

센서데이터 분석을 위한 효율적인 가시화 기법의 구현

Implementation of Effective Visualization Methods for Sensor Data Analysis

서원석¹, Won Suk Seo, 윤창걸², Chang Geol Yun, 정순기³, Soon Ki Jung, 노용우⁴, Yongwoo Rho
경북대학교 컴퓨터공학과, 가상현실 연구실^{1,2,3}
한국가스공사 연구개발원 IP 연구개발⁴

요약 본 논문에서는 MFL(Magnetic flux leakage) 피그(PIG : Pipeline Inspection Gauge)에서 획득된 센서데이터의 분석을 위한 가시화 기법의 구현을 소개한다. MFL피그는 배관 내부에 삽입되어 배관의 결함이나 특징정보를 파악하기 위해 사용되는 장비로, 다양한 종류의 센서를 지니고 있으며, 각 센서에서 나온 값들은 피그에 탑재된 저장 장치에 빠른 샘플링 속도로 저장된다. 분석가는 피그에 저장된 데이터를 가시화 도구를 사용하여, 피그에 샘플링 된 데이터를 통해 배관의 용접부위나 결함과 같은 특징정보를 찾아야 하고, 특징정보인 부분과 그렇지 않은 부분을 쉽게 구별 할 수 있어야 한다. 하지만 센서의 값에 따라 색상에 맵핑하여 보여주는 2차원 가시화 기법만으로는 효율적인 분석이 어렵다. 본 논문은 이를 극복하기 위하여, 센서 값에 맵핑되는 색상 스펙트럼 편집 및 기본 값 조정 기능을 제안한다.

핵심어 : *large data visualization, visualization technique, data analysis, MFL 피그*

1. 서론

최근 기상, 경제, 지형, 의료 정보 등 여러 분야에서 데이터 가시화 시스템이 사용되고 있다[5, 6]. 각 시스템들의 데이터는 서로 다른 형태와 특성을 지니고 있으며, 데이터를 분석하는 분석가의 요구사항도 다르다. 데이터 분석을 위한 가시화 시스템은 분석가의 요구사항에 맞는 효율적인 가시화 기법을 사용해야 하며, 이는 매우 중요하다[3].

MFL(Magnetic flux leakage) 피그(PIG : Pipeline Inspection Gauge)는 배관 내부를 주행하면서 탑재된 센서들을 이용하여 자속 변화를 측정하고, 측정된 데이터를 기록한다[4]. 분석가는 측정된 데이터와 가시화 도구를 이용하여 배관의 손상, 결함, 및 부식정도를 분석 할 수 있다. 본 논문에서는 MFL 피그의 센서데이터 가시화 방법에 대해 제안하며, 제안된 가시화 방법이 어떠한 고려사항에 의해 선택된 것인지에 대해서 설명한다.

2. 관련 연구

대용량의 데이터를 분석하기 위한 효율적인 가시화 방법들의 연구들이 진행되고 있다. 그리고 각 데이터 타입에 따

른 가시화 기법들은 데이터를 분석하고 정보를 추출하기 위하여 사용된다. 이에 관련된 연구 사례로, S. Havre 등이 제안한 ThemeRiver[8]는 1차원 데이터인 시간 데이터(temporal data)를 시간의 흐름에 따라 축적된 대용량의 문서를 표현한다. 특히, 1차원과 2차원 데이터는 2차원 가시화 기법을 적용함으로써 사용자는 키보드와 마우스를 이용한 직관적인 인터랙션(direct interaction)이 가능하다. 3차원 가시화 기법은 실세계의 객체를 표현하고 이해하는데 유용하며, 사용자가 공간정보를 이해하는데 도움을 준다.

다량의 데이터를 표현 할 경우, 화면 크기의 제한 및 표현 색상의 제한 등의 근본적인 제약들로 인해 데이터 표현의 제약이 발생한다. 이와 같은 문제들을 해결하기 위해 fisheye view와 같이 view의 관심 영역을 확대하는 interactive filtering 기법들이 적용되었다[2].

