of a spacer grid was used as the specimen. Prior to the experiment, we predicted an approximate expression for the experimental output values, and then performed the experiments to verify our predictions. In this study, we have demonstrated the possibility of counting the number of straps, and of identifying no-chamfered edges, using a strap inspection device with a laser displacement sensor.

1. 서 론

우리나라의 전력생산량 중 1/3을 차지하고 있는 원자력 발전에 사용되는 원자력연료집합체의 구조부품 중에서 지지격자(Spacer Grid)는 기계적 및 열수력 측면에서 매우 중요한 기능을 가지고 있다. 지지격자는 원전연료집합체에서 연료봉을 수평 및 수직방향으로 지지하며 일정한 간격을 유지시키고 집합체 취급 시 원자로 내에서 연료봉의 축 방향 열팽창 및 반경방향의 조사 성장을 수용한다. 또한 냉각수의 흐름 상태를 일정하게 유지시켜 냉각제 흐름으로 인한 핵연료봉의 진동 손상 및 핵연료봉의 을 방지하는 역할을 한다".

지지격자는 다양한 형상을 가진 많은 지지격자판(Strap)의 조합으로 이루어지며, 한 다발의 원전연료집합체에는 최대 528장의 지지격자판이 소요된다. 현재 우리나라에서 가동 중인 모든 원자력발전소와 아랍에미리트(UAE) 원자력발전소에 필요한 원자력연료의생산을 위한 한 해 소요되는 지지격자판의 수량은 100만장 이상이된다²¹.

지지격자판은 생산에서 조립될 때까지 여러 공정을 거치게 되는데 이 과정에서 계수작업은 필수사항이다. 계수작업에 있어서 가장 중요한 요건은 신뢰성으로 지지격자판의 정확한 계수가 중요함에도 불구하고 현재 지지격자판의 계수작업은 수작업에 전적으로 의존하고 있는 실정이다. 수작업에 의한 계수방식은 인적 에러에 의

Fax: +82-42-822-5642

E-mail address: hongjh@cnu.ac.kr (Junhee Hong).

^{*} Corresponding author. Tel.: +82-42-821-5642

해 빈번히 발생하는 계수량 차이로 상호 신뢰성이 저하되고 계수시 간이 많이 소요된다. 또한 계수과정중 손 접촉에 의해 지지격자판 표면이 오염되고 국부적인 변형이 발생하는 등 제품의 품질을 저하 시키기는 요인이 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 지지격자판을 적충시켜 두께 측정 및 무게측정에 의한 계수방법을 검토하였다. 그러나 각각의 지지격자판은 두께 편차가 있으며, 이에 따라 무게의 차이가 발생한다. 또한 적충했을 때 지지격자판 사이에 불균일하게 존재하는 틈새 때문에 두께의 차이가 발생하여, 계수량의 증가에 따라 정확도가 떨어져 신뢰성이 없었다.

또한, 냉각수의 흐름에 직각으로 조립되는 지지격자판의 경우는 챔퍼를 성형해 주어 냉각수의 흐름을 좋게 해준다. 지지격자판의 챔퍼의 누락은 프레스 장비의 금형의 마모에 의하여 발생할 수 있다. 이러한 챔퍼의 검사는 대량생산하기 전 일정량의 초반 생산량을 절단 육안검시를 한다. 그 후 다른 검사 없이 조립할 때 육안으로 챔퍼의 유무를 확인하게 된다. 이는 지지격자의 조립에 시간이소요되며, 불량재고로 생산성이 저하되는 요인이 된다.

