

# Modulating Laser 기반 알고리즘을 통한 알루미늄 연료탱크 결함 검출 Detecting of defeated Al pressure vessel by using Modulating laser algorithm

\*성인학<sup>1</sup>, 김영준<sup>2</sup>, 유원재<sup>3</sup>, 김성룡<sup>1</sup>, 안용진<sup>1</sup>

\*Y. H. Sung<sup>1</sup>, Y. J. Kang(yjkang@chonbuk.ac.kr)<sup>2</sup>, W. J. Ryu<sup>3</sup>, Y. J. An<sup>4</sup>  
<sup>1</sup> 전북대학교 기계설계학, <sup>2</sup> 전북대학교 기계항공시스템공학부, <sup>3</sup> 전주기계대학교 기술원

Key words : Modulating Laser, ESPI, Wavelength Modulating, Diode Laser

## 1. 서론

비파괴 검사기술은 신속성, 경제성, 검사대상의 다양성 등의 장점을 가지고 산업 전반에 중요한 역할을 한다. 그중 광학기반 비파괴 검사 중 하나인 전자 스펙클 간섭계(ESPI)를 이용해 실시간, 고분해능의 장점으로 알루미늄 연료탱크의 결함을 검출하고자 한다. 여기에 ESPI의 측정을 기존의 PZT에 의한 위상이동이 아닌 다이오드 레이저의 위상변조 방식 알고리즘을 이용해 PZT의 비선형 오차를 제거하고 경제성을 향상시키고자 했다.

## 2. 이론

### 2.1 Wavelength Modulation

다이오드를 사용한 간섭계에서는 입력전류(injection current)를 변조시켜 직접적으로 파장(wavelength)에 의해서 위상을 변화시킬 수 있다. 이는 입력전류가 시간에 의한 선형적인  $\Delta i = \alpha \cdot t$  이며, 파장의 길이(wavelength)는 미세하게 변하며, 그 식은 다음과 같다.

$$\Delta \lambda = \beta \cdot \Delta i = \beta \cdot \alpha \cdot t \quad (1)$$

여기서  $\alpha$  와  $\beta$  는 비례함수이다. 레이저 다이오드 파장의 변조는 다음 식으로 나타낼 수 있다. 레이저 공진 조건(Laser cavity condition)은 다음 식에 의해 주어지며

$$\lambda = \frac{2}{m} n \cdot L \quad (2)$$

n : Refractive index  
 L : Cavity length  
 m : Integer

다이오드 레이저의 입력전류가  $\Delta i$  만큼 주어질 때, 적은 양의 온도 변화  $\Delta T$  가 일어난다.

$$\Delta T = R \cdot \Delta i \quad (3)$$

R : Thermal resistance

그리고, 파장길이의 변화  $\Delta \lambda$  는 식(2)를 미분한 다음에 주어지는 식처럼 나타낼 수 있다.

$$\Delta \lambda = \frac{2}{m} (L \frac{\partial n}{\partial T} + n \frac{\partial L}{\partial T}) \Delta T \quad (4)$$

공진(cavity length)의 변화량은 굴절률(refractive index)에 비해 그 양이 무시할 정도로 작기 때문에 파장길이 변화량  $\Delta \lambda$  는 식(3)과 식(4)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda}{n} \frac{\partial n}{\partial T} R \Delta i \quad (5)$$

그러므로, 비례함수  $\beta$  는 Wavelength(656.5nm), refractive index(=3.5), refractive-index differential( $\cong 10^{-3} / ^\circ C$ ), 그리고 다이오드 레이저의 thermal resistance( $R \cong 25^\circ C / A$ )에 의해 계산되어질 수 있다.

$$\beta = \frac{\lambda}{n} \frac{\partial n}{\partial T} R \cong 6 \times 10^{-3} (nm/mA) \quad (6)$$

