

광섬유 ESPI를 이용한 압력용기 내부 결함 측정에 관한 연구 A Study on the Measurement of Defected Internal Pressure Vessel by using Optic Fiber ESPI

*오정윤¹, #강영준², 박승규³, 김성종¹, 안규생⁴, 유원재⁵

*J. Y. OH¹, # Y. J. Kang(yjkang@chonbuk.ac.kr)², S.K.Park³, S.J.Kim¹, K.S.Ahn⁴, W.J.RYU⁵

¹ 전북대학교 기계설계대학원, ²전북대학교 기계설계공학과, ³한국원자력연구원, ⁴AMP Tech, ⁵전주기계산업리서치센터

Key words : Fiber-optics ESPI, Pressure vessel, Internal defects, ESPI, Out of plane

1. 서론

ESPI(Electronic Speckle Pattern Interferometry)는 비접촉·비파괴 방식으로 측정 대상체의 진동이나 변형에 따른 3차원 형상정보의 취득에 효과적으로 사용되어 왔다.

측정 대상체와 계측 환경에 따라 In-plane, Out-of-plane, Shearography 등으로 구분할 수 있으며, 간섭계를 구성하는 광소자의 형태에 따라 벌크형(Bulk type)과 광섬유형(Fiber-optic type)으로 나뉘어 진다. 광섬유형 시스템은 크기가 작고 휴대하기 편하여 시스템 구성 및 정렬이 매우 용이하며, 신호 취득이 쉬운 장점이 있다.

본 연구에서는 광섬유 Out of plane ESPI를 이용한 광학계를 구성하였고, 실린더형 PZT(piezoelectric transducer)를 이용하여 위상 변조를 $\pi/2$ 주기적 가하여 CCD카메라에서 이미지 취득 신호를 생성 하였다. 이 신호에 따라 얻어진 스펙클 패턴은 후처리를 통하여 측정 대상체의 3차원적인 표면 위상정보를 얻게 되었다.

본 연구에서는 결함이 있는 압력용기에 질소 가스를 주입하여 변화되는 Phase map을 관찰하였고, 또한 Phase map의 후처리를 통하여 압력에 따른 대상체의 변화를 3차원으로 확인하였다.

2. 시스템 구성 및 실험 방법

본 실험에서 구성된 광섬유 ESPI 시스템을 Fig.1과 같이 구성하였고, Fig.2은 실험실상에서 구성한 시스템의 실제 사진이다.

레이저는 532nm의 Nd-Yag 레이저를 이용하였고, beam의 경로는 Thorlab에서 제작한 총길이 2m의 광섬유를 이용하였다. 광섬유의 파장 범위는 532~640nm이고, 그 중심에는 beam을 분리하는 50:50의 커플러가 연결되었다.

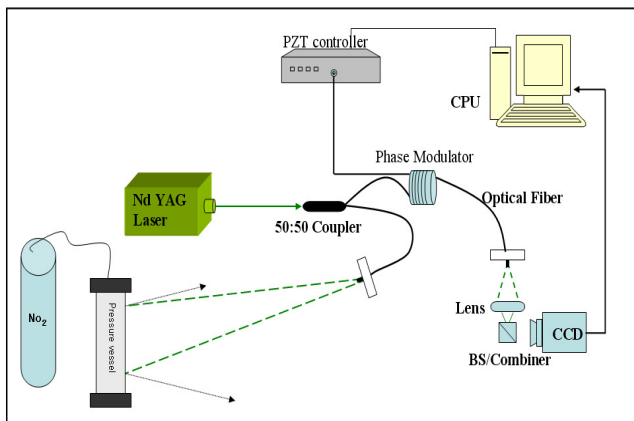


Fig.1 Configuration of Fiber Optic ESPI

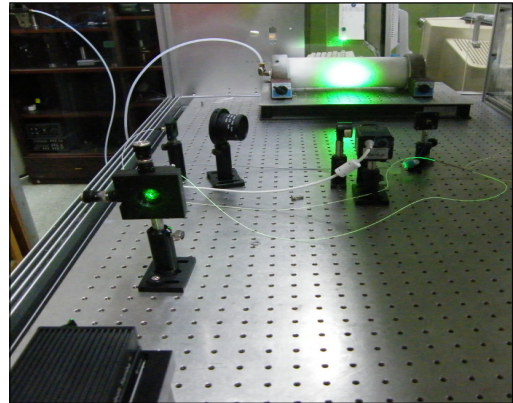


Fig. 2 Photograph of Fiber Optic ESPI

또한, 기준광의 위상조절은 광섬유의 한쪽 팔을 PI사에서 제작한 최대전압 500V까지 수용하며 최대전압을 가했을 때 축 방향 9 μ m의 길이가 늘어나며, 반경 축소는 3 μ m의 스펙클을 가지고 있는 실린더형 Phase modulator에 광섬유를 20회 감았다.