이에 본 연구에서는 기존 수작업에 의한 접촉식 계수방식이 가지 고 있는 여러 가지 문제점을 해결하고 챔퍼의 유무를 검사하기 위 하여 비접촉식 측정방식 중에 레이저변위센서를 활용하는 방안을 검토하였다. 비접촉식 측정방식은 측정 시 마찰이 발생하지 않고 전기신호로 결과가 출력되기 때문에 고속측정 및 측정 자동화에 용이한 장점을 지니고 있으며 주로 전기장, 자기장, 빛 등을 매개체 로 이용하여 측정대상과 측정 프로브 사이의 공극(air gap) 변화에 따른 매개치의 물성치 변화를 전기신호로 출력하는 기본원리를 지 니고 있다[3,4]. 광을 이용한 변위측정 방식은 인터페로미터 방식과 광학삼각법(optical triangulation) 그리고 광강도 변조(intensity modulation) 방식으로 구분할 수 있으며, 광강도 변조방식의 광섬 유 센서를 이용한 지폐나 ID카드 계수장치에 대한 연구^{15,6]}가 있어 비접촉으로 제품을 계수를 하는데 좋은 대안이 될 수 있으나 형상 이 다양하고 구조가 복잡한 지지격자판의 계수에는 센서의 공극 을 1 mm 이내로 유지하면서 측정하기가 어려워 실용화에 적합하 지 않았다. 따라서 지지격자판 계수에는 10 mm 이상의 공극을 유지하면서 측정할 수 있는 새로운 비접촉식 계수방식에 대한 연 구가 필요하였다. 따라서, 본 연구에서는 지지격자판의 계수 및 챔퍼 유무의 검사를 위하여 거리측정 장치 및 형상측정에 많이 이용되는 광학삼각법 방식의 레이저 변위센서를 활용하여 연구를 진행하였다.

본 연구는 기존의 사람의 손과 육안에 의한 계수 및 챔퍼 유무의 검사를 대안하여 레이저변위센서를 이용한 검사장치를 제안하고, 그 유효성을 증명함으로써 지지격자판의 품질손상 없이 신속하고 정확한 계수와 챔퍼 유무의 인식을 실현하는데 목적이 있다. 계수 와 챔퍼 인식 알고리즘을 바탕으로 프로그램을 설계하여 측정시스 템을 제작하였으며, 성능실험 및 유효성 실험을 진행하였다.

2. 측정시스템 구성

2.1 측정방법 및 기구부 설계

본 연구에 사용된 센서는 주사 빔을 이용한 방식의 레이저 변위센서이다. 레이저 변위센서는 광학 삼각법에^[7] 의해 대상물체에서 반사된 레이저 광이 위치검출소자 위에 광점의 영상을 맺게하여 그 위치에 따라 거리를 측정하며, 분해능과 직선성이 좋은 반사형을 사용하였다. 광원으로는 적색 반도체 레이저의 단파장 (λ = 650 rmm)을 낼 수 있는 1 rmw 출력의 다이오드(JIS CLASS 2)를 사용하였으며, 정밀도는 2 μm이며 직선성은 +/-0.2% FS。이고 지름이 50 μm인 OMRON사의 ZX-LD40^[8]을 사용하였다. 투광부의 집광렌즈(focusing lens)는 Φ5, 수광부의 영상 관조(condensing lens)는 Φ8를 사용하였으며 집광 광축과 영상 광축간의 각도는 23°를 이루는 구조이다. 측정 처리를 하고 측정결과를 출력하는 부분인 컨트롤러는 측정주기가 150 μs인 OMRON사의 ZX-LDA11을 사용하여 출력하는 신호를 선형화(Linearlizer) 회로에 수용하여, 거리와 출력 전압이 정비례하여 거리 데이터의 정밀도를 높이도록 하였다.

Fig. 1은 본 논문에서 검사할 지지격자의 크기 및 개략적인 형상을 나타내었다. Fig. 2는 계수 및 챔퍼 인식장치의 측정기구부의 기본 구조이며, 레이저 변위센서와 레이저 변위센서 이송장치 및

