

# 전자 전단 간섭계를 이용한 압력용기 내부결함 측정

( Laser shearography for inspection of pipeline )

장혁수\*, 함선일\*\*, 장석원\*\*, 장경영\*\*\*

\* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과

\*\* 대우전자 품질신뢰성 연구소 기반계측 기술 연구팀

\*\*\* 한양대학교 기계공학부



한양대학교 지능 계측 및 비파괴 평가 연구실

## 연구배경 및 목적

### ↓ 연구배경 :

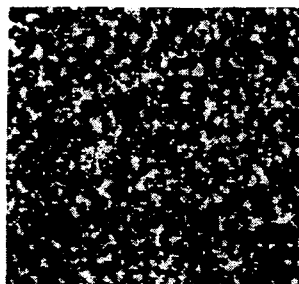
- ▶ 고부가, 고정밀도를 가진 제품이 요구되면서 제품의 신뢰성 평가에 관심이 증가하고 있다.
- ▶ 레이저를 이용한 광 계측법은 비접촉으로 정밀한 계측 및 실시간 가시화된 측정이 가능하기 때문에 제품에 대한 신뢰성 평가에 응용될 수 있다.
- ▶ 현재는 홀로그래피 간섭법(Holographic Interferometry : HI)에서 발전한 전자 스펙클 패턴 간섭계(ESPI), 전자 전단 간섭계(Shearography)와 같은 기술이 활발히 연구되고 산업현장에서도 적용되고 있다.

### ↓ 연구목적 :

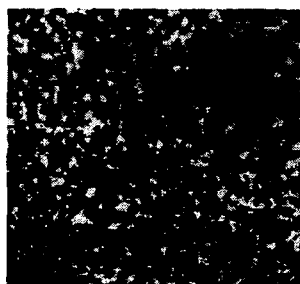
shearography를 이용한 압력용기의 내부결함 정량평가



# 스페클 간섭무늬의 형성

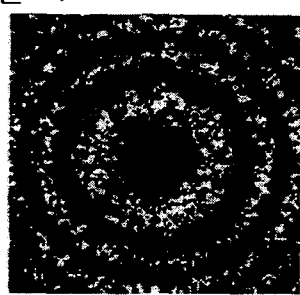


변형전 스페클 패턴 ( $I_{before}$ )



변형후 스페클 패턴 ( $I_{after}$ )

=



프린지 패턴 ( $I$ )



한양대학교 지능 계측 및 비파괴 평가 연구실

↙ 변형전과 변형후의 스페클의 강도

$$I_{before} = I_r + I_o + 2\sqrt{I_r I_o} \cos\phi$$

$$I_{after} = I_r + I_o + 2\sqrt{I_r I_o} \cos\phi'$$

$I_r$  : Reference beam intensity  
 $I_o$  : Object beam intensity  
 $\phi$  : Relative phase between the two interfering light waves  
 $\phi'$  : Phase change due to the deformation

