

# Optic Fiber 시스템을 이용한 알루미늄 라이너 결함에 관한 연구 A Study on the Measurement of Defected Pressure Vessel Liner by using Optic Fiber ESPI

\*이재훈<sup>1</sup>, #강영준<sup>2</sup>, 김성종<sup>1</sup>, 유원재<sup>3</sup>

\*J.H. LEE<sup>1</sup>, # Y.J. Kang(yjkang@chonbuk.ac.kr)<sup>2</sup>, S.J. Kim<sup>1</sup>, W.J. RYU<sup>3</sup>

<sup>1</sup>전북대학교대학원 기계설계공학과, <sup>2</sup>전북대학교 기계설계공학과, <sup>3</sup>전주기계산업리서치센터

Key words : Fiber-optics ESPI, Pressure Vessel Liner, Defected, ESPI, Out of plane

## 1. 서론

현재 선진국 자동차업계는 고유가 시대의 도래와 기후변화 등 환경의 변화에 따른 청정성과 안전성을 갖추고 자동차 배출가스의 저감과 지구 온난화 방지를 위해 CNG(Compressed Natural Gas)버스의 보급 사업을 추진하고 있다. 저장 CNG버스에 탑재되는 고압용기로, 최근에 경량이며 고성능을 가지는 TypeIII(알루미늄 라이너) 압력용기 개발을 위한 투자가 이루어지고 있으며 안전성 확보에 대한 연구 또한 진행 중이다.

본 연구에서는 광섬유 Out of plane ESPI를 이용한 광학계를 구성하였고, 실린더 형 PZT(piezoelectric transducer)를 이용하여 위상변조를  $\pi/2$  주기적 가하여 CCD카메라에서 이미지 취득신호를 생성하였다. 이 신호에 따라 얻어진 스펙클 패턴은 후처리를 통하여 측정 대상체의 3차원적인 표면 위상정보를 얻게 되었다.

그리하여 결함이 있는 압력용기 라이너에 질소 가스를 주입하여 변화되는 Phase map을 관찰하였고, 또한 Phase map의 후처리를 통하여 압력에 따른 대상체의 변화를 3차원으로 확인하였다.

## 2. 시스템 구성 및 실험방법

본 실험에서 구성된 광섬유 ESPI 시스템을 Fig.1 과같이 구성하였고, Fig.2는 실험실상에서 구성한 시스템의 실제 사진이다.

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

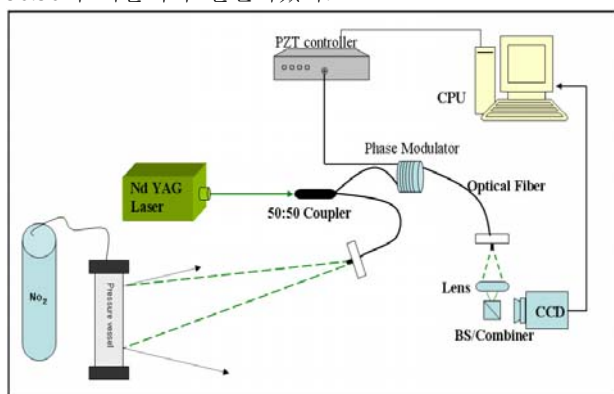


Fig.1 Configuration of Optic Fiber ESPI

또한, 기준광의 위상조절은 광섬유의 한쪽 팔을 PI사에서 제작한 최대전압 500V까지 수용하며 최대전압을 가했을 때 축 방향 9  $\mu$ m의 길이가 늘어나며, 반경 축소는 3  $\mu$ m의 스펙을 가지고 있는 실린더 형 Phase modulator에 광섬유를 20회 감았다.

beam이 발진하여 50:50 커플러를 통하여 기준 beam과 대상체 beam으로 나뉘진다. 기준 beam은 PZT controller에서 전압을 가하면 광섬유의 길이가  $\mu$ m단위로 늘어나 위상이동을 하게 되며, CCD에서는 간섭이론으로부터 얻어진 식을 통하여 Phase map의 정보를 확인 할 수 있다.