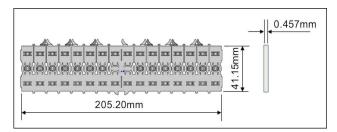


Fig. 1 Strap Size Dimensions

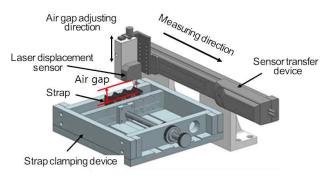


Fig. 2 Experimental Device Assembly Modeling

지지격자 클램핑 장치를 구성된다. 일반적으로 레이저를 이용한 변위 측정은 센서를 고정시킨 상태에서 측정물을 이동시키는 방식을 사용하지만, 본 연구에서는 이러한 센서 고정방식을 탈피하여 지지격자판을 고정시키고 센서를 이동시키는 스캐닝하는 방식을 적용하였다. 부피가 크고 무게가 있는 지지격자판 고정장치를 이송하는 것보다 소형이고 경량인 센서를 이송시키는 방식은 이송속도를 쉽게 조정할 수 있어 정확한 계수에 있어서 안정적이고 효율적이다. 또한 센서와 지지격자판 반사면까지의 적절한 공극을 유지할 수 있도록 센서를 Z축 방향(상, 하)으로 정밀하게 조절할 수 있는 미동나사(1 mm/회전)를 장착하여 레이저 변위센서 이송장치를 설계하였다.

측정시 지지격자판을 고정하기 위해 지지격자판 클램핑 장치 (Strap clanping device) 는 가공성이 좋고 가벼우며 지지격자판 의 적재 상태를 쉽게 확인할 수 있도록 투명 아크릴판으로 하였다. 계수 단위인 지지격자판 100장을 적층했을 때 총 두께가 100 mm 임을 감안하여 최대 150장까지 적재할 수 있도록 하였고, 지지격 자판의 적재 수량에 관계없이 일정한 고정력을 유지할 수 있게 가이드 홈을 설계하여 계수 측정 시 안정되게 고정될 수 있도록 하였다.

2.2 계수와 챔퍼 인식 알고리즘 설계 및 구성 2.2.1 계수 인식 알고리즘

Fig. 3은 입력 받은 신호를 분석하여 계수하는 알고리즘 그래프이다. 계수 인식 알고리즘은 샘플링에 의해 입력되는 각 신호를 바탕으로 설정된 기준 값을 기준하여 신호가 기준 값을 넘고 최대값을 지나서 다시 기준 값 아래로 떨어 질 때 1개씩 카운트 되는 방식이다. 식(1)과 (2)를 만족하면 1개씩 카운트되는 알고리즘을 사용하였다.

$$Ds = Di > Estd$$
 (1)

$$De = Di < Estd$$
 (2)

여기서, Di: 데이터 값, Estd = -0.3: Y축, 기준값 = 실험상수, Ds: 데이터 시작 점, De: 데이터 끝 점 이다.

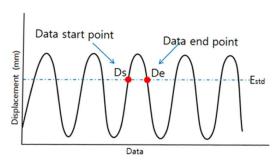


Fig. 3 Algorithm of Non-Contact Strap Counting

2.2.2 챔퍼 인식 알고리즘

챔퍼 인식 알고리즘은 Fig. 4와 같이 샘플링에 의해 입력되는 각 신호를 바탕으로 Y축 기준 값을 기준으로 하여 신호가 기준 값을 넘는 지점을 시작으로 최대 값을 지나 다시 기준 값으로 떨어지는 지점까지의 영역에 포함된 데이터 수의 차이를 비교 분석하여, 식 (3)과 같이 지지격자판의 끝단부 챔퍼 갯수(Cn)를 구하여 그유무를 확인하는 방식이다.

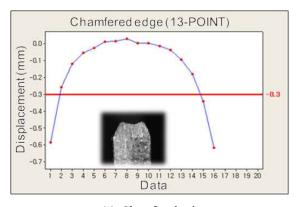
$$Davg = \sum_{i=0}^{Ai} (Dei - Dsi)/Ai$$

$$Cn = Davg + G < De - Ds$$
(3)

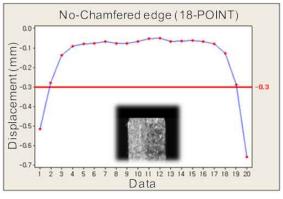
여기서, Davg: 데이터 개수의 평균, Ai:파형 개수, Dei: 데이터 끝 점개수, Dsi: 데이터 시작점 개수, G=2 구분상수 이다.

