

논문 2009-46SP-1-8

산업용 CR영상의 방사선 강도에 따른 잡음특성과 기하학적 구도형성의 해석적 접근

(Analytical Approach for the Noise Properties and Geometric Scheme
of Industrial CR Images according to Radiation Intensity)

황 중 원*, 황 재 호**, 박 상 기***

(JungWon Hwang, JaeHo Hwang, and SangKi Park)

요 약

산업용 강판튜브 CR영상의 잡음특성과 기하학적 구조에 관한 해석적 접근을 시도한다. 산업현장에서 방사선 측정실험으로 직접 취득한 방사선영상을 방사선강도에 따라 30(개) 이상의 샘플을 수집하였다. 이들 각 영상은 배경부, 두께부 및 튜브내부의 세 영역으로 구성되었으나, 그 가운데 튜브내부영역을 분석 대상으로 삼았다. 통계적이고 함수적인 방법론에 의해 잡음특성을 포함한 기하학적 구조를 분석한다. 영상을 구성하는 화소라인별로 또는 공간적으로 분석을 수행하여 강판튜브의 기하학적 원형 형태가 방사선영상화 과정을 거치면서 일어나는 변형과 잡음속성 변화의 두 가지 특성을 규명한다. 분석시 부합함수와 그 오차를 기하학적 변형의 판별인자로, 표준편차, 평균 및 SN비를 잡음특성 판별인자로 설정하고 방사선투과정도의 영상에서의 실현인 회색도 변화에 따른 이들 인자들의 변화를 고찰하였다. 분석결과, 본래의 원형 구조가 방사선투과 강도에 따라 타원형에서 저반경 원형 그리고 고반경원형의 점차적인 구조 변형을 일으킨다는 사실을 밝혔고, 잡음의 편차가 투과강도에 반비례함을 규명하였다.

Abstract

In this paper we investigate an analytical approach for noise properties and geometric structure in Computed Radiography(CR) images of industrial steel-tubes. Over thirty diverse radiographic images are sampled from industrial radiography measurements according to radiation intensity. Each image consists of three regions; background, thickness and inner-tube. Among these the region of inner-tube is selected for the object of analysis. Geometric structure which includes the noise generation is analyzed by the statistical and functional methodology. The analysis is carried on specially and line by line. It verifies the geometrical transfigure from the circle configuration of steel-tube and noise variation. The estimation of fitting function and its error are the geometric factors. The statistics such as standard deviation, mean and signal-to-noise ratio are noise parameters for discrimination. These factors are considered under the intensity variation which is the penetrative strength of radiation. The analysing results show that the original geometry of circle is preserved in the form of elliptic or short/long diameter circle, and the noise deviation has increased inverse proportional to the radiation intensity.

Keywords : Radiography, CR image, Geometric Scheme, Noise, Steel-tube

* 학생회원, 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과
(Dept. of Electronics Computer Engin., Hanyang University)

** 정회원, 한밭대학교 전자공학과
(Dept. of Electronic Engin., Hanbat National University)

*** 정회원, 한전전력연구원 원자력발전연구소
(Nuclear Power Lab., KEPRI)

접수일자: 2008년4월2일, 수정완료일: 2008년12월29일

I. 서 론

산업계의 비파괴분야에 방사선 영상 취득 기술이 도입된 이래 종래의 필름 감광 방식에서 최근에는 컴퓨터와 연계한 DR(direct radiography)에 이어 CR(computed radiography)방식이 점차 확대 보급되고 있

다. CR방식은 기존의 필름이나 DR 방식에 비해 보다 선형적이고 선명한 영상을 얻을 수 있다는 장점과 함께 영상 취득의 편의성과 간편함 및 이동측정의 용이성, 영상판 크기의 임의 조정과 유연함 그리고 방사선 노출 시간 단축 면에서 효과가 높다^{1~2)}.