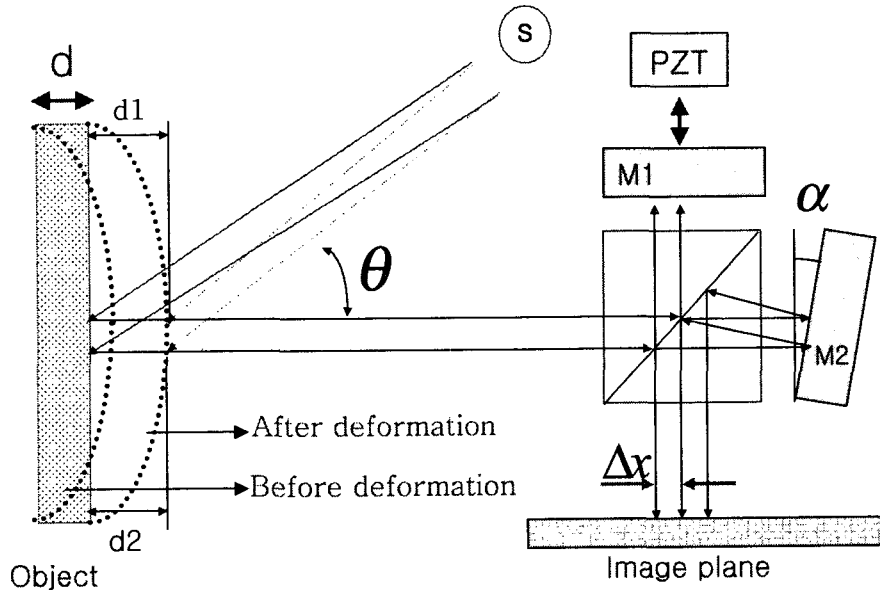
↘ 변형전, 후의 스페클 강도의 차감에 의한 간섭무늬 형성 효과

$$\begin{aligned} I &= |(I_{before} - I_{after})| \\ &= 2\sqrt{I_r I_o} |\cos\phi - \cos(\phi - \Delta\phi)| \\ &= 4\sqrt{I_r I_o} \left| \sin\left(\phi + \frac{1}{2}\Delta\phi\right) \sin\left(\frac{1}{2}\Delta\phi\right) \right| \end{aligned}$$

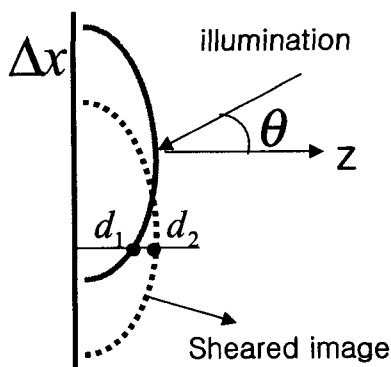
$$\begin{cases} I_{max} = 4\sqrt{I_r I_o} & \Delta\phi = (2n + 1)\pi \\ I_{min} = 0 & \Delta\phi = 2n\pi \end{cases}$$



## Shearography시스템의 개략도



## Shearography에서의 면외변위 측정



$$\Delta\phi = K \cdot L$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (1 + \cos\theta)(d_1 - d_2)$$

$$\Delta d = d_1 - d_2 \approx \frac{\partial d}{\partial x} (\Delta x) \quad \text{by Taylor series}$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (1 + \cos\theta) (\Delta x) \frac{\partial d}{\partial x}$$

$d_1$  : superimposed point on original image

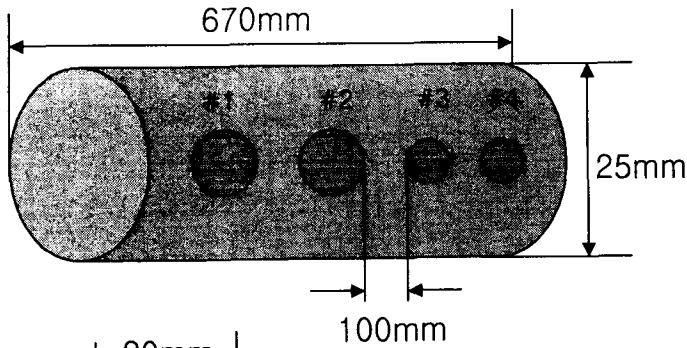
$d_2$  : superimposed point on sheared image

$\theta$  : the angle of illumination to surface normal

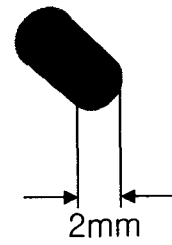
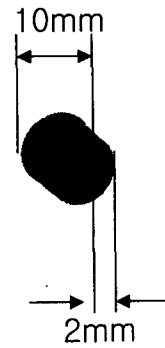
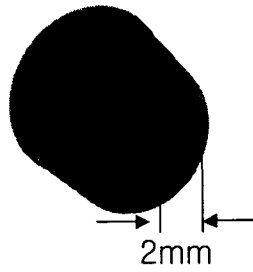
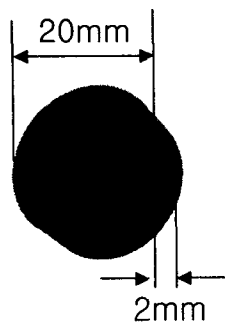
$\Delta x$  : shearing amount