2.3 프로그램 설계 및 구성

지지격자판이 소량일 때 출력 파형을 세어 계수를 할 수 있지만, 지지격자판 수량이 50장, 100장 이상 일 때는 파형을 세어 계수하 기는 사실상 불가능하다. 따라서 출력 파형을 분석하여 실시간으로 계수 할 수 있는 프로그램이 요구되었다.



(a) Chamfered edge



(b) No-Chamfered edge

Fig. 4 Comparison of Signal Properties for Chamfered edge and No-Chamfered edge

계수 프로그램에서 처리할 신호의 처리과정은 다음과 같다. 레이 저 변위센서로 입사된 광은 엠프 유니트를 통하여 전기적 신호로 변환하여 계수 프로그램에 입력된다. 프로그램에서는 입력된 신호 를 분석하여 실시간으로 계수를 행하는 동시에 각 파형의 일정한 영역에 포함된 입력된 신호의 수를 비교하여 일정수량을 초과한 파형은 챔퍼가 누락된 것으로 모니터에 디스플레이 되도록 프로그 래밍을 하였다. Fig. 5는 앞의 알고리즘을 적용하고, C++이용하여 개발한 계수 및 챔퍼 인식 프로그램을 보여주고 있으며 프로그램은 크게 세 부분이다. Fig. 5의 Part1은 입력신호의 파형 표시부이며, 파형의 형상을 나타낼 뿐만 아니라 검색영역의 설정을 자유롭게 조정할 수 있고 작업자의 편의를 위하여 챔퍼 누락부분이 녹색의 색상으로 표시되도록 하였다. Part2는 입력신호의 데이터 표시부 이며 각 파형에 포함된 데이터 수와 최소값, 최대 값, 평균, 표준편 차, 면적 등의 파형 분석에 필요한 데이터를 나타내도록 하였다. Part3은 계수 및 챔퍼 인식 결과 출력부이며 계수작업의 실행 및 검색조건을 선택할 수 있도록 하였으며 지지격자판의 계수량과 끝 단부 챔퍼 누락부의 수량이 표시되도록 하였다.

2.4 시스템 설계 및 구성

레이저 변위센서와 이송장치, 지지격자판 클램핑 장치 등을 조합하여 지지격자판 계수 시스템을 구성하였고 Fig. 6에 나타내었다. 제작된 클램핑 장치에 지지격자판을 적재하고, 레이저 변위센서를 장착한 이송장치를 일정한 속도로 구동시켜 지지격자판 끝단부 단면의 표면을 스캐닝 하는 방식이다.

레이저 변위센서에 전원을 공급하면 센서의 투광부에서 지지격 자판 표면으로 빛이 조사되고 표면에서 반사된 빛은 수광부로 입사 되어 PSD를 통하여 전기적인 값으로 변환되어 파형으로 출력된다. 이 출력된 파형을 분석하여 지지격자판의 수량을 계수하고 끝단부

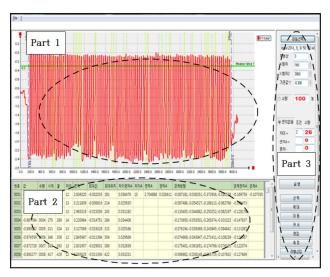


Fig. 5 Developed Program for Non-Contact Strap Counting

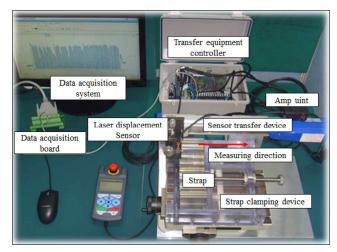


Fig. 6 Counting System for Strap

의 챔퍼 누락여부를 검출하여 그 결과가 실시간으로 모니터에 디스 플레이 되도록 시스템을 구성하였다.