방사선 선원으로부터 방출된 방사선이 대상체 매질을 투과한 결과가 그 이면에 위치한 영상판에 검출되어 방사선 영상을 생성한다. 영상화하는 과정에서 방사선 산란에 의한 잡음이 발생하고 비어의 법칙(Beer's law)^{3,4)}과 역자승법칙(inverse square law)⁵⁾에 의해 매질의 두께, 밀도 및 흡수상수 차이에 기인하는 비선형 왜곡이 나타난다. 방사선 흡수와 투과의 일련의 처리 과정에서 매질 내면과 기하학적 구도가 영상에 반영되지만 대상체의 원형이 완벽하게 재연되는 것은 아니다. 대상체 본래 기하학적 형태의 비선형 왜곡과 잡음 혼합은 방사선 영상으로부터 필요한 정보를 정량적으로 취득하는 제약이다. 더욱이 산업현장에서는 보다 선명한 영상 자료를 얻기 위해 방사선 조사(照射) 에너지를 임의 변경하여 측정하기 때문에 일정한 회색도 레벨에 맞추기 보다는 서로 다른 여러 회색도의 영상을 취득하는 예가 매우 흔하다. 관측영상이 전체적으로 밝고 어두운 것은 매질에의 방사선 투과 정도와 관련이 있다. 어두운 영상은 투과정도가 강한 것이고 밝은 것은 상대적으로 약한 경우이다. 문제는 방사선 투과 정도에 따른 영상 잡음의 생성정도와 비선형 왜곡을 고려하지 않은 채 필요한 특정부위의 내부 상태를 단지 정성적으로 관측하려고 치중한다는데 있다. 특히 산업현장 비파괴시험의 주 대상인 강관튜브의 경우 플랜트 건설시 2만에서 6만장에 이르는 엄청난 분량의 용접 방사선 영상들은 용접부위에서의 용접상태 관측에 따른 양/불량 판정에 만 관심이 집중되어 있다.

이는 종래의 필름감광방식이나 그 후에 개발된 DR과 CR방식에서도 마찬가지이다. 보다 선명한 영상취득이라는 목적 하에 CR방식의 산업 현장에의 적용기술이 장치개발 업체를 중심으로 고안되고 있고 기존의 영상처리 기술 일부가 소프트웨어화 되어 컴퓨터 제어 장치에 탑재되어 있으나 그 대부분은 해상도 향상이나 선명도 및 영상향상에 주력하고 있다^{6~8)}. 고에너지 방사선을 취급하는 산업현장 방사선 영상생성에 관한 기초적이고 학술적인 연구와 분석 및 영상처리 기법과 알고리즘 개발이 시급한 실정이다. 일부 장치개발 업체가 제시하는 자체 성능시험 보고서 정도로는 관측영상으로부터

필요한 정보를 정량적으로 추출하는데 한계가 있다. 단순한 측정 보조 수단 제공이나 영상의 선명도 향상이나 해상도 증가로는 용접 방사선 영상의 시각적 감지효과를 높이는 데는 기여하는 바가 없지 않으나 영상처리 기술 본래의 영상복원에 따른 원영상 내지는 원 대상체의 구체적 정보취득 목적에는 미치지 못한다.

본 연구는 방사선 측정 대상체의 기하학적 구도와 형태가 측정 방식과 방사선 투과와 검출 과정을 거쳐 영상화 되면서 발생하는 기하학적 변형과 그에 따른 잡음 특성을 고찰한다. 방사선 측정장치로는 현재 산업현장에 보급되고 있는 CR장비를 사용하고 강관튜브를 대상으로 선정한다. 측정실험용 방사선 영상취득장치로는 일본 후지사의 FCR XG-1 NDT를 사용한다. 실제 현장에서 측정을 통해 강관튜브 방사선 영상을 취득하고 유형별로 분류한 후 분석한다. 대상체에의 방사선 투과 정보에 대한 영상의 기하학적 변형과 잡음 특성을 통계적 기법과 기하학적 함수부합 및 오차 설정을 통해 해석적으로 접근하여 영상화에 따른 형태 변형 패턴과 잡음생성 양상을 규명하고자 한다.

II. CR 영상특성의 해석적 접근

강관튜브 CR방사선 영상 특성분석을 위해 산업현장에서 방사선영상 측정실험을 통해 영상을 취득하고 그 가운데 방사선투과 강도 범위에 걸쳐 그림 1(a)와 같은 서로 다른 유형의 영상 31(개)를 수집한다. 방사선영상은 방사선선원-대상체-영상판의 측정 메커니즘에 의해 내/외경의 원형구조가 그림 1(b)와 같은 세 영역으로

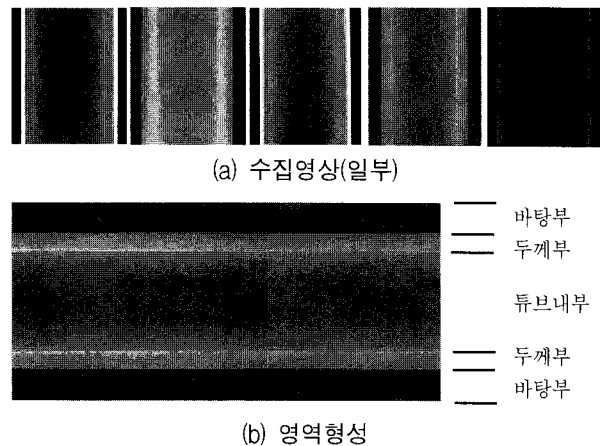


그림 1. 강관튜브 CR 방사선 영상과 영상의 영역형성
Fig. 1. Steel-tube CR radiographic images and regions.