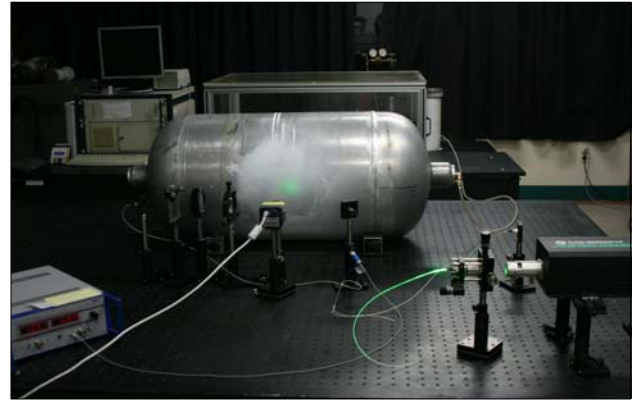


Fig.2 Photograph of Fiber Optic ESPI

Fig.3에서와 같이 검사압력의 안정성 확보를 위해 유한요소해석을 이용하였고 그 결과, 각 3개의 시편에 4bar, 8bar, 12bar의 압력으로 가압하고 축방향의 내부크랙에 대하여 측정하였다.

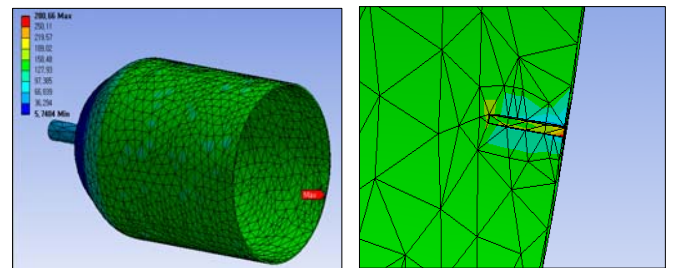


Fig.3 FEM analysis for stability of test pressure

## 3. 실험시편

fig. X는 압력용기의 구속 형태와 형상을 보여주는 그림으로 재질은 Al 6061이고 시편의 원통부분의 길이는 584.5mm, 외경은 356mm, 두께는 5.5mm로 되어 있으며, 앞선 그림에서 보듯이 실험을 위해서 양끝부분을 마그네틱자석으로 구속하여 주었다.

시편은 사전에 축 방향으로 20mm의 결함 길이와 결함 폭 0.6mm, 결함 깊이를 각각 용기 총 두께의 20%, 40%, 60%인 1.1mm, 2.2mm, 3.3mm로 3개의 시편을 모델링 하였다.

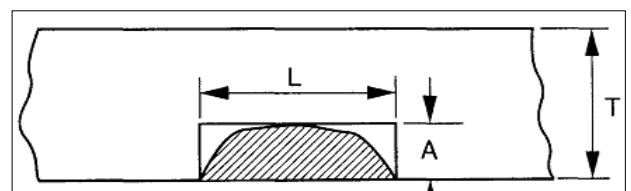


Fig.4 Flaw of Pressure vessel

4. 실험 결과

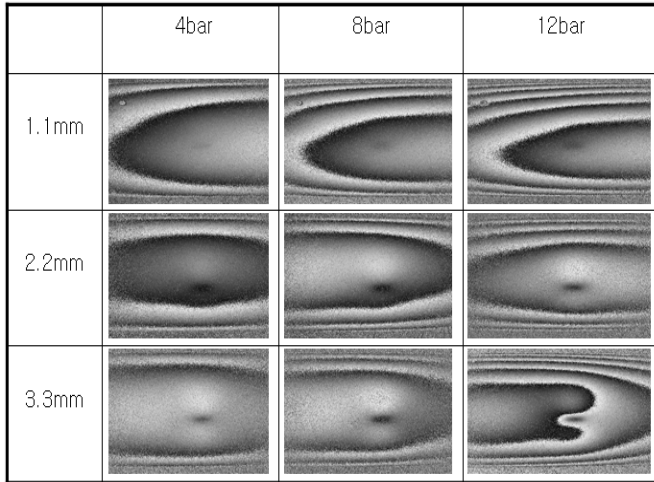


Fig. 5. Phase map results of axial defect

Fig.5는 광섬유 ESPI의 Out of plane을 이용하여 축 방향 내부 결함에 대하여 각각의 압력을 가압하여 얻은 이미지를 보여주고 있다. 맨 윗줄부터 아래로 결함 깊이가 용기두께의 20%, 40%, 60% 순서이며, 왼쪽에서 오른쪽으로 4bar, 8bar, 12bar 순서로 가압한 결과이다. 모든 경우에서 축 방향 내부 결함의 위치가 나타나며 결함이 클수록, 또한 압력이 높을수록 더 뚜렷한 무늬가 나타남을 알 수 있다.