본 논문에서 구현한 MFL 피그 분석 가시화 시스템은 일정 간격의 거리 측에 따라 각 센서들이 1차원 데이터의 집합의 형태로 데이터를 획득한다. 그리고 분석가는 일반적으로 Pseudo Color 로 맵핑된 2차원 가시화 화면에서 분석 작업을 진행하고, 맵핑된 센서 데이터를 통해 특징정보인 부분과 그렇지 않은 부분을 분석가가 쉽게 구별 할 수 있도록 가시화 하는 것에 초점을 맞추고 있다.

그리고 분석가에 의해 분석된 특징정보를 표시하는 것 또한 중요한데, 배관에 있는 특징정보의 위치가 표시된 3차원 파이프라인을 구현하여, 실제 배관의 위치와 특징정보의 관계를 쉽게 파악할 수 있게 한다.

3. 분석 시스템의 요구사항

본 논문에서 가시화 하는 데이터는 가스 배관의 결함을 검사하기 위한 장치인 MFL 피그의 센서를 통해 얻어진 데이터이다. 주로 가스 배관은 50Km 이상의 긴 거리에 걸쳐 매설 되어 있으며 이 배관의 굽기는 배관을 연결하는 부분을 지나 달라질 수도 있다. 피그는 시속 4~6km의 속도로 가스의 흐름에 따라 배관내부를 주행하여 데이터를 수집한다. 피그에는 여러 가지 센서가 부착되어 있고 주행 시 데이터는 일정 시간 간격으로 샘플링 되어 피그 내부에 있는 디스크에 저장된다. 피그의 주행거리가 길고 데이터의 샘플링이 많기 때문에 데이터의 용량이 매우 크다[1].

피그에 저장된 원본 데이터(raw data)는 파싱(parsing)을 거쳐 센서별로 데이터가 분류되고, 저역 필터링(low pass filtering)과 이진보간(binary interpolation)을 한 후 데이터베이스에 저장된다. 표 1은 MFL 피그로 얻을 수 있는 센서 데이터의 종류와 저장되는 크기를 나타낸다. MFL 피그의 데이터는 400Hz로 샘플링 되며, 시간당 1,845 Mbytes의 저장 용량이 필요하다. 그리고 수 시간 동안 피킹이 이루어지므로 저장되는 데이터는 상당한 용량을 차지한다. 대용량의 데이터를 분석하는 작업은 많은 시간을 필요로 하므로, 효율적인 분석을 위한 가시화 및 시스템과 쉽게 상호작용하는 방법이 필요하다.

표 1. MFL 피그의 데이터 타입 종류.

Sensor Type	Sample Data (bytes/tic)	Sample Rates (Hz)	Total Data (Mbytes/h)
Axial	384	400	527.3
Radial	384	400	527.3
Circumferential	384	400	527.3
Eddy	128	400	175.8
Pins	40	400	54.9
Odometer	16	400	22.0
Temperature	4	400	5.49
Pressure	4	400	5.49

3.1 요구사항 분석

MFL 피그 데이터의 가시화를 위해서는 먼저 분석가가 데이터를 어떠한 형태로 가시화하기를 원하는지, 가시화의 형태에 대한 분석가의 요구가 어떠한지에 대한 요구 사항 분석이 필수적이다. 요구사항 분석을 통해 가시화 할 정보의 특성을 정의할 수 있으며, 이러한 특성에 따른 가시화 기법도 다양한 형태로 표현이 가능하다.

분석가는 2차원 영상 데이터를 통해 특징정보를 찾고 분석하게 된다. 가스배관 내부를 주행하여 얻은 피그의 센서데이터는 많은 특징정보를 포함하게 된다. 그리고 특징정보는 배관의 결함 또는 배관의 용접부위나 배관 내외부에 설치된 여러 가지 구조물이 있는 경우 발견된다.