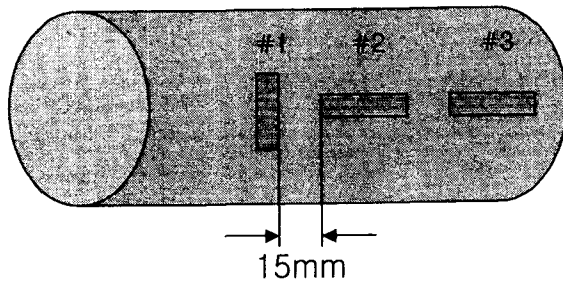
# 시편



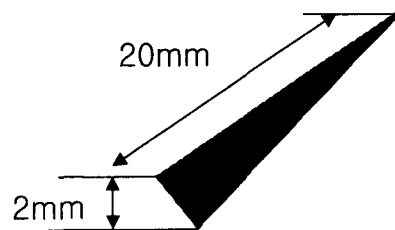
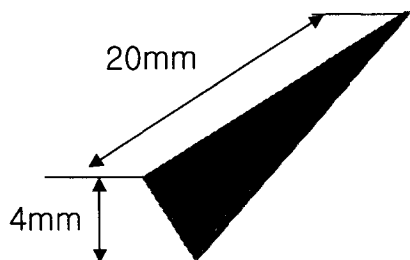
Pipe의 내부에 원형으로 파낸 인위적인 결함



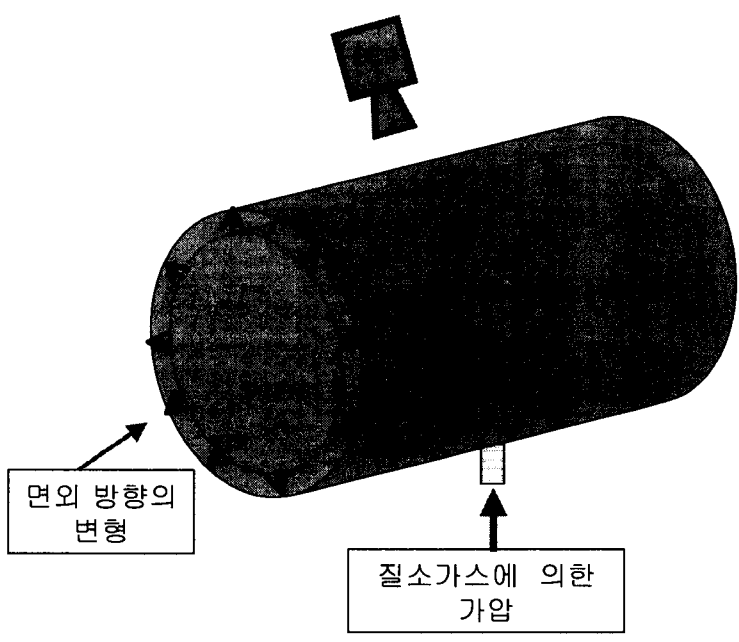
# 시편



Pipe의 내부에 노치형으로 파낸 인위적인 결함

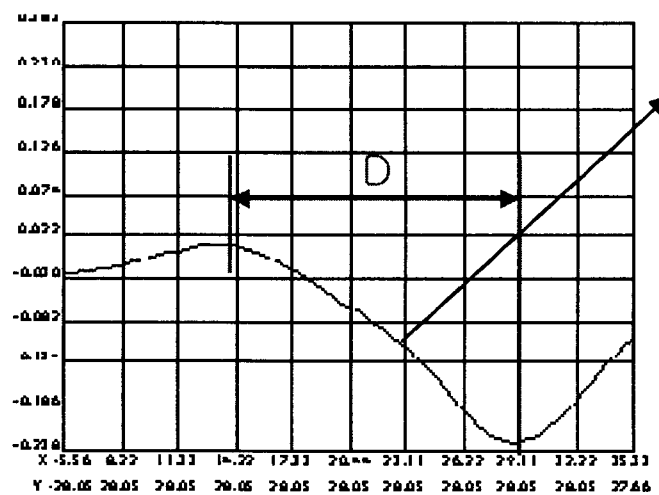


## 결함시편에 하중 부가 방법



↓ Pipe를 고정한 후 결함이 있는 Pipe속에 질소가스를 주입하는 압력하중을 가하여 면외방향으로 변형이 일어나도록 한다.