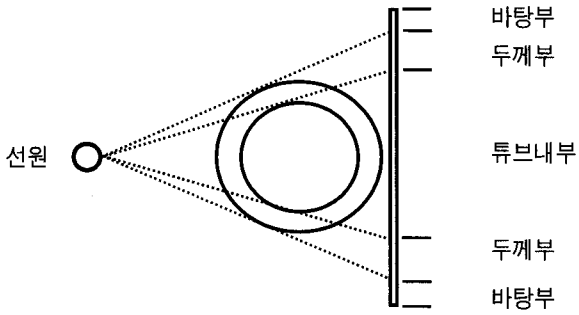


그림 2. 원형튜브 측정구조
Fig. 2. Measuring structure for circle tube.

투영된다. 최외곽의 방사선에 전량 노출되는 바탕부, 강판튜브 영상이 위치한 바깥 밝은 부분의 두께부, 그리고 양편의 두께부 사이에 위치한 튜브내부로 구분한다.

이들 영역들에는 방사선 선원으로부터 방출된 방사선이 그림 2에서와 같은 입사각과 기하학적 배치를 거치면서 반응한 매질 자체의 방사선 에너지 흡수와 투과 정도가 반영되어 있다. 그 가운데 방사선에 전량 노출되는 바탕부는 분석에서 제외한다. 다른 두 영역에 비해 밝기 정도가 큰 두께부는 방사선 입사에 따른 두께가 상승하는 부분으로 튜브의 두께 측정시는 간혹 사용하기는 하나^[9] 그 외의 다른 정보는 없으므로 영상으로서의 영역분석에서는 역시 고려하지 않는다. 비파괴 시험 목적의 방사선 영상은 튜브내부 영역이다. 이 부분은 용접과 비용접 구간으로 나누어지고 용접작업후 용접상태를 판별하기 위한 영상판독으로서의 역할과 비록 용접구간은 아니더라도 튜브내부의 균열, 침식, 부식 및 파열 등의 상태파악을 위한 영상정보를 제공한다.

영상의 튜브내부 영역은 그림 2에서와 같이 선원 및 검출 영상판에 근접한 양편의 원형 두께층이 자연공간을 통한 방사선 투과에 의해 중첩되는 부분으로 양편 원형두께층이 하나의 영상에 투영된다. 물리적으로는 비어의 법칙과 역자승법칙에 의한 매질 투과 전후 방사선량과의 관계에서 영상판의 감광정도를 예측하고 기하학적인 거리계산과 튜브두께부와와의 교차점 및 입사각을 비롯한 방사선 선원의 대상체와의 이격거리, 두께, 흡수상수와 밀도 그리고 영상판의 영상화 감도 등을 종합한 영상형상화를 고려할 수도 있으나 실제 산업 현장에서의 실측과는 거리가 있다. 일단은 역자승법칙의 전제인 점선원의 원칙이 지켜지지 않고 원형굴곡부에서의 두께 산출에 의한 비어의 법칙 적용에 한계가 있다. 또한 160(kV)를 상회하는 고에너지 방사선의 강도를 수시로

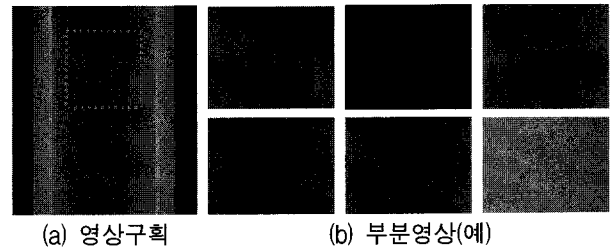


그림 3. 튜브내부 부분영상구획과 영상들
Fig. 3. Image capture for inner-tube region and samples.

조절하기 때문에 정확한 입사 방사선량 실측이 곤란하여 투과정도에 따른 영상에서의 기하학적 형태변화를 감지하는 것은 거의 불가능하다.

이와 같은 실측상 한계를 극복하고 방사선 투과에 따른 구도 변형과 잡음생성 특성을 규명하기 위해서는 이미 현장에서 실측된 영상에 대한 분석을 통해 해석적 결론을 이끌어내는 것이 방법론적으로 타당하다. 이를 위하여 앞에서 수집된 31(개) 영상으로 튜브내부 영역을 구획한 부분영상을 구성하고 방사선 투과 강도에 따라 분류한 후 해석적 접근을 시도한다. 그림 3은 구획 방식과 분석대상 부분영상들 가운데 일부 예를 보였다. 부분영상은 직경방향으로 구획추출 한다.

