

Digital shearography를 이용한 내부결함 검출에 있어서 전단량과 내부압력 변화에 따른 간섭줄무늬 패턴 분석

김형택*(조선대 대학원), 김경석(조선대 기계공학부)
홍진후(조선대 고분자공학과), 강기수(조선대 대학원)

The analysis of interferometry fringe pattern under shearing quantity and inside pressure change for inspect inside defects using by digital shearography

H. T. KIM(Graduate school., CSU), K. S. Kim(Mech. Eng. Dept., CSU),
J. H. HONG(Mech. Polymer Eng. Dept., CSU) K. S. KANG(Graduate school., CSU)

ABSTRACT

Digital shearography, a speckle pattern method is based on the superposition of two laterally sheared images. Therefore, object points which are positioned in some distance from each other are superposed in the image plane. Thus shearography, one of NDT methods without contact, is able to inspect defects in pipelines and pressure vessels that are used in nuclear power plants. This is can inspect whole fields and has a low sensitivity to environmental noise. Because optical setting is very simple, it has a little exhaustion of time, cost and man power. And also it can find a defect position through real time monitoring of a part. This paper, finds out the relationship among shearing quantity, image quality and defect size with this method.

Key Words : Digital shearography(전자전단간섭계), Inspect defects(결함검출), Whole field(전영역), Shearing quantity(전단량), Defect size(결함크기)

1. 서론

우리는 가스나 유체를 수송하는 파이프나 여러 가지 압력을 받는 용기들이 설치되어 있는 곳들을 흔히 접하게 되고, 또한 그와 관련한 안전사고도 꽤 접하게 된다. 따라서, 이러한 설비를 사용하기에 앞서 안전관리에 대한 검사를 보다 정확하게 수행할 수 있는 방법을 필요로 한다.¹⁾

근래에 신뢰성이 인정되어 사용되고 있는 방법으로는 초음파나 X선 그리고 와전류(Eddy current)를 이용하는 비파괴검사법들이 주로 사용되고 있다. 그러나, 이 방법들은 접촉식에 가까운 형태로 검사가 진행되고, 시험체의 표면상태나 형상에 따라 검사가 어려운 경우도 발생하며, 시험체의 밀도나 두께의 변화등에도 영향을 받는등의 문제점이 있다. 또한, 넓은 영역에 걸쳐 한번에 결함을 검출하지 못하고 탐촉자나 필름이 위치하는 부분으로 한정이 되는 단점이 있어 검사에 많은 시간과 경비가 소모된다.

이러한 단점을 극복할 수 있는 대표적인 광학적 비접촉식 비파괴검사법으로 전자전단간섭법(Digital Shearography)을 들 수 있다.²⁾

레이저를 사용하는 원격 비접촉 정밀 측정기술인 이 방법은 원격측정기술로 고분해능과 한번의 측정으로 레이저가 조사되는 전면적(Whole field)의 측정이 가능하다는 장점으로 이미 미국, 일본, 유럽등 선진국에서는 1970년대 후반부터 원자력 산업에 이 레이저 간섭법을 이용한 비파괴검사를 수행해 오고 있다.³⁾ 국내에서도 레이저 간섭법의 빠른 도입에 의해 신뢰성 있는 검사 및 안정성 진단/분석기술의 개발이 시급하다. 기존 연구에 있어서 Shearography를 이용한 결함검사기술은 정성적 분석에 머무르고 있으며, 정량분석을 위해서는 전문적 지식과 전단방향과 전단량을 변화하여 결함을 정량화하는 복잡한 과정을 거쳤다. 따라서, 본 연구에서는 간섭줄무늬 패턴과 전단량과 결함사이의 관계를 규명하여 결함 정량화를 하고자 한다.

2. 원리

2.1 전자전단간섭계 원리

레이저에서 나온 빛이 물체면에 조사된 후 반사되어 나와서 광분할기(Beam splitter)에 의해 두 개의 빔으로 나누어진 후 하나는 위에 있는 거울에 반사되어 상면에 맺히고, 나머지 하나는 옆에 있는 거울에서 반사되어 다시 광분할기로 들어가서 상면에 맺히게 된다. 이때, Fig. 1에서 보듯이 우측에 있는 거울을 살짝 회전시켜주면 회전된 거울에서 반사된 파면은 회전하지 않은 거울에서 반사된 파면에 대해서 수평으로 전단(Shearing)되어 Image plane에 맺히게 된다. 이렇게 변형된 물체의 정보를 가진 스펙클 패턴과 물체에 변형을 준 후 위에서와 같은 방식으로 저장한 스펙클 패턴을 처리함으로써 Fringe pattern을 형성하고 이 Fringe pattern은 전단량과 가해지는 하중등에 영향을 받는다