일반적으로, 특징정보가 있는 지점에서의 센서 값은 그렇지 않은 부분의 센서 값과 차이가 있다. 하지만, 특정 지점에서 센서의 기본 값이 얼마 정도인지는 샘플링 된 지점에서의 배관 굽기와 피그에 탑재된 센서의 감도나 형태에 따라 달라질 수 있다. 그리고 피그의 특정 센서가 정상적으로 동작하지 않을 경우 센서의 기본 값이 일반 센서의 값에 비해 크거나 작게 나올 수 있다. 이 경우, 분석가가 기본 값을 조정하여 특징정보를 분석할 수 있는 기능이 필요하다.

그리고 분석가가 분석하는 특징정보 중 대부분은 배관의 용접과 관련된 특징 정보이다. 배관의 용접은 그림 1의 굵은 실선으로 표시된 Girth weld와 점선으로 표시된 Seam weld가 있다. Girth weld는 배관과 배관을 이어주는 용접으로, 모든 방향의 센서 값이 차이가 나므로 분석가가 발견하기 쉬운 반면, Seam weld는 용접부위가 있는 특정 방향의 센서 값만 변하므로, 특정 방향의 센서 값에 노이즈가 있는 경우, 분석가가 Seam weld를 발견하기 어려운 문제점이 있다. 그래서 분석가로 하여금 Seam weld를 쉽게 찾을 수 있도록 하는 가시화 화면도 필요하다.

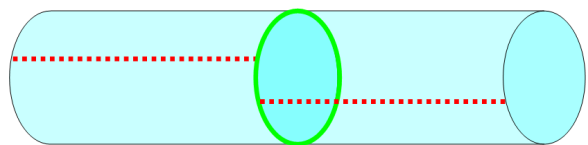


그림 1. 배관의 용접부위.

3.2 요구사항에 따라 산출된 가시화 기능

2차원 기반의 데이터 표현은 일반적으로 데이터 값에 색상을 맵핑함으로써, 분석가가 보다 직관적으로 데이터를 이해할 수 있도록 한다. 특징이 있는 지점과 그렇지 않은 지점의 값은 여러 요인에 의해 달라지므로, 색상 맵핑을 위한 스펙트럼을 분석가가 직접 정의하는 기능은 분석가가 각 상황

에 맞는 가시화에 도움을 줄 것이다. 그리고 3차원 파이프라인의 표현은 각 시점에서의 피그가 배관 내에서 이동한 정보와 Roll 정보를 이용하여 배관의 결함이 어느 방향에 위치하고 있는지에 대한 정보를 분석가에게 쉽게 알려준다.

각각의 Girth weld로 구분되는 Seam weld는 Eddy센서 값이 낮은 방향을 통해서 배관내의 위치를 알 수 있다. 하지만, Eddy 센서들 중 특정 방향의 센서에 노이즈가 발생하는 경우, 분석가는 Seam weld의 방향을 분석하기가 모호하다. 그러므로 Seam weld의 방향을 정확히 알아낼 수 있는 가시화 화면이 필요하다. 이를 위하여 각각의 Seam weld가 있는 구간을 하나의 가시화 구간으로 정의하고, 인접한 가시화 구간의 Eddy센서 기본 값과의 차이를 이용한 가시화 화면을 구현하였다.

4. 분석을 위한 가시화 기법

분석가의 분석 작업 중 대부분이 그림 2와 같은 2차원 가시화 화면에서 이루어진다. 2차원 가시화 화면의 x축은 경우 거리 값을 나타내고, 각각의 센서(Axial, Radial, Circumferential, Eddy)들 및 다른 종류의 센서를 보여주는 view들과 거리에 대해서 동기화 되어 있다. 센서의 개수만큼 y축 좌표를 배치하여 각 센서 값에 대한 색상을 사각 형태로 맵핑한 이미지로 표현하였다. 그리고 2차원 가시화 화면의 y축은 rolling 기능을 지원하여 키보드의 up / down 키를 이용하여 센서의 위치를 변경시킬 수 있다. 그리고 색상이 맵핑될 센서 값의 최대, 최소값을 조절하여 분석가가 원하는 범위의 값에만 색상을 적용 할 수 있다.