1. 기하학적 형태추정

튜브내부 부분 영상 $x_s, (x_s \in R^{n_1 \times n_2}, n_1: \text{길이방향}, n_2: \text{직경방향})$ 의 $x_i, (x_i \in R^{1 \times n_2}, \sum_{i=1}^{n_1} x_i = x_s)$ 에 다음 후보 함수들의 함수부합을 실시한다. x_i 은 거리 t 의 함수이다. 함수들 $f_1 \sim f_4$ 는 대상체인 원형튜브 원 형태의 방사선 투과에 의한 예측이다. 그 정확성은 실측분석에 의해 판정한다.

- i) $f_1(t) = a_1t^2 + b_1t + c_1$: 2 차 함수
- ii) $f_2(t) = a_2 \exp\left\{-\left(\frac{t-b_2}{c_2}\right)^2\right\}$: 가우스함수
- iii) $f_3(t) = \sqrt{c_3^2 - (t-a_3)^2} + b_3$: 원형함수
- iv) $f_4(t) = \sqrt{-\left(\frac{b_4}{a_4}\right)^2 t^2 + b_4^2}$: 타원함수

부합함수 $f_j(t), (j = 1, 2, 3, 4)$ 의 부합에 따른 $x_i(t)$ 와의 부합오차를 식 (1)과 (2)로 정의한다.

$$e_j = \frac{1}{n_2} \sum_{t=1}^{n_2} \{x_l(t) - f_j(t)\} \quad (1)$$

$$\gamma_j = 1 - \frac{\|X_l - F_j\|^2}{\|X_l - \mu_l\|^2} \quad (2)$$

여기서 X_l, F_j 는 $x_l(t)$ 와 $f_j(t)$ 의 행렬표현이고, $\mu_l = \text{mean}(X_l)$ 이다. e_j 는 오차합평균이고 γ_j 는 최소자승오차합(least square error summation)^[10]이다. e_j 와 γ_j 는 각각 $x_l(t)$ 에 대한 $f_j(t)$ 의 근사성(approximation)과 보간성(interpolation)을 가늠한다. $e_j \rightarrow 0$ 에서 $x_l(t)$ 의 그래프 형태가 $f_j(t)$ 의 함수궤적과 근사적으로 일치하고, $\gamma_j \rightarrow 1$ 에서 $f_j(t)$ 가 $x_l(t)$ 의 화소 값을 근소 오차로 보간추적한다. 방사선 영상과 같이 필연잡음이 혼합되는 경우 잡음 분포의 분산값 크기에 따라 e_j 와 γ_j 의 성향에 차이가 나타난다. $e_j \approx 0$ 일지라도 잡음 분산값이 상대적으로 크면 $\gamma_j \ll 1$ 일수도 있고, 분산값이 극히 작으면 $e_j \approx 0$ 와 $\gamma_j \approx 1$ 을 동시에 만족한다. $e_j \approx 0$ 을 만족하는 영상들에 대해 해당영상의 $\gamma_j \rightarrow 1$ 이면 잡음 분산값이 작고 $\gamma_j \ll 1$ 이면 잡음 분산값이 상대적으로 높을 수 있다. 그림 4는 $\{x_s\}$ 에 대한 함수부합을 실시하고 e_j 와 γ_j 를 산출한 결과이다. x_s 의 각 x_l 에 대해 함수부합을 하였으며 $\{e_j\}$ 와 $\{\gamma_j\}$ 의 평균을 그래프에 나타내었다. 함수부합은 5 차함수를 사용하였다. 앞에서 제시한 $f_1 \sim f_4$ 가 아닌 5 차함수를 사용한 이유는 방사선 투과정도가 서로 다르고 그 차이가 큰 부분영상 모두에 $e_j \approx 0$ 을 만족하는 함수가 $f_1 \sim f_4$ 가운데는 없기 때문이다. 원형튜브의 변형 패턴은 후술되는 실측분석에서 상론할 것이고, 여기서는 $e_j \approx 0$ 라는 공통성을 기준으로 그에 대한 γ_j 특성을 고찰한다. 실제로 5 차함수와 같은 3 차이상의 다차함수는 그 계수에 따라 다양한 그래프를 형성하기 때문에 원형튜브의

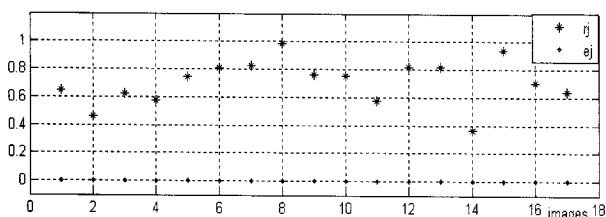


그림 4. 함수부합과 e_j, γ_j
 Fig. 4. Function fitting and e_j, γ_j .