## 실제 단면에서의 결함크기 측정



↓ 결함 부위의 x축 단면도

↓ 단면도(Profile)에서 최대값과 최소값 사이의 x좌표 차를 결함 크기로 산출

The detection of defect size in Shearography(0.3 thickness, 15mm)

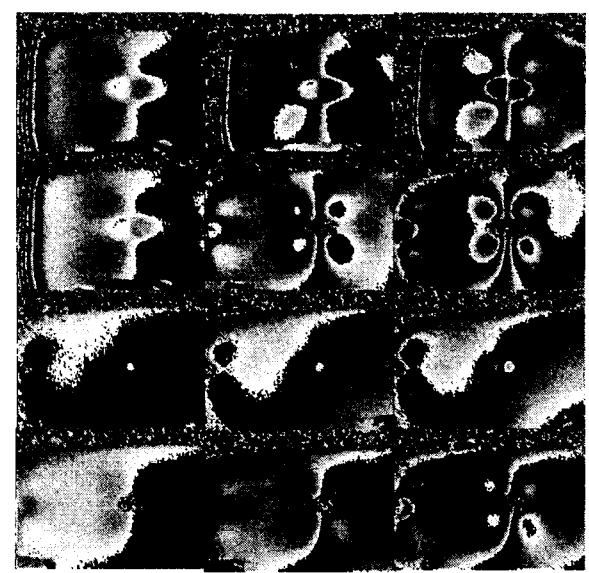
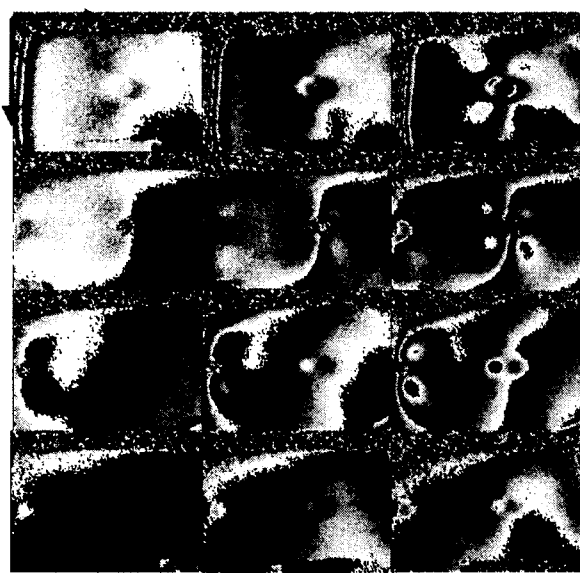
## 원형 결함에서의 프린지 패턴

↙ 원형-shear 1cm

↙ 원형-shear 2cm

압력(1kgf, 2kgf, 3kgf)

결함순서



한양대학교 지능 계측 및 비파괴 평가 연구실

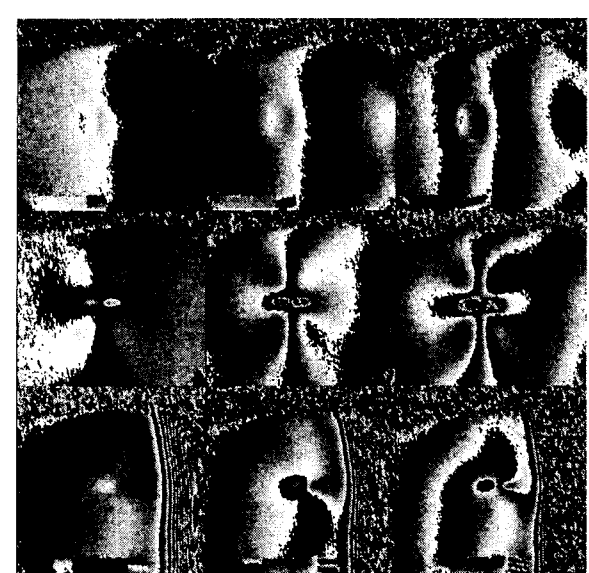
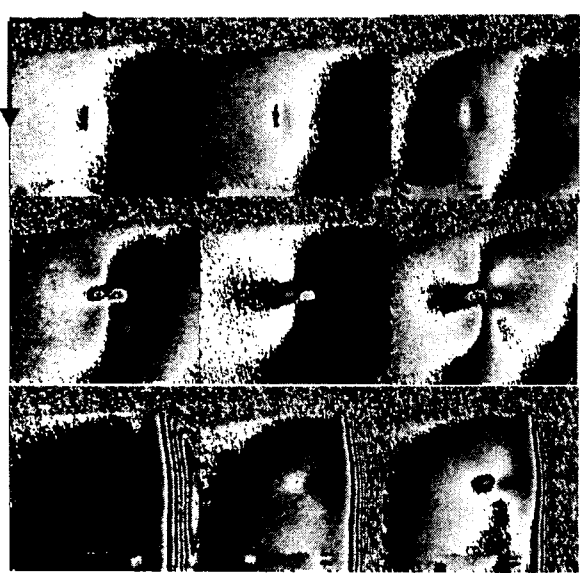
## 노치 결함에서의 프린지 패턴