3. 실험 및 해석

3.1 실험장치 및 조건

본 연구에 사용된 실험장치는 독일 Ettmeyer Co의 전자전단간섭계와 내부 크랙을 갖는 압력용기 시편, 그리고 가압(加壓)장치로 구성 하였다. 변형전과 변형후의 차로써 나타나게 되는 간섭무늬를 얻기위해 시편으로 사용되는 압력용기는 내부에 입력을 가함으로써 변형을 주었고 입력에 의해 크랙이 존재하는 부위의 급격한 변형이 발생할 수 있도록 함으로써 결함이 검출 되도록 하였다. Fig 2는 입력용기 실험대상체의 형상을 나타냈고 Fig 3은 실험장치를 보여주고 있다. 실험은 압력용기의 전단량에 대해 수행하여 결함부 위치를 확인한뒤, 결함부를 확대 촬영하여 측정 하였다

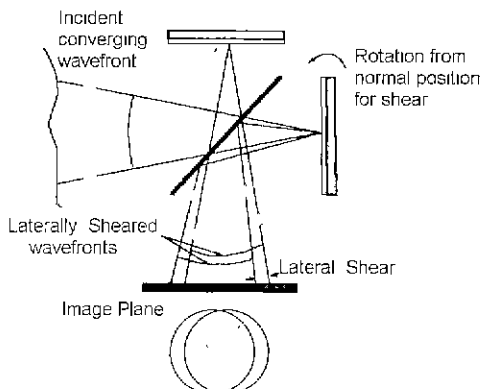


Fig 1 Schematic diagram of a digital shearography

압력용기는 볼트체결을 통해 압력용기 가이드를 광학 정반위에 완전 고정하였다. 또한, 질소가스 탱크와 압력용기는 동파이프로 연결하여 내압(耐壓)을 부가하였다. 본 실험에서는 결함깊이 2mm, 3mm 일 때, 압력차를 10kgf/cm², 20kgf/cm², 30kgf/cm², 40kgf/cm²으로 하였다. 그리고, 전단간섭계의 전단량은 좌우(수평)로 5mm~20mm까지 부여 하였다.

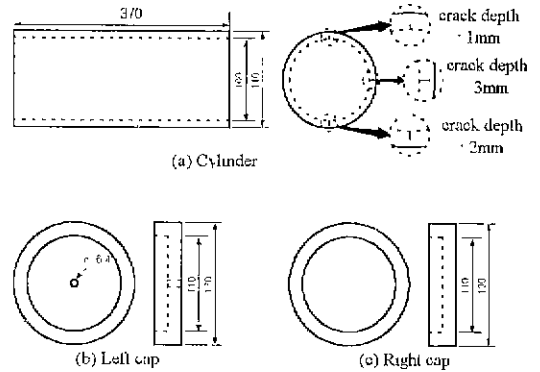


Fig. 2 Shape and crack position at pressure vessel

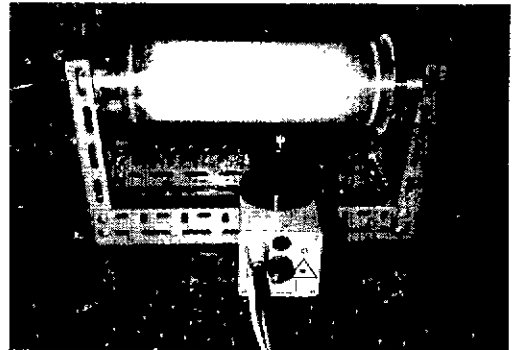


Fig. 3 Schematic of experiment system

4. 해석결과

4.1 전단량에 따른 결함깊이 해석

본 실험의 대상체인 압력용기의 Crack 크기는 압력용기의 중심에 위치하며 90° 씩 원주방향으로 깊이는 1mm, 2mm, 3mm로 다르며, 폭(1mm)과 길이(12mm)는 같은 축방향 크랙이 존재한다 Fig. 4와 Fig 5는 압력용기에 발생한 결함깊이별(2mm/3mm)로 전단량과 내부압력에 따른 결함깊이별 검출결과를 그래프화 한 것이다 실험결과 전단량이 10mm, 12mm이고, 내부압력이 20kgf/cm² 일 때 결함깊이와 가장 근사하게 검출됨을 확인할 수 있었다.