기하학적 형태변화로 적합하지 않다.

그림 4의 실측분석에서 함수부합에 따라 γ_j 값에 차이가 있더라도 $e_j \approx 0$ 로 일정함을 알 수 있다.

수집된 튜브부분영상 x_s 의 각 x_l 에 $f_1 \sim f_4$ 의 함수부합을 실시하고 각 함수에 대한 부합오차 $\{e_j\}$ 와 $\{\gamma_j\}$ 의 통계치 $\{\mu_{e_j}, \mu_{\gamma_j}, \sigma_{e_j}, \sigma_{\gamma_j}\}$ 를 산출한다. 여기서 $\mu_{e_j}, \mu_{\gamma_j}$ 은 $\{e_j\}, \{\gamma_j\}$ 의 평균이고 σ_{e_j} 와 σ_{γ_j} 은 그 표준편차이다. x_s 의 기하학적 형태를 식(3)과 (4)의 조건에 의해 추정한다.

$$\text{조건 1: } \min[\mu_{e_j}] \text{ and } \max[\mu_{\gamma_j}], \quad j=1,2,3,4 \quad (3)$$

$$\text{조건 2: } \sigma_{e_j} \leq \alpha_1, \sigma_{\gamma_j} \leq \alpha_2, \alpha_1, \alpha_2 \ll 1 \quad (4)$$

매질에서의 방사선 투과정도는 영상에서의 회색도로 반영된다. 투과정도가 높으면 회색도 분포가 흑색부근의 낮은 회색도로 치우치고, 낮으면 백색부분의 높은 회색도로 기운다. x_s 의 평균 회색도를 x_{sm} , ($x_{sm} = \text{mean}[x_s]$)라 할 때, 각각의 후보영상 x_s 의 x_{sm} 에 대한 추정부합함수와의 관계 설정이 가능하다. 투과 정도에 따른 원형 튜브의 기하학적 변형을 유추한다. 후술하는 실측분석을 통해 이 사실을 규명한다.

2. 잡음특성

방사선 영상의 잡음은 선원에서 방사선 방출에 따른 매질에서의 흡수, 산란 및 통과에 의해 필연적으로 발생하며 강관튜브와 같은 고에너지 방사선 측정에서는 무한대에 가까운 방출광자량에 의해 가우스분포로 근접한다^[11]. 가우스 분포의 평균값 0에서 조건 1과 2를 만족하는 x_l 의 최적부합함수를 f_x , 부합오차를 e_x 라 할 때, $e_x \approx 0$ 에서 $n_l = x_l - f_x$ 가 그때의 잡음이다. 잡음 n_l 의 평균값 $\text{mean}(n_l) \approx 0$ 과 표준편차 σ_{n_l} 에 대하여 x_s 의 잡음 $n_x = \{n_l\}$ 에서의 표준편차 σ_{n_x} 를 산출할 수 있다. 그림 5는 튜브내부 부분영상에 함수부합을 실시하여 잡음을 추출하고 영상으로 구현한 예이다. 이때 잡음 영상의 평균값은 0이고 표준편차는 0.032이다. 그림 5(c)는 $n_x + 150$ 로 회색도를 조정하여 시각적 효과기 나도록 하였다.

수집된 튜브 부분영상 x_s 의 각 x_l 에 함수부합을 실시하여 잡음영상 n_x 를 구현하고, n_x 표준편차 σ_{n_x} 를 산출한 후 x_s 의 평균회색도 x_{sm} 과의 관계를 각각의

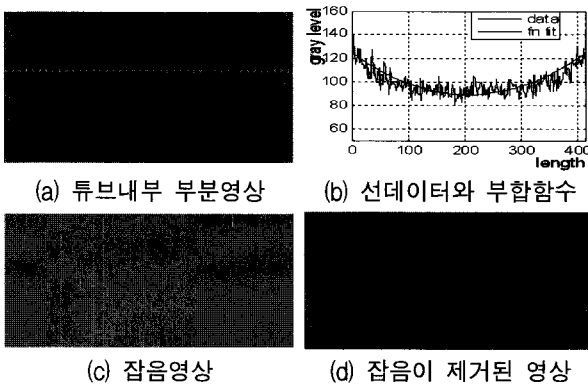


그림 5. 잡음영상 구현
Fig. 5. Implementation of noise image.

후보영상에 대하여 설정하면 방사선 투과정도에 대한 잡음 표준편차 변화추이의 추정이 가능하다. 후술하는 실측분석을 통해 사실을 규명한다.