↙ 노치-shear 1cm

↙ 노치-shear 2cm

압력(1kgf, 2kgf, 3kgf)

결함순서

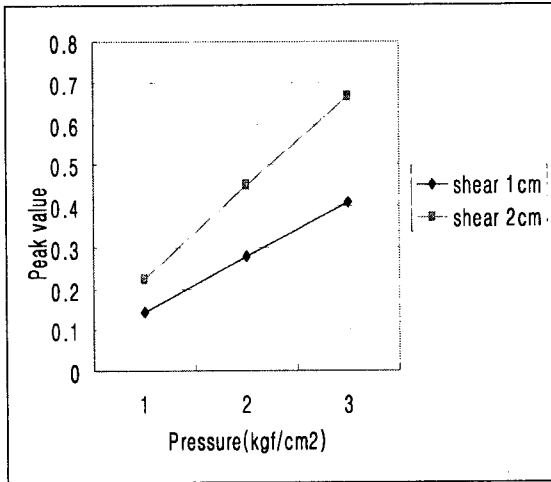


한양대학교 지능 계측 및 비파괴 평가 연구실

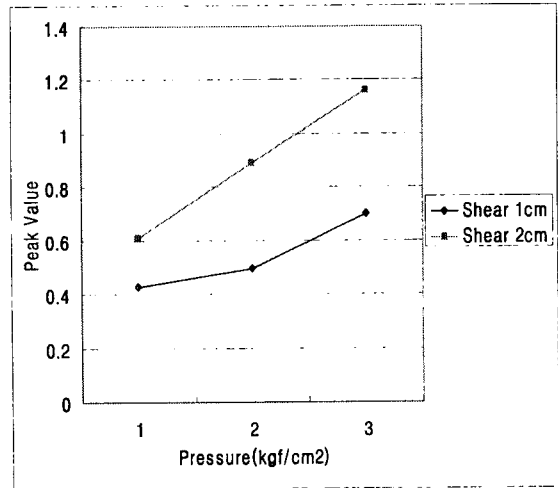
## 원형 결함에 대한 분석 결과

Shear 양 및 압력 변화에 따른 shearography 특성 변화

결함1



결함2

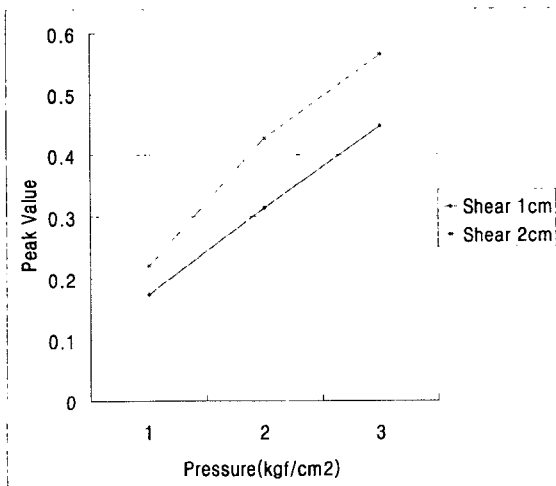


한양대학교 지능 계측 및 비파괴 평가 연구실

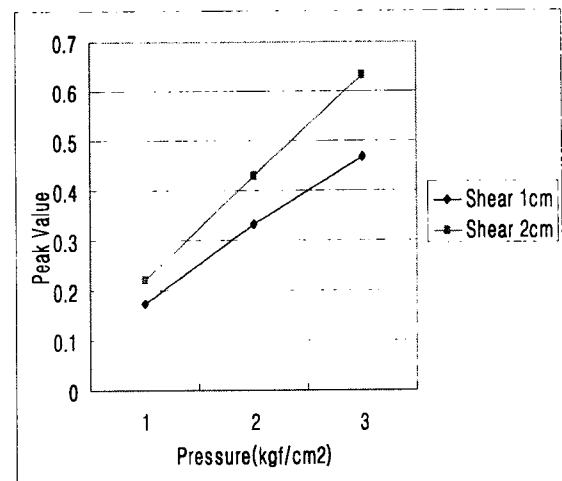
## 원형 결함에 대한 분석 결과

Shear 양 및 압력 변화에 따른 shearography 특성 변화

결함3



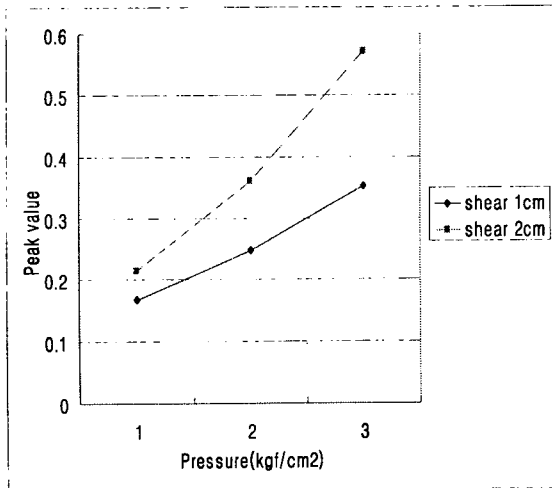
결함4



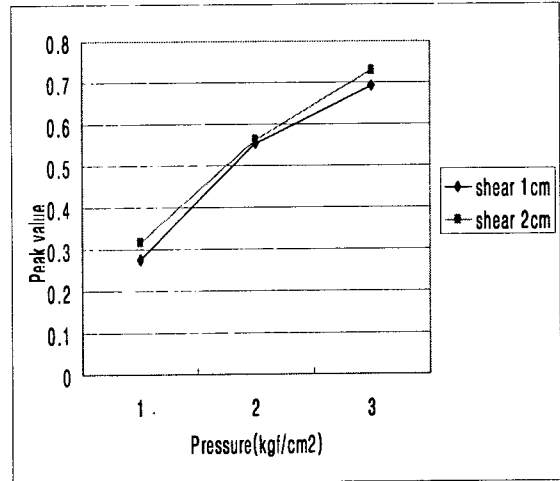