### 2.2 Modulating Algorithm

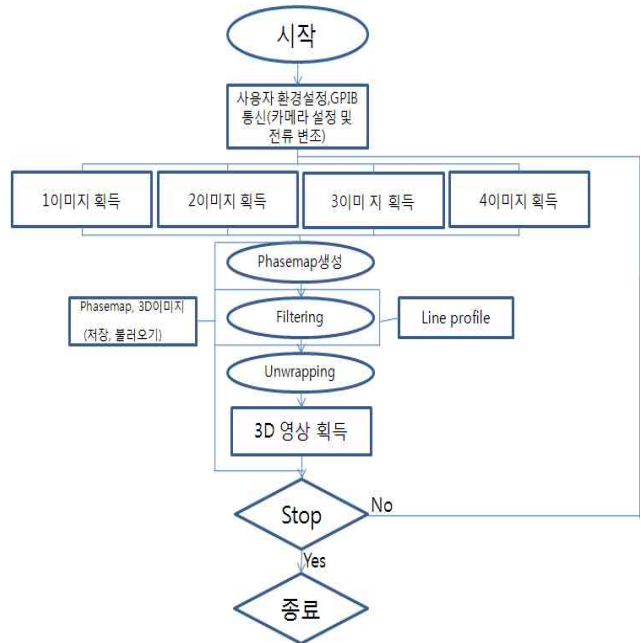


Fig1 Modulating laser method algorithm

## 3. 실험장치

본 실험에서 사용된 시편은 AL6061-T6 두께 5.5mm, 안지름 345mm, 원통부분 길이 584.5mm이다. 레이저빔의 반사율을 높이기 위해 무광색 백색도료 도색하였다. 본 시스템은 면회변위 ESPI시스템으로 Melles griot사의 06DLD103 컨트롤러에 의해서 입력전류가 제어되는 656.6nm, 출력 30mW, 변조율  $6.2 \times 10^{-3} nm/mA$ 의 다이오드 레이저를 사용하였다. 시편에 준 결함은 길이 2,3,4mm이고 깊이 5,10,20%를 방전가공시켰다.



Fig 2 Experiment installation

### 4. FEM해석

ESPI 간섭법의 원리상 검사대상의 압력여기는 필수적이다. 이에 검사압력의 안전성을 확인하기 위해 FEM해석을 수행하였다. 6섯개의 시편에 대해 각각 응력값을 재료의 항복응력과 비교했다.

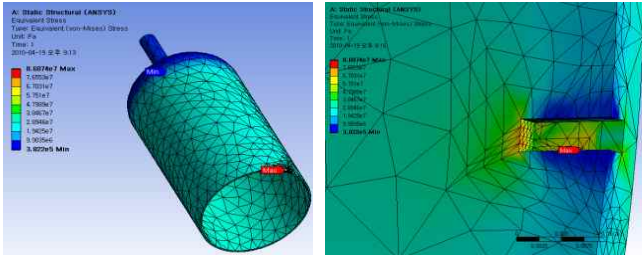


Fig 3. FEM solution to figure out safty of testing pressure

해석결과 시편의 결함에 대해 가압하기 위해서 압력용기 내에 가한 압력 1Mpa ~ 1.2Mpa은 주어진 결함에 대해 86Mpa의 응력이 발생했고 이는 재료의 항복응력인 276Mpa에 충분히 낮은 응력으로 검사 안전성이 확인됐다

### 4. 실험결과

다이오드 레이저의 기본 전류값은 80mA로 하였고 이미징 획득시 +0.4mA의 변조량을 줬다. 면외변위ESPI로 광학계를 구성하여 가압의 단계별로 Phasemap을 얻은 결과는 아래와 같다.