3. 실험 방법 및 조건 설정

3.1 실험 방법

Fig. 7은 변위센서와 지지격자판의 일정 공극을 유지한 상태에서 지지격자판과 지지격자판 사이의 굴곡에 따라 변하는 반사광의 변위차를 전기신호로 간략히 나타내었다. 광원인 레이저 다이오드를 통해 발생된 빛이 집광 렌즈를 통해 집광되어 지지격자판측정면에 조사되고 그 반사 광은 투광부의 집광광축과 23°의 각도에 위치한 영상광축의 영상 렌즈를 통해 위치검출소자에 집광된다.

이때 센서와 지지격자판 측정면의 공극의 크기가 변하면 수광부

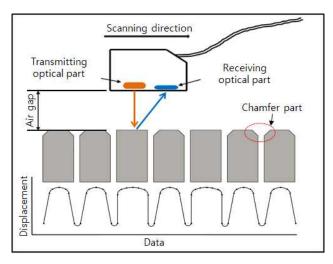


Fig. 7 The model of strap counting by using laser displacement sensor

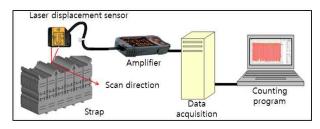


Fig. 8 Schematic of strap counting system by using laser displacement sensor

의 영상 렌즈를 통해 위치검출소자로 입사되는 반사광의 결상위치가 달라져 2개의 위치검출소자는 출력균형이 변하며 광신호가 전기신호로 변환되며, 변환된 전기신호는 신호처리 회로를 통해 엠프유니트에서 적당한 전압신호로 출력된다. 즉, 레이저 변위센서의 변위 응답 특성은 변위와 수광부에서 검출된 신호의 결상 위치로고찰할 수 있다.

Fig. 8는 본 연구에 적용한 광학식 스캐닝 방법의 개략도를 보여주고 있다. 레이저 변위센서와 지지격자판 사이의 최적의 조건을 찾기 위하여, X,Y 스테이지에 장착된 클램핑 지그에 지지격자판 100장을 고정시킨 후 이송장치에 장착된 레이저 변위센서를 이동시키며 실험을 진행하였다.

3.2 계수 특성

3.2.1 스캔속도에 따른 계수 특성

기초 실험에서 스캐닝 방향은 좌.우향 모두가 가능함을 확인하였다. 기초 실험의 결과를 토대로 스캐닝 방향은 동일한 실험조건을 주기 위해 우향으로, 공극은 실험이 가능한 35 mm로, 샘플레이트 (Sample rate)는 기초 실험을 통해 지지격자판 계수가 가능한 최소데이터 50의 조건을 주었다. 스캔 속도는 실제 계수작업에 필요한 최소한의 시간을 감안하여 1.5 mm/sec를 기준으로 일정한 간격으로 스캔 속도를 올려가며 5.0 mm/sec까지 실험하였다.

스캔속도에 따른 실험에서는 Table 1에서의 결과에서 보듯이 1.5 mm/sec 부터 5.0 mm/sec까지 모든 속도에서 계수가 가능함을 알 수 있었다. 또한 계수의 자동화를 실현하는데 이송장치의 속도를 5.0 mm/sec 이상으로 높일 수 있는 장치를 적용하면 계수시 간을 대폭 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

3.2.2 공극에 따른 계수 특성

스캔속도에 따른 계수 특성 실험과 동일한 조건으로 스캔방향은 우향으로, 데이터 샘플레이트는 50의 조건을 주었다. 스캔 속도는 계수작업의 효율을 감안하여 최대 이송속도 5.0 mm/sec 로 실험하였다. 공극의 크기는 25 mm부터 55 mm까지 5 mm 간격으로 7단계의 실험을 하였으며, 센서의 공극에 따라 광학식 계수가 가능한 가를 Table 2에 정리하였다.