III. 실측분석 결과와 고찰

1. 기하학적 형태추정

방사선 측정 실험으로 취득한 CR 영상들의 기하학적 형태추정을 다음의 단계별로 실시한다. x_s 의 평균 회색도 x_{sm} 은 45~209의 범위이다

단계 1: x_{sm} 의 변화에 따른 관찰

x_{sm} 이 45, 120, 170 인 세 샘플영상의 직경방향 선

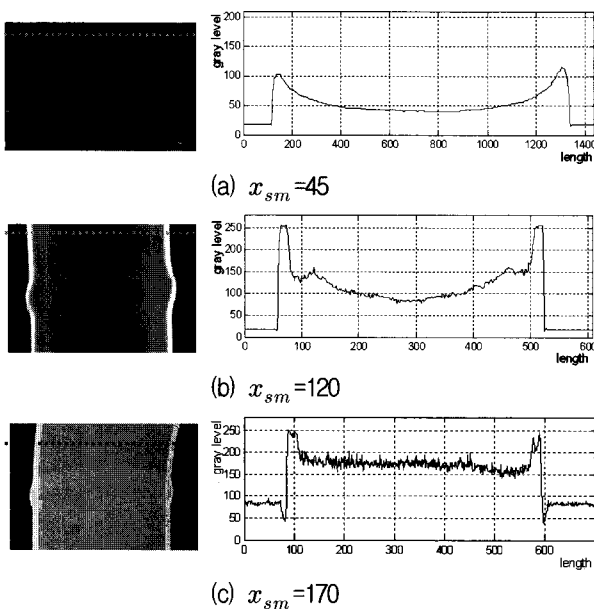


그림 6. x_{sm} 과 직경방향 선 데이터
Fig. 6. x_{sm} and line data of diameter direction.

데이터를 그림 6의 점선과 같이 수집하며 회색도 변화를 관찰한다.

[고찰] 시각적 관찰에 의해 x_{sm} 을 증가할수록 튜브 내부 원형의 방사선 영상에 형태변화가 발생하며 투과 강도가 큰 경우에는 거의 직선 형태로 변한다. 또한 x_{sm} 증가에 따라 잡음이 증가하고 있다.

단계 2 : 조건 1과 2를 만족하는 최적부함수 결정 튜브내부 부분영상 x_s 의 x_l 에 함수부합을 실시하고 최적부함수 형태를 추정한다. 그림 7은 함수부합을

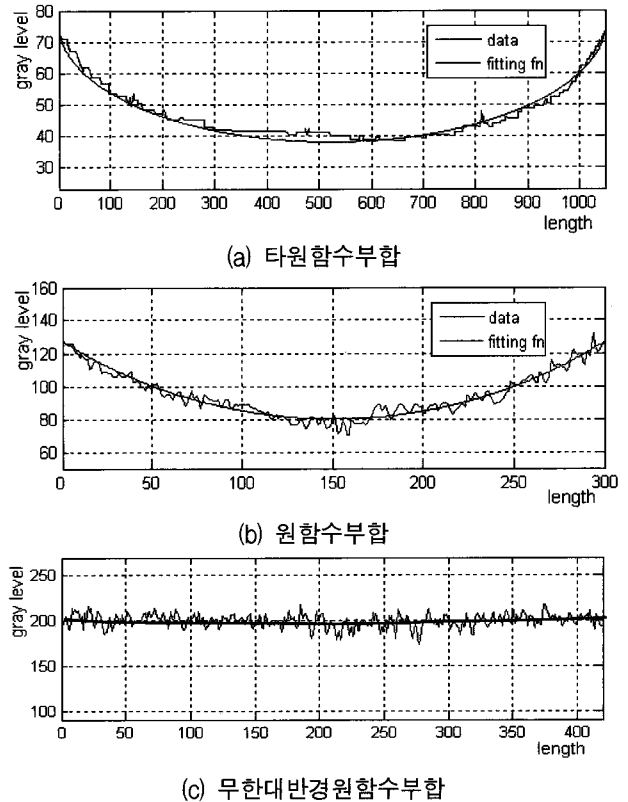


그림 7. 최적함수부합 실측 결과
Fig. 7. Result for measurement of optimal function fit.

표 1. 함수부합 분석결과
Table 1. Analysis result for function fit.

유 형	수치 데이터(단위 : 회색도)
(a) 타원함수부합	큰반경: 525, 작은반경: 38, $e_j: 0.013 \times 10^{-13}$, $\gamma_j: 0.962$
(b) 원함수부합	반경: 261, $e_j: 0.015 \times 10^{-13}$, $\gamma_j: 0.945$
(c) 무한대반경원함수부합	반경:무한대, $e_j: 0.12 \times 10^{-13}$, $\gamma_j: 0.931$

실시한 결과이다. 이때의 x_{sm} 은 각각 45, 120, 209로 하였다.

