

와전류탐상과 유한요소해석을 이용한 Carbon/epoxy 튜브의 결함 평가

김철웅*(고려대 공학기술연구소), 이정순, 엄태건, 송일, 구상모(세안기술(주))

주제어 : 와전류탐상(Eddy Current Testing, ECT), 탄소/에폭시 튜브(Carbon/epoxy Tube), 유한요소 해석(Finite Element Method, FEM), 층간응력분포(Interlaminar Stress Distribution), 원공결함(Hole Defect), 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio, S/N), 투자율(Permeability, μ)

Carbon/epoxy는 기존의 금속재료에 비해 피로강도 및 기계적 특성이 매우 우수하다. 따라서 최근 튜브형태의 Carbon/epoxy 활용방안이 부각되고 있다. 그러나 Carbon/epoxy는 탄소재료의 특성상 고압, 충격 및 부식에 매우 취약하다. 또한, 장기간 고압피로 및 크리프에 노출될 경우, 금속재료에서는 관찰할 수 없는 층간분리(delamination)가 발생된다. 이러한 층간분리는 섬유방향과 평행하게 진전될 때 급격한 파손을 야기하므로 층간분리에 대한 메커니즘을 이해하고 그 방지책을 강구하는 것은 매우 중요하다. 최근 본 연구 그룹에서는 그 동안 불가능하다고 여겨졌던 와전류 탐상법(Eddy Current Test, ECT)을 이용한 Carbon/epoxy의 결함 검출을 성공적으로 수행한 바 있다. 그 결과, 노치형상 변화 및 결함의 깊이 변화에 따른 와전류 신호 체계를 정량적으로 평가할 수 있었고, 초음파 C-스캔 3차원 영상정보 해석도 가능하게 되었다. 구체적으로 살펴보면, 1) 저주파영역은 신호대 잡음비(S/N)가 낮아 결함검출이 불가능하였지만 고주파영역은 결함검출이 가능하였고, 특히 300 kHz에서 최적의 결함검출이 가능했다. 2) 결함의 깊이가 깊을수록 위상각은 저하하고 와전류 진폭은 증가하였다. 따라서, Fig. 1에 제시한 바와 같이 결함 깊이가 두께대비 40 % 이상일 때부터 3차원 C-스캔 결함 검출이 가능하였다. 3) Carbon/epoxy의 강한 이방성과 자기벡터 포텐셜(Magnetic vector potential)의 영향으로 원주방향 결함은 다소 왜곡되게 나타났다. 이상의 연구결과는 무부하 시 적용된 결과이다. 따라서, Carbon/epoxy의 부하에 의한 결함부 거동변화와 그에 따른 와전류 신호 변화 관계를 평가해야한다. 본 연구에서는 Fig. 2에 제시한 유한요소 모델을 이용하여 부하에 의한 층간응력 및 잔류응력의 분포와 와전류 신호의 변화에 대한 평가를 수행하였다. 세부적인 연구내용은 다음과 같다. i) Carbon/epoxy 튜브의 결함깊이에 따른 응력분포의 유한요소해석. ii) 결함 깊이에 따른 균열 및 층간분리의 거동. iii) 균열 및 층간분리의 성장과 와전류 신호의 관계 해석 등이다. 연구결과, 부하이후 결함부의 균열 및 층간분리 발생이 와전류 신호에 지대한 영향을 미쳐서 결함깊이에 대한 와전류 신호의 영향은 상대적으로 극히 미비하게 나타났고, 층간분리의 형상 및 크기가 와전류 신호에 크게 영향을 미쳤다. 또한, 층간분리 영역의 와전류 탐상은 무부하 시와 달리 300 kHz보다 더욱 높은 주파수 영역에서 검사가 가능했다. 그 이유는 부하에 의한 결함부의 층간응력 및 잔류응력의 변화가 층간분리의 성장방향, 크기 등에 영향을 미쳐 탐촉부 매질의 투자율(μ)이 변화했기 때문이라고 생각된다.

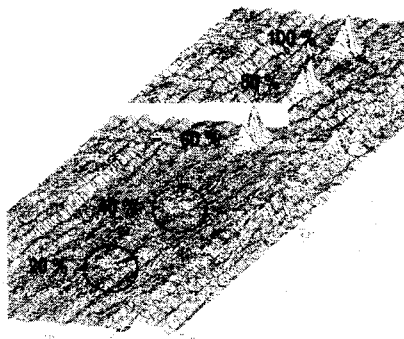


Fig. 1 ECT 3D-signal in Carbon/epoxy tube containing a hole defects

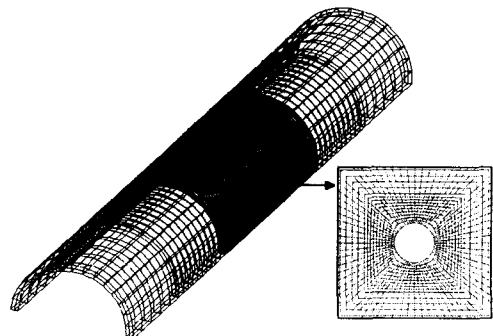


Fig. 2 Finite element model of carbon/epoxy tube containing a hole defect