Table 1 Experimental result for Scanning speed condition of laser displacement sensor

Air gap (mm)	Speed (mm/sec)	Signal wave	Count possibility
35	1.5		Y
	2.5		Y
	4.0		Y
	5.0		Y

Table 2 Experimental result for air gap condition of laser displacement sensor

Air gap (mm)	Signal wave	Possibility
25	In manufalling different from the partition of the same of the sam	N
30	Anthalian and taken landle dispersence and advanta	N
35	իստորդուսունդիսումիրոսուրինաներինարին», Պետորդուրինանիրությունը առախիրաներություն	Y
40		Y
45		Y
50	արուսանիակնին գործին արևին ին հերակին արևին հետանին հե	N
55	Lander All March - Malland Marchan	N

Table 2의 결과와 같이 공극에 따른 특성 실험에서는 공극이 25 mm, 30 mm, 50 mm, 55 mm의 경우에는 출력파형이 일정하지 않아 출력파형을 통한 정확한 지지격자판 계수가 불기능하다. 공극이 35 mm, 40 mm, 45 mm의 경우에는 계수가 가능하며, 공극은 40 mm에서 최적 감도임을 알 수 있다.

3.3 챔퍼 인식 특성

계수 특성 실험과 동일한 조건으로, 스캐닝 방향은 우향으로, 최적 공극은 40 mm로 조건을 주었으며, 스캔속도는 실험을 통해서 사용가능으로 검증된 최저 1.5 mm/sec에서 최대 5.0 mm/sec의 스캔 속도에서 데이터 샘프레이트를 50, 100, 150으로 변경해가며 지지격자판의 챔퍼 인식 특성을 실험하였다.

Fig. 9와 같이 실험을 위한 샘플은 챔퍼가 있는 지지격자판 74개와 챔퍼가 없는 지지격자판 26개를 무작위로 혼입하여 장착 한 후 각각의 실험조건으로 측정하여 챔퍼가 없는 지지격자판의 수량과 위치를 검사할 수 있는지 확인하기 위한 실험을 하였다.

Table 3은 지지격자판 표면과 레이저 변위센서와의 공극을 40 mm로 일정하게 하고 스캔속도를 1.5 mm/sec를 기준으로 5 mm 간격으로 5.0 mm/sec까지 스캔속도를 올려가며 각 스캔속도 별 샘플레이트 변화에 따른 챔퍼 인식특성에 관한 평가 결과이다. 측정데이터의 샘플레이트에 따른 특성은 스캔속도가 2.5 mm/sec

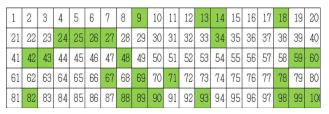


Fig. 9 No- Chamfered Strap Position (26ea)

Table 3 Experimental result for Data sample rate and Scanning speed condition of laser displacement sensor

Scanning speed (mm/sec)	Sample rate/sec	Counting possibility	Recognition possibility
1.5	50	Y	N
	100	Y	Y
	150	Y	Y
	50	Y	N
2.0	100	Y	Y
	150	Y	Y
2.5	50	Y	N
	100	Y	Y
	150	Y	Y
	50	Y	N
3.0	100	Y	N
	150	Y	Y
3.5	50	Y	N
	100	Y	N
	150	Y	Y
4.0	50	Y	N
	100	Y	N
	150	Y	N
4.5	50	Y	N
	100	Y	N
	150	Y	N
5.0	50	Y	N
	100	Y	N
	150	Y	N

를 초과하고 Sample rate가 50 이하인 조건에서는 지지격자판의 챔퍼 유무를 인식하는데 있어서 정확성이 떨어지고 불안정하다. 측정데이터의 샘플레이트는 150/sec가 가장 최적의 조건이며 스캔속도는 2.5 mm/sec일 때 가장 정확한 챔퍼 인식이 가능함을 알 수 있다.