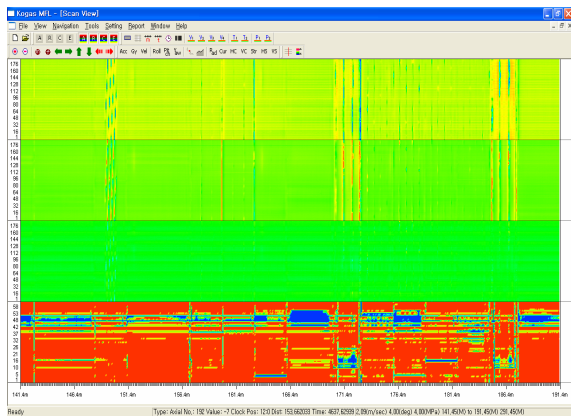


그림 2. 2차원 가시화 화면.

4.1 Pseudo Color의 설정

MFL 피그 데이터 분석시스템은 2차원 영상 데이터의 색상 맵핑을 조절하기 위한 스펙트럼 편집 기능을 가지고 있

다. 그림 3과 같이 기준이 되는 센서 값과 색상 그리고 색상을 보간하는 방법을 분석가가 직접 선택하는 인터페이스를 두어 색상을 맵핑할 수 있다. 이 기능을 사용하여 만든 스펙트럼은 각각의 센서마다 따로 적용이 가능하고, 기준이 되는 지점을 실제 센서의 값으로 결정할 수 있다.

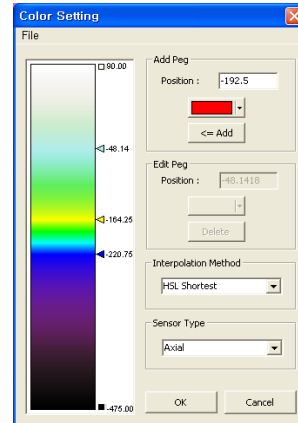
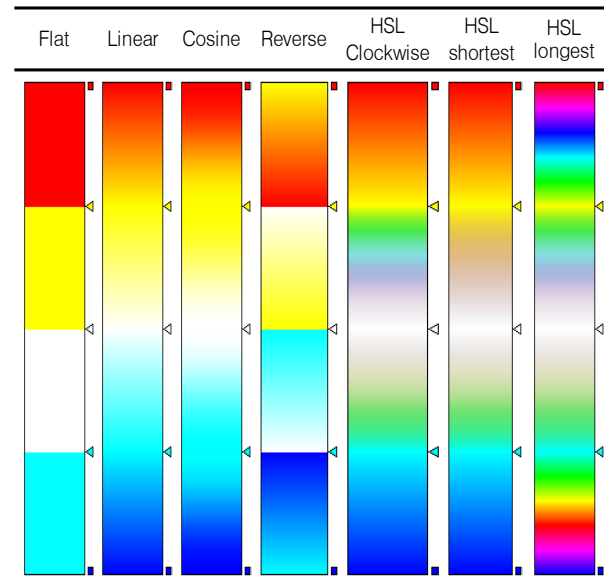


그림 3. Pseudo Color 설정.

대체로 특징정보가 있는 지점에서의 센서 값과 그렇지 않은 부분의 센서 값은 차이가 크다. 하지만 특징정보가 없는 지점간의 센서 값은 차이가 별로 없다. 분석가는 이 차이를 이용하여 특징정보가 있는 지점의 센서 값에 특징정보에 관한 색상을 집중적으로 설정할 수 있으며, 배관내의 결함을 쉽게 찾을 수 있다. 기준이 되는 색상을 보간하여 스펙트럼을 만드는 방법은 표2 와 같은 방법이 있다.