Fig.6은 각 시편의 최대 압력을 가했을 때 축 방향 결함의 profile이다. 오른쪽에는 결함깊이별로 시편에 압력 12bar를 가한 3차원 plot을 보여주고 있다. 다음의 profile을 수치로 나타낸 Table.1에서 보는 것과 같이 결함 깊이가 깊을수록 가하는 압력이 커질수록 실험 결과 값도 커짐을 알 수 있었다.

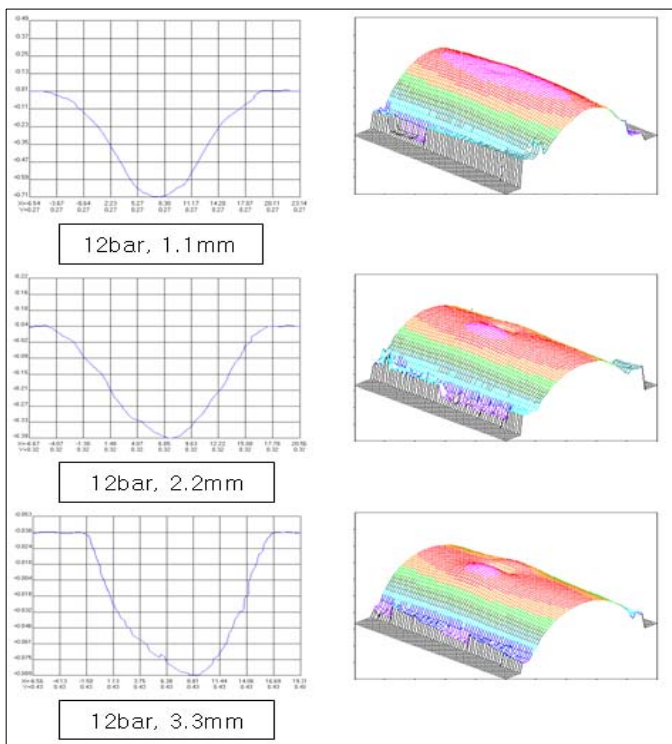


Fig. 6 profile of axial defect and 3-D plot

Specimen	Depth of defect(μm)		
	4bar	8bar	12bar
1.1mm	0.042	0.082	0.118
2.2mm	0.15	0.28	0.42
3.3mm	0.21	0.49	0.71

Table.1 Specification of defects

5. 결론

본 연구는 광섬유 ESPI의 Out of plane ESPI를 이용하여 CNG버스에 탑재될 압력용기 라이너의 내부에 발생하는 결함에 대하여 압력용기 라이너를 시편으로 제작하고 모델링하여 내부 결함의 두께 및 압력에 따라 측정하고 그 결과를 비교하였다.

광섬유 ESPI는 기존의 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 않는다는 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. R. W. Nichols, "In-service inspection as an aid to steel pressure vessel reliability?" , Reactor Inspection Technology, Proceeding of a BNES symposium, pp.24~ 37, 1975
2. R. Jones and C. Wykes, "Holographic and Speckle Interferometry" , Cambrige University press, pp.146~148, 1989
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. 문상준, 강영준, 백성훈, 김철중, "실시간 홀로그래픽 간섭법을 이용한 압력용기의 내부결함 측정법", 대한기계학회, Vol. 20, No.2 , pp. 2237~2242, 1996.
5. 이정식, 강영준, 백성훈, "ESPI를 이용한 압력용기 내부 결함 측정 결과와 유한 요소법을 이용한 결과 비교에 관한 연구" 한국정밀공학회, 2005