4. 실험 및 고찰

Fig. 10는 본 연구에 사용한 비접촉식 계수장치의 계수 시스템의 모니터 화면을 보여주고 있다. 레이저 변위센서는 지지격자판표면과의 공극, 스캔속도, 측정데이터의 샘플레이트에 대한 관계고찰을 토대로 개발된 계수 프로그램을 적용하여 비접촉식 계수장치의 성능 및 신뢰성을 확인하였다. 챔퍼되지 않은 26장이 포함된 100장의 지지격자판을 클램핑 장치에 거치한 후 공극(Air gap) 40 mm, 스캔속도 2.5 mm/sec, 샘플레이트 150 조건에서 우향으로시험하였고, 그 결과를 Fig. 10에서 보여주고 있다. Fig. 10의 입력신호 파형 부분의 녹색 수직선이 챔퍼가 없는 지지격자판의 위치를나타내며, 지지격자판 계수 및 챔퍼가 없는 지지격자판의 계수가출력된다.

100회의 반복시험하여 비접촉식 계수 및 챔퍼 인식 프로그램에 적용한 결과 에러율이 0 (zero)임을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구는 수작업에 의한 계수방식 대신 새로운 비접촉방식으로 레이저 변위센서를 이용하여 지지격자판의 계수가 적용 가능한 것을 확인하였다. 또한 육안으로 검사하던 지지격자판의 챔퍼 유무를 계수와 동시에 검사가 가능함을 연구하였다.

비접촉식 지지격자판 계수와 챔퍼 인식 알고리즘을 개발하였으며, 제작된 본 시스템으로 실험한 결과 스캔속도 2.5 mm/sec, 공극 40 mm, 샘플레이트 150 일 때 최적의 계수 및 챔퍼 인식 특성을 나타내었다. 챔퍼되지 않은 26장이 혼입된 100장의 지지격자판을

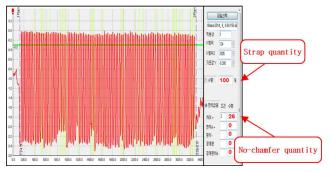


Fig. 10 Signal of repetition experiment

대상으로 계수 및 챔퍼인식에 대해 반복 실험을 100회 한 결과 에러울이 0%로 정확성과 유효성을 가지고 있음 확인하였다.

따라서 본 연구에서 제안한 레이저 변위센서를 이용한 지지격 자판 계수 및 챔퍼 인식 시스템은 원자력연료용 지지격자판 검사 장치로 매우 유용하고 실용적임을 확인하였고 정확성와 신뢰성이 요구하는 지지격자판 계수 및 검사에 즉시 활용이 가능하다고 판 단된다.

본 논문을 토대로 향후 여러 분야에서 비접촉식 계수장치에 대한 연구가 활발히 이루어질 것으로 예상하며 금속 판재류를 제조하고 취급하는 제철소나 전자부품회사, 프레스 가공업체 등 여러 생산 현장에서 다양하게 활용되어 계수의 신뢰성과 생산성 향상에 크게 기역할 것으로 기대한다.

후 기

이 연구는 2016 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

References

- [1] Ryu, B. J., KOO, K. W., 2012, Modal Analysis and Testing for a Middle Spacer Grid of a Nuclear Fuel ROD, KIEE. 61(12) 1948~1952.
- [2] KEPCO NF n.d. Fuel Manufacturing http://www.knfc.co.kr/fuel_manufacturing.
- [3] Lee, B. h., 2003, Review of the Present Status of Optical Fiber Sensors, Optical Fiber Technology, 9 57-79.
- [4] Grattan, K.T.V., Sun, T., 2000, Fiber Optic Sensor Technology: An Overview, Sensors and Actuators A: Physical, 82 40-61.
- [5] Kang, D. H., 2006, A Study of the Non-Contact Bill Counter using Optical Fiber Sensor, Master Thesis, ChungNam National University, Republic of Korea.
- [6] Been, J. H., 2012, A Study of The Applicability of Optical Fiber Displacement Sensor Using ID Card Auto Counter, Master Thesis, ChungNam National University, Republic of Korea.
- [7] Lee, J. Y., Kim, S. W., 1992, Displacement Measurement System Based on Optical Triangulation Method, KSME, 16(6) 1030~1035.
- [8] Smart Sensor(ZX-L-N Series) 2008, Smart Sensor(ZX-L-N Series) User Manual, OmRon.