표 2. 기준색상 보간 방법.



4.1.1 일반적인 기준색상 보간 방법

Linear Interpolation은 각 기준 색상의 R, G, B Channel Intensity를 선형적으로 계산하여 스펙트럼을 생성한다. 가장 일반적으로 사용되며, 분석가가 센서 값을 직관적으로 인식할 수 있다. 그리고 Cosine Interpolation은 각 기준 색상의 R, G, B Channel Intensity를 Cosine 곡선을 이용하여 보간한다.

Reverse Interpolation의 경우, 그림 4에서처럼 반대방향에 있는 기준색상의 R, G, B Channel Intensity를 선형적으로 보간하여 스펙트럼을 생성한다. 이 경우, 기준색상에 정의된 센서 값에서의 색상의 변화가 연속적이지 않으므로, 그림 5에서처럼 특징정보가 있는 지점에는 특징정보 모양의 테두리가 뚜렷하게 드러난다.

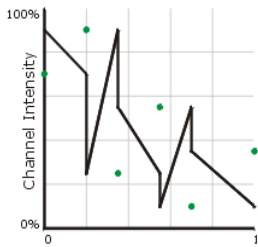


그림 4. Reverse Interpolation의 Intensity 변화.

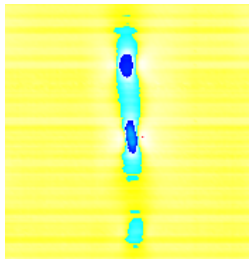


그림 5. Reverse Interpolation을 적용한 결과.

4.1.2 Color Wheel을 이용한 기준색상 보간 방법



그림 6. Color Wheel.

그 밖에 기능으로 그림 6과 같은 Color Wheel을 이용하는 HSL 보간 방법이 있다. HSL 보간 방법은 색상(Hue), 채도(Saturation), 명암(Luminance)이 선형적으로 보간되는 것을 의미한다. 그리고 Color wheel에서도 볼 수 있듯이 색(Hue) 값은 순환적이다. 임의의 한 색상에서 다른 색상으로 스펙트럼을 구성하는 방법에는 Color Wheel 상에

서 가장 Shortest 한 방향이나, Longest 한 방향으로 스펙트럼을 구성할 수 있다. 그리고 시계방향 혹은 반 시계방향으로 스펙트럼을 구성할 수도 있다. 이러한 보간 방법들은 기준색상 사이의 색상과 채도 그리고 명암의 점진적인 변화가 필요할 때 유용하게 사용된다. 본 가시화 시스템에서 적용할 수 있는 Color Wheel 을 이용한 색상 보간 방법으로는 HSL Clockwise / HSL Anti-Clockwise / HSL Shortest / HSL Longest 등이 있다.

이러한 보간 방법들은 기준색상 사이의 색상과 채도 그리고 명암의 점진적인 변화가 필요할 때, 혹은 그림 7과 같이 반복적인 색상을 이용하여 센서 값의 등고선을 표현 할 때 유용하게 사용할 수 있다.

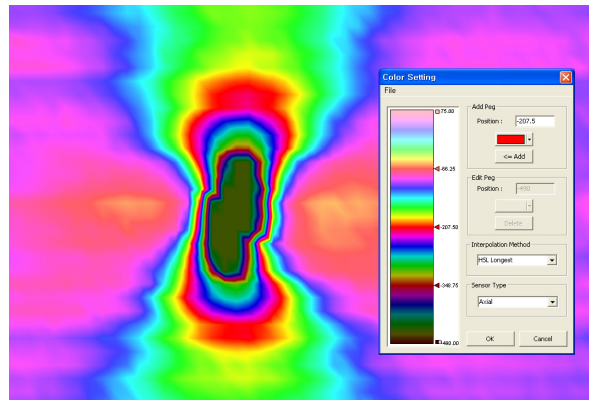


그림 7. HSL Longest 보간 방법을 이용한 등고선의 표현.