표 1은 그림 7의 함수부합의 수치분석 결과이다.

[고찰] x_{sm} 증가에 따라 원형인 튜브내부의 방사선 영상이 타원에서 원으로 다시 무한대반경의 원으로 기하학적 형태 변화가 발생한다.

단계 3 : 함수부합의 정확도 실측

x_{sm} 이 95~122 인 중간대역 투과강도인 부분영상 13(개)를 수집하여 각 영상으로부터 추출한 444(개)의 x_i 에 원함수 부합을 실시하고 e_j 를 산출한다. 그림 8은 그 결과이다.

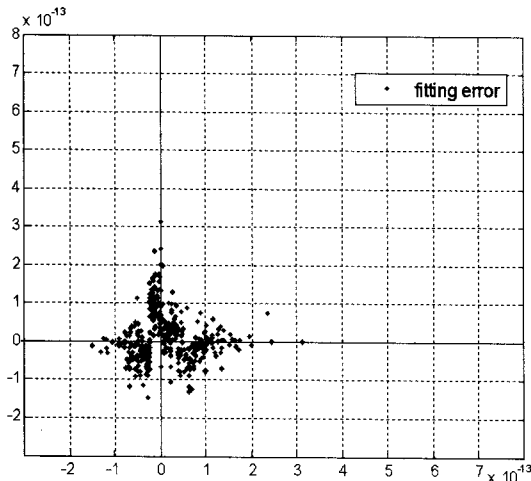
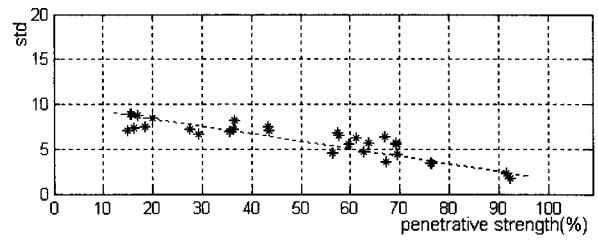


그림 8. 함수부합 오차 실측결과
Fig. 8. Results for function fitting error.

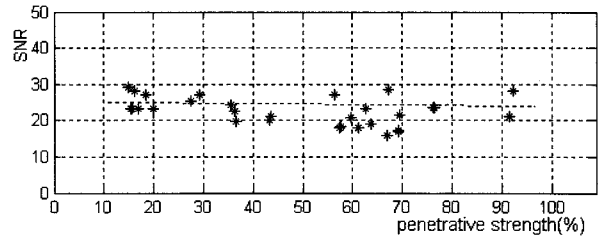
[고찰] 444(개)의 x_i 에 원함수부합을 실시해도 오차 e_j 가 0 에 근접하다는 사실은 해당 범위의 방사선 투과 강도의 튜브내부 방사선 영상에서 기하학적 원 형태가 보존되고 있음을 입증한다.

2. 잡음특성

제 II 장 2절에 제시한 방식대로 31(개)의 튜브내부 부분영상으로부터 잡음영상 $\{n_x\}$ 와 그 표준편차 $\{\sigma_{n_x}\}$ 를 산출하여 x_{sm} : 45~209 에서의 σ_{n_x} 와의 관계를 설정한다. 그림 9에 그 결과를 보였다. 여기서 $SNR=x_{sm}/\sigma_{n_x}$ 이다^[12].



(a) 투과력에 대한 잡음특성변화



(b) 투과력에 대한 SNR

그림 9. 잡음특성
Fig. 9. Noise properties.

[고찰] 방사선 투과강도가 증가할수록 잡음의 표준편차가 감소하는 경향을 보인다. 잡음발생률이 그만큼 감소함을 입증한다. 반면에 SNR에는 뚜렷한 변화가 없다. 그림 9의 결과 그래프가 다소 불규칙한 것은 강관 두께나 직경 및 재질 등을 고려하지 않고 산업 현장에서 강관튜브를 임의로 선정하여 방사선측정실험을 실시하였음에 기인한다.