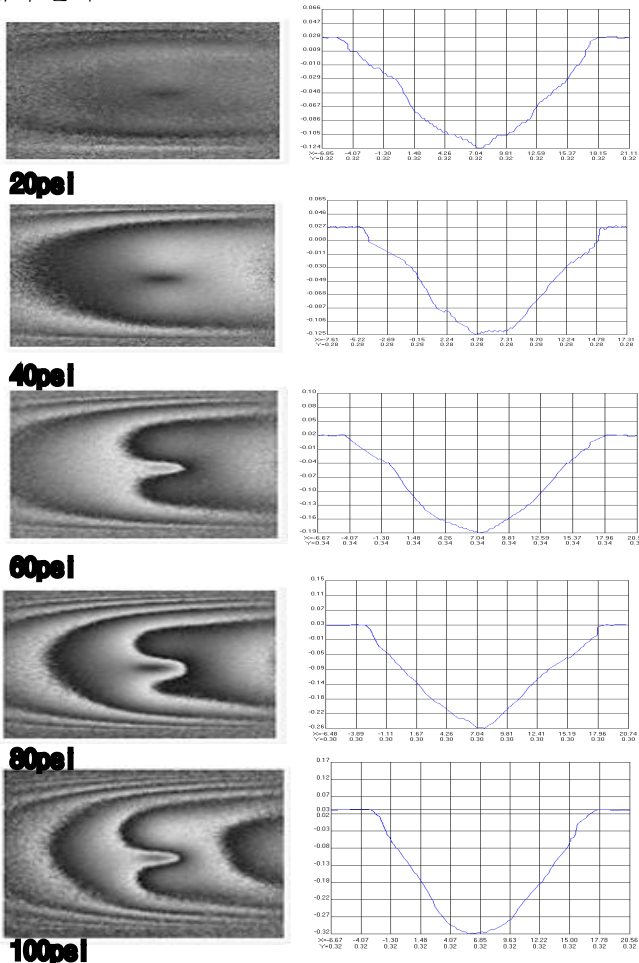


Fig 4 Phasemap and line profile applied pressure 20psi-100psi

위 Fig 4 과 같이 Phasemap에서 line profile을 추출하여 내부 결함에 의하여 변형된 부분을 측정할 수 있었다. line profile의 양쪽 끝단의 화소(pixel)의 x좌표를 구해서 그 두 좌표의 차이를 구한 후 화소 하나에 해당하는 실제 거리를 곱하여 길이를 측정하였다.

Internal Defect Length : 20mm		
pressure	Experiment Result Length(mm)	measurement error(%)
2	23.541	6.09
4	20.585	7.79
6	21.399	3.69
8	21.788	1.85
10	22.329	0.63

### 4. 결론

면외변위 ESPI System에 파장가변 레이저를 이용해 다이오드 레이저의 입력전류를 변조함에 따라 일어나는 파장변조 및 레이저 다이오드의 고유특성, 간섭계의 광경로차등에 의해 위상지도를 구함으로써 변위측정이 가능함을 보였다.. 더불어 위상이동을 기계식 방법인 PZT장비를 대신하여 ESPI System을 구성하였기 때문에 실험구성이 간단하고 비용측면에서 장점이 있음을 보였다. 추후에는 데이터 추출방법의 Unwrapping과 Lineprofile에 있어서 측정오차 개선방안에 연구가 필요할 것이다.

### 참고문헌

- Osami Sasaki, Yoshihiro Ikeada, Takamasa Suzuki, "Superluminescent diode interferometer using sinusoidal phase modulation for step-profile measurement", Applied Optics, Vol.37, No.22, 1988
- Takamasa Suzuki, Hiromi Suda, Osami Sasaki, "Double sinusoidal phase-modulating distributed-Bragg-reflector laser-diode interferometer for distance measurement", Applied Optics, Vol.42, No.1, 2003
- 문상준, 강영준, 백성훈, 김철중, "실시간 홀로 그래픽 간섭법을 이용한 압력용기의 내부결함 측정법", 대한기계학회, Vol.20, No.2, pp2237-2242, 1996.
- 이근영, 박낙규, 강영준, 강신재, 이승호, "파장가변 레이저를 이용한 ESPI 시스템 개발", 한국정밀공학회 2006년도 추계학술대회 논문요약집, 2006. 10, pp.339-340
- 표기영, 박낙규, 이근영, 강영준, 김경석, "레이저 다이오드를 이용한 정현적 위상변조 간섭계에 대한 연구", 한국정밀공학회 2005년도 추계학술대회 논문 요약집, 2005. 10, pp.932-935