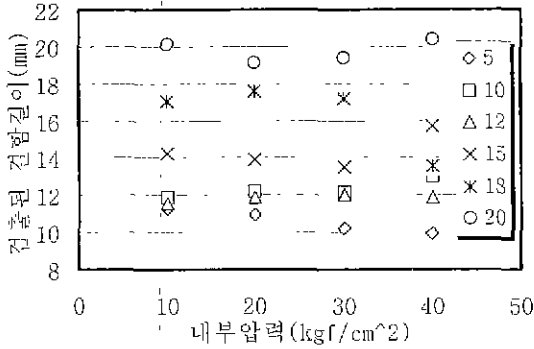


Fig 4 Determination of crack length under shearing quantity and pressure (crack depth 2mm)

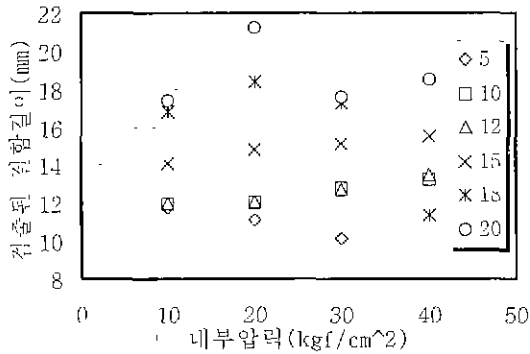


Fig 5 Determination of crack length under shearing quantity and pressure (crack depth:3mm)

4.2 전단량에 따른 줄무늬 민감도 해석

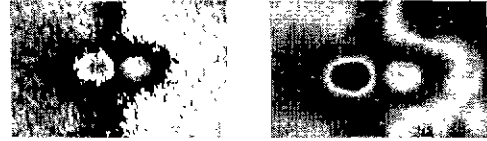
Fig. 6은 실험을 통해 얻은 결과를 결함깊이가 2mm, 내부압력이 20kgf/cm²일 때 전단량에 따른 Phase map image와 2D 변형분포로서 나타낸 것이다. 전단량에 따른 간섭줄무늬의 민감도 해석결과 전단량이 10mm, 12mm일 때 가장 선명한 간섭줄무늬가 검출됨을 확인할 수 있었다. 전단량이 증가할수록 간섭줄무늬의 간격도 증가하고 실제 결함길이에 대한 오차율도 증가 하였다. 또한, 동일한 전단량에도 내부압력의 차에 따라 간섭 줄무늬의 선명도가 차이가 있음을 확인 해였다. 이것은 전단량 겹침에 있어서 전단량과 내부압력 변화가, 검출되는 전단량과 간섭 줄무늬의 선명도에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.



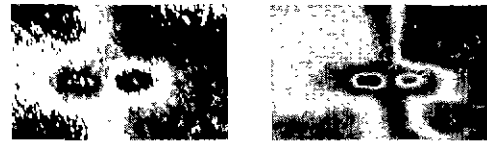
(a) Shearing quantity, 5mm



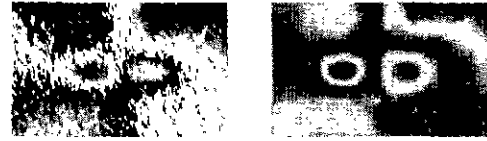
(b) Shearing quantity, 10mm



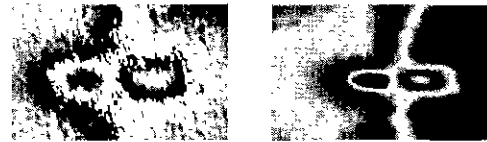
(c) Shearing quantity, 12mm



(d) Shearing quantity, 15mm



(e) Shearing quantity, 18mm



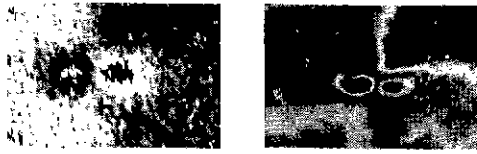
(f) Shearing quantity, 20mm

Fig 6 Show the fringe pattern (crack depth=2mm)

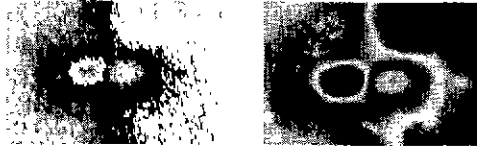
Fig 7은 결함깊이가 3mm이고 내부압력이 20kgf/cm²일 때 전단량에 따른 Phase map image와 Phase unwrapped image(2D)로서 나타내었다. 결함깊이 2mm일 때와 유사하게 내부압력이 20kgf/cm²이며, 전단량이 10mm, 12mm일 때 줄무늬 패턴이 가장 선명함을 확인할 수 있었다.