IV. 결 론

고에너지 방사선 측정실험을 수행하는 산업현장의 강관튜브 방사선영상의 방사선 투과강도에 따른 기하학적 형태변화와 잡음특성을 실측과 해석적 접근으로 규명하였다. 분석 대상은 방사선영상의 튜브내부영역이다. 저/고 투과강도의 방사선영상을 산업현장에서 측정실험을 통해 수집 분류하고 튜브내부영역 부분영상으로 선별한 후 함수부합과 오차판별을 통해 투과강도 변화에 따른 최저오차에서의 최적부합함수를 추정하고 그 때의 잡음변화를 함께 분석하였다. 실측분석 결과, 방사선 투과강도가 감소함에 따라 본래 원형인 튜브의 기하학적 형태가 타원형에서 원형으로 또 다시 직선에 가까운 무한대반경원형으로 형태변화가 일어난다는 사실을 밝혀내었다. 또한 투과강도가 감소할수록 방사선영상 전체의 밝기가 증가하여 시각적 감지효과가 상승하는 것처럼 보이거나 사실은 잡음발생이 증가하고 원형의 형태보

준이 깨어져 오히려 정보추출에 장애가 된다.

따라서 강관튜브 CR 방사선영상으로부터 보다 정확한 영상정보 획득을 위해서는 원형형태를 보존하고 잡음레벨이 보다 낮은 최적의 투과강도에서 측정실험하기를 권한다. 그 최적의 투과강도 결정은 산업현장 실험과 측정환경에 따라 다를 것이다. 아울러 영상에서의 기하학적 변형과 해석적 결과를 근거로 한 본래 형태로의 영상복원과 잡음제거는 후속과제로 남긴다.

참고 문헌

- [1] R. J. Patei, "Digital applications of radiography," in *Proc. of 3rd MENDT*, Manama, Barain, Nov. 2005.
- [2] E. Deprins, "Computed radiography in NDT applications," in *Proc. of 16th WCNDT*, Montreal, Canada, Aug. 2004.
- [3] H. H. Barrett and W. Swindell, *Radiographic imaging*, Academic Press, 1981.
- [4] C. Melvin and K. Sbdel-Hadi, "A simulated comparison of turnstile and Poisson photons for X-ray imaging," in *Proc. of IEEE CCECE*, pp. 1165-1170, Manitoba, Canada, May 2002.
- [5] E. R. Williams, J. E. Faller and H. A. Hill, "New experimental test of Coulomb's Law: a laboratory upper limit on the photon rest mass," *Physical Review Letters, Physical Review Letters*, Vol. 26, pp. 721-724, March 1971.
- [6] C. Gueudre, J. Moysan and G. Corneloup, "Weld quality control by radioscopy using edge and area segmentation method," in *Proc. of 15th WCNDT*, Roma, Italy, Oct. 2000.
- [7] N. Nafaa, D. Redouane and B. Amar, "Weld defect extraction and classification in radiographic testing based artificial neural networks," in *Proc. of 15th WCNDT*, Roma, Italy, Oct. 2000.
- [8] X. Zhang and J. Xu and Y. Li, "The research of defect recongition for radiographic weld image based on fuzzy neural network," in *Proc. of 5th WCICA*, Hangzhou, China, June 2004.
- [9] D. Redouane, K. Yacine, A. Amal, A. Farid and B. Amar, "Evaluation of corroded pipelines wall thickness using image processing in industrial radiography," in *Proc. of 15th WCNDT*, Roma, Italy, Oct. 2000.
- [10] C. Daniel and F. S. Wood, *Fitting Equations to Data*, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- [11] O. Alekseychuk, *Detection of crack-like*

indications in digital radiography by global optimization of a probabilistic estimation function, PhD Thesis, BAM-Dissertationsreihe, Band 18, Berlin, Germany, 2006.

- [12] X. Wang, B. S. Wong, C. G. Tui, K. P. Khoo and F. Foo, "Image enhancement for radiographic non-destructive inspection of the aircraft," in *Proc. of 12th A-PCNDT 2006*, Auckland, New Zealand, Nov. 2006.

저자 소개



황 중 원(학생회원)
2006년 경인교육대학교
(교육학사)

2008년 숭실대학교 미디어학과
(공학석사)

2008년 3월~현재 한양대학교
전자컴퓨터통신공학과
박사과정

<주관심분야: 컴퓨터비전, 알고리즘개발, 교육미
디어>



황 재 호(정회원)-교신저자
1982년 아주대학교 전자공학과
(공학사)

1986년 서울대학교 전기공학과
(공학석사)

1994년 서울대학교 전기공학과
(공학박사)

1982년~1992년 전력연구원 부장대리

1992년~현재 한밭대학교 전자공학과 교수

<주관심분야: 영상신호처리, 비전, DSP, 멀티미
디어>



박 상 기(정회원)
1986년 서울산업대학교
기계공학과 (공학사)

2003년 충남대학교 학과
기계공학과(공학석사)

1990년~현재 전력연구원 원자력
발전연구소 선임연구원

<주관심분야: 용접구조물 신뢰성 평가>