## 노치 결함에 대한 분석 결과

↓ Shear 양 및 압력변화에 따른 shearography 특성변화

↓ 결함1



↓ 결함2

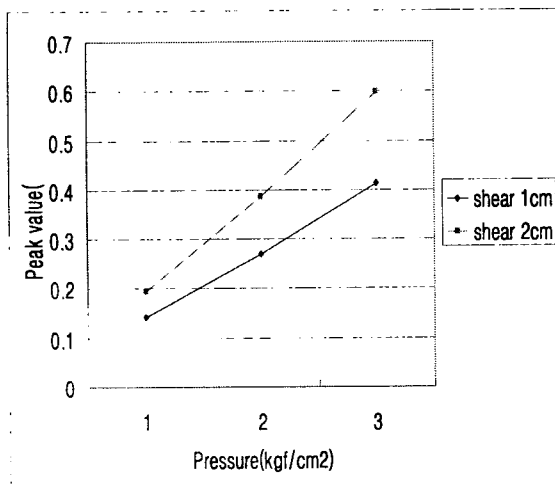


한양대학교 지능 계측 및 비파괴 평가 연구실

## 노치 결함에 대한 분석 결과

↓ Shear 양 및 압력변화에 따른 shearography 특성변화

↓ 결함3





## 결론

↓ 본 연구를 통하여 Shearography으로 압력용기에 위치한 직경 20mm, 깊이 2mm 이상의 원형과 노치 결함이 검출 가능함을 확인하였고, 결함크기를 정량화 하였다.

↓ 전단량을 클수록, 민감도가 커져 Peak value의 기울기가 커지고, 결함의 크기와 전단량의 크기가 일치할 경우가 가장 정확한 결함 정량화를 할 수 있었다.

↓ 결함이 직선의 형태에만 적용하였고, 부식등의 복잡한 형태의 결함에 대한 정량화에 대해서는 보다 많은 연구가 필요 할 것으로 사료된다.