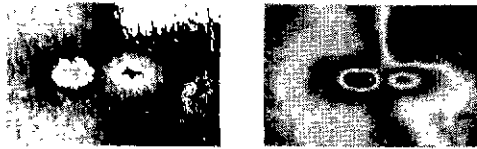
(a) Shearing quantity, 5mm



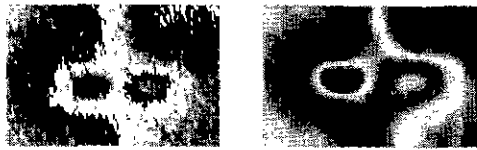
(b) Shearing quantity, 10mm



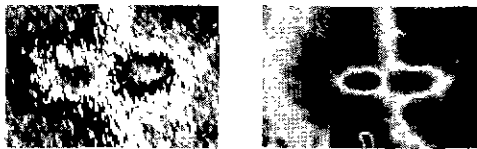
(c) Shearing quantity, 12mm



(d) Shearing quantity, 15mm



(e) Shearing quantity, 18mm



(f) Shearing quantity, 20mm

Fig 7 Show the fringe pattern (crack depth=3mm)

Fig 8은 결함깊이 3mm일 때 내부압력에 따른 간섭 줄무늬 선명도를 그래프화 했다. 각 내부압력의 조건에 따라 검출된 간섭줄무늬의 선명도를 1~10까지 등급화 한 것이다 그래프 분포에서 알 수 있듯이 전단량 10mm, 12mm일 때 그리고, 내부압력이 20kgf/cm²일 때 간섭 줄무늬가 가장 선명함을 알 수 있었다 결함깊이 2mm인 경우의 실험에서도 전단량 10mm, 12mm이며 내부압력이 20kgf/cm²일 때 간섭 줄무늬가 가장 선명함을 확인할 수 있었다.

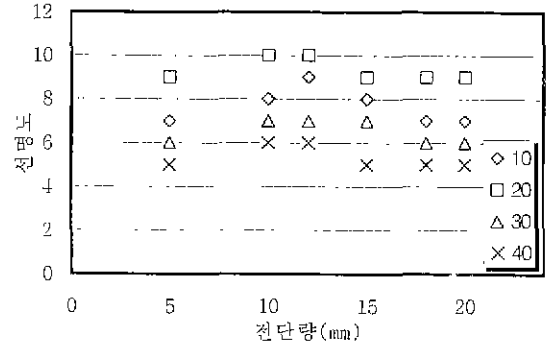


Fig 8 Fringe sensitivity analysis under inside pressure at crack depth 3mm

5. 결론

1) Digital shearography를 이용하여 기존의 비파괴 검사 방법들에 비해 비접촉식이며 실시간 모니터링으로 결함의 위치를 파악할 수 있었으며, Shearing량과 내부압력 변화가 크랙위치의 선명도와 결함길이 검출에 영향을 줌을 확인 하였다

2) 내부결함 길이가 12mm인 압력용기에서 전단량이 12mm, 내부압력이 20kgf/cm²일 때 정확한 결함길이를 검출할 수 있었고, 간섭줄무늬도 선명하였다.

3) Digital shearography를 이용한 내부결함 검출에 있어 기존의 정성적인 분석에서 벗어나 정량적해석의 가능성을 실험적으로 제시하였으나, 다양한 종류의 결함 및 실험조건등에 대해 Database화 한다면 보다 정확한 정량적 해석이 가능할 것으로 사료된다

후기

본 논문은 국가지정연구실사업 지원에 의해서 수행되었고, 이에 관계자 분들께 감사드립니다

참고문헌

- 1 Vest, C M. "Holographic Interferometry". Jhon Wiley and Sons, 1979
- 2 W Steinchen, I. Yang, G Kupfer and P Mackel. "Non-destructive testing of aerospace composite materials using digital shearography". Proc Instn Mech Engrs, Vol 212, Part G, pp 21~30, 1998
3. Andreas Etmeyer. "Laser shearography for inspection of pipelines". Nuclear Engineering and Design 160, pp. 237~240, 1996