beam이 발진을 하여 50:50coupler를 통하여 기준 beam과 대상체 beam으로 나뉘진다. 기준 beam은 PZT controller에서 전압을 가하면 광섬유의 길이가 μ m단위로 늘어나 위상이 이동을 하게 되며, CCD에서는 간섭이론으로부터 얻어진 식을 통하여 phase map의 정보를 확인할 수 있다.

그리고 압력용기의 변형을 여기 시키는 방법은 질소가스를 사용하여 내부를 가압하는 방법을 사용하였다. 각 5개의 시편에 20, 40, 60, 80, 100, 115psi의 압력으로 가압하고 축방향의 내부크랙에 대하여 측정하였다.

3. 실험 시편

Fig.6은 압력 용기의 구속 형태와 형상을 보여주는 그림으로 압력용기의 재질은 탄소강이고 시편의 길이는 33 cm, 외경은 10 cm, 두께는 0.5 cm로 되어 있으며, 그림에서 보듯이 실험을 위해서 양끝의 텅게 부분을 앞과 뒤 그리고 옆에서 구속하여 주었다.

시편은 사전에 축 방향으로 2mm의 결함 깊이와 결함 폭 0.6mm, 결함길이를 각각5mm, 10mm, 15mm, 20mm을 4개의 시편을 모델링 하였다.

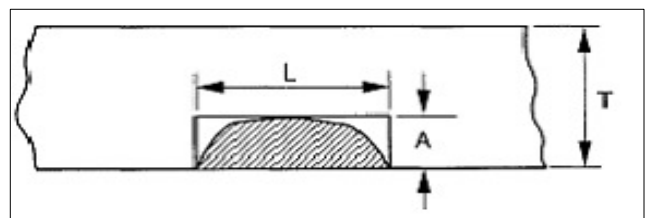


Fig.3 Flaw of Pressure vessel

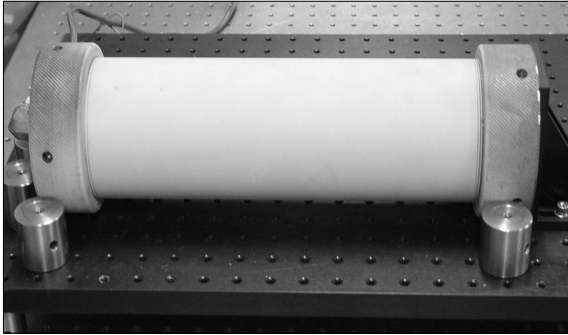


Fig.4 The shape of specimen(33cm×10cm)

4. 실험 결과

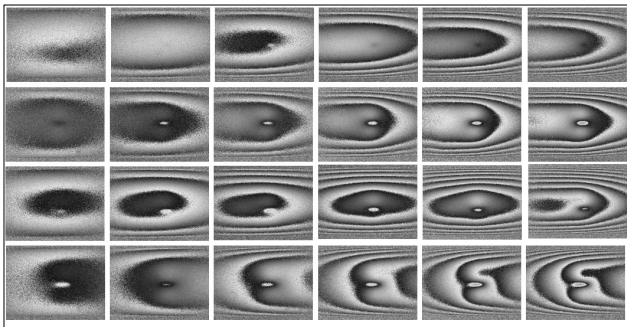


Fig.5 phase map results of axial defect

Fig.5는 광섬유 ESPI의 Out of plane를 이용하여 축 방향 내부 결함에 대하여 각각의 압력을 가압하여 얻은 Image를 보여주고 있다. 맨 윗줄에 있는 것이 첫 번째 압력용기이고, 다음이 두 번째 압력용기의 순서로 되어 있다. 하나의 압력용기에 압력 증가 순서로 나열되어 있다. 여기서 보면 5mm의 결함길이에 20psi의 압력을 가압할 때부터 20mm 115psi의 압력을 가압할 때까지 모든 경우에서 축 방향 내부 결함의 위치가 나타나며, 내부 결함이 클수록 그리고 압력이 높을수록 더 뚜렷하게 나타남을 보여주고 있다.