4.2 기본 값 조정

MFL 피그로부터 나온 센서 값이 분석가가 특징을 찾아내기 어려울 정도로 노이즈가 심한 경우, 또는 센서별로 감도가 다르거나 출력되는 기본 값이 다른 경우, 기본 값을 조정해서 보여주는 기능이 필요하다.

기본 값 조정 기능은 분석가에 의해 선택된 특정 지점에서 모든 센서 값의 평균을 구한 다음, 선택된 지점과 평균값과의 차이를 가시화 화면상에 보여지는 모든 센서 값에 적용시켜 보여주는 기능으로 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다. $f(x,y)$ 는 거리 x 에서의 y 번째 센서의 값을 의미하고 센서의 개수는 n 개 이며, 거리 x_0 에서 센서들의 기본 값을 조정했다고 가정 했을 때, 기본 값 조정으로 계산된 $g(x,y)$ 는 수식 1과 같이 구할 수 있다.

$$g(x,y) = f(x,y) - \left(f(x_0,y) - \frac{\sum_{y=1}^n f(x_0,y)}{n} \right) \quad (1)$$

그림 8에서처럼 기본 값 조정 기능을 적용하기 이전(왼쪽) 상태의 가시화 화면에서는 신호 값 자체의 노이즈로 인해 특징정보가 다소 모호하게 드러나는 반면, 기본 값 조정 기능을 적용한 오른쪽 가시화 화면에서는 상대적으로 특징 정보가 잘 드러나는 것을 알 수 있다.

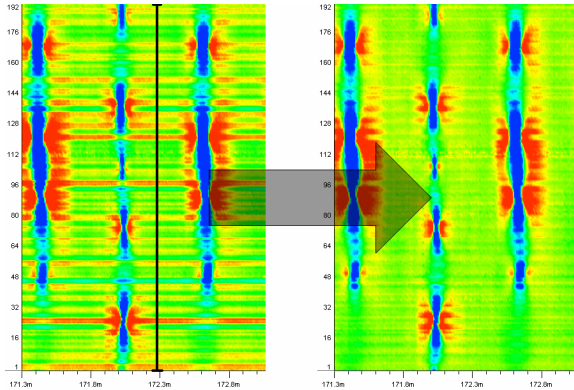


그림 8. 기본 값 조정 전과 기본 값 조정 후의 차이.

4.3 3차원 파이프라인 가시화 기법

MFL 피그는 주행 도중 항법 관련 데이터를 수집하게 된다. 주행 중에 얻어진 항법데이터는, 가시화 이전에 전처리 단계를 거쳐, 피그가 배관 내부를 통과할 때 얻은 이동 경로의 실제 좌표로 변환된다. 3차원 파이프라인은 피그가 배관의 내부를 통과할 때 얻은 이동 경로 $\{O_1, O_2, \dots, O_n\}$ 를 이용하여 그릴 수 있으며[7], 분석가에 의해 분석된 각 특징 정보는 피그의 roll 각도를 이용하여 정확한 방향에 표시할 수 있다.

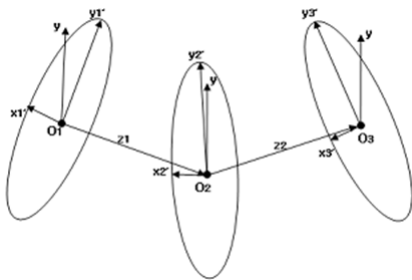


그림 9. 피그 주행 경로의 절대좌표를 이용한 파이프라인 drawing 방법.

파이프라인은 각 위치 $O_i (1 \leq i \leq n)$ 의 절대좌표(x, y, z)를 이용하여 그린다. 그림 9에서처럼 배관을 구성하기 위한 한 개의 원은 절대좌표의 다음 점을 바라보도록 그려야 하며 배관의 형태를 표현하기 위한 매쉬 정보를 구하기 위해서는 식 2, 3, 4와 같은 계산 과정을 거친다.