Fig.6은 각 시편의 최대 압력을 가했을 때 축 방향 결함의 profile이다. 이 그래프에서 볼 때 결함의 깊이와 결함의 길이는 Table.1에서 보는 것과 같이 결함의 길이가 길수록 결함의 깊이는 깊어지고 결함의 길이가 늘어난다는 것을 알 수 있었다.

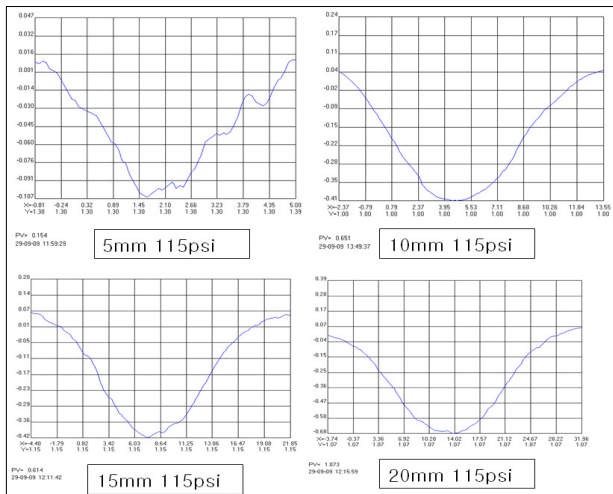


Fig.6 profile of axial defect

Table.1 Specification of defects

Specimen	Depth of defect (μm)	
	length of defect(mm)	
5mm	0.33	
	0.112	
10mm	0.45	
	0.12	
15mm	0.49	
	0.12	
20mm	0.75	
	0.14	

Fig.7은 결함길이 20mm에서 압력 115psi를 가한 3차원 영상과 unwrapping한 것을 보여주고 있다.

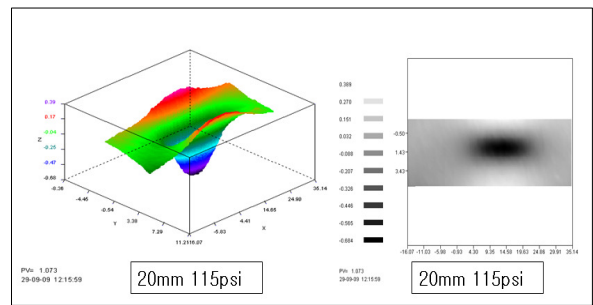


Fig.7 3-d and unwrapping of 20mm-115psi

5. 결론

본 연구는 광섬유 ESPI의 Out of plane ESPI를 이용하여 원자력 발전소와 일반 공장 시설 등에 사용되는 파이프 배관이나 압력배관의 내부에 장기간 사용 및 부식작용에 의하여 발생하는 내부 결함에 대하여 압력용기를 시편으로 제작하고 모델링하여 내부 결함의 길이와 압력에 따라 측정하고 그 결과를 비교하였다. 5mm의 20psi부터 40psi는 결함 측정이 불가능을 알 수 있었고, 5mm 60psi부터 20mm 115psi에서는 정확하고 정밀한 측정이 가능해 졌음을 알 수 있었다.

광섬유 ESPI는 기존에 mirror to mirror 방식과 비교하여 볼 때 더 정확하고 일정한 영상을 얻을 수 있었고, 시스템의 구성이 더 간결하며 조작하기가 쉬웠다. 그리고 광섬유 ESPI는 외란에 영향을 많이 받지 않는 것을 알 수 있었으며, 앞으로 산업현장에서 쉽고 편리하게 사용할 수 있는 알고리즘을 개발하여, 보다 다양한 목적으로 활용할 수 있는 시스템 개발에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Lekberg, O. j. and Maimo, J. T. "Detection of Defects in Composite Material by TV Holography", NDT International, Vol. 21, No. 4, pp. 223-228, 1988.
2. Wykes, C. "Use of Electronic Speckle Pattern Interferometry in the Measurement of Static and Dynamic Surface Displacement", Optical Engineering, Vol. 21(3), pp. 400-406, 1982.
3. Moore, A. J. and Tyrer, R. "An Electronic Speckle Pattern Interferometer for complete In-plane Displacement Measurement", Measurement Science and Technology, Vol. 1, pp. 1024-1030, 1990.
4. 박형준, 송민호, 이준호, "영점검출을 이용한 광섬유형 전자스펙클 패턴 간섭계의 위상이동" 한국광학회지, vol.16, pp.516-519, 2005
5. 이정식, 강영준, 백성훈, "ESPI를 이용한 압력용기 내부 결함 측정 결과와 유한 요소법을 이용한 결과 비교에 관한 연구" 한국정밀공학회, 2005