식 2에서처럼 y 를 $[0, 1, 0]^T$ 라고 하고 z_i 을 O_i 과 O_{i+1} 을 연결하는 벡터라고 정의한 후 식 3과 같은 계산과정을 거친다. y 와 z_i 의 외적(cross product)을 구한 값을 x_i 라고 할 때, x_i 을 정규화 하여 x'_i 을 구한 후 z_i 과 외적을 하여 y'_i 을 구한다.

$$y = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad z_i = \overrightarrow{O_i O_{i+1}} \quad (2)$$

$$x_i = z_i \times y, \quad x'_i = \frac{x_i}{\|x_i\|}, \quad y'_i = z_i \times x'_i \quad (3)$$

$$\begin{aligned} s_1 &= x'_i \cos \theta + y'_i \sin \theta + O_i, \\ s_2 &= x'_i \cos 2\theta + y'_i \sin 2\theta + O_i, \\ &\dots \\ s_m &= x'_i \cos m\theta + y'_i \sin m\theta + O_i, \end{aligned} \quad (4)$$

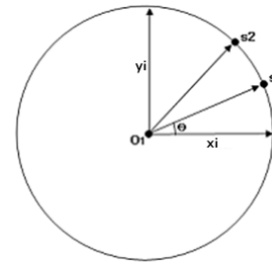


그림 10. 식 4에서 배관의 단면을 구성하는 점의 계산.

한 개의 원을 구성하는 점(vertex)들을 $\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 이라 할 때 각 원들을 이루는 점을 구하기 위해서 식 4의 과정을 거친다. 그림 10에서처럼 O_i 의 원을 구성하는 각각의 점들에 대응하는 각도에 있는 O_{i+1} 의 원을 구성하는 점을 연결하게 되면 배관의 매쉬를 그릴 수 있다.

3차원 파이프라인 가시화 화면은 그림 11에서처럼 배관의 표면(surface)을 표현하기 위해 매쉬에 텍스처(texture)를 입혀 영상을 생성하였고, 배관의 원근을 표현하기 위해 안개 효과를 적용하였다. 각각의 특징정보는 특징정보의 위치와 몇 번째 센서에서 특징이 나타나는지, 그리고 특징 정보가 분석된 방향은 배관의 어느 방향인지에 대한 속성을 가지며, 이 속성 값들을 이용하여 특징정보를 3차원 배관에 표현하였다. 표현된 특징 정보의 속성은 분석가가 마우스 커서를 특징정보가 표현된 지점에 roll over 시켰을 때, 우측 속성 창에 특징정보에 대한 속성을 볼 수 있다.

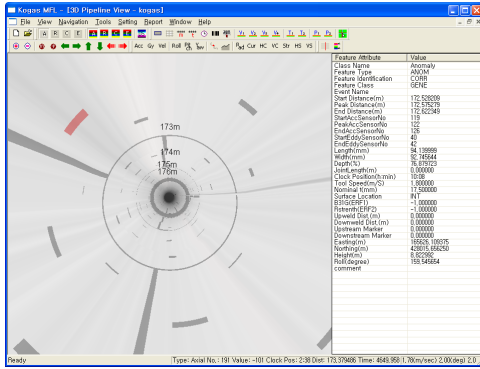


그림 11. 3차원 배관에서의 특징정보 표시.

4.4 Seam weld 가시화 화면

앞서 언급한 Seam weld를 찾는데 필요한 가시화 화면은 Eddy 센서 값을 기본으로 한 2차원 가시화 화면이다. 일반적으로 배관이 용접된 부분은 그렇지 않은 부분에 비해 Eddy 센서의 값이 낮게 나온다. 그리고 각각의 Seam weld는 Girth weld가 있는 지점을 기점으로 다른 방향에 위치한다.

이 점을 이용하여, 본 논문에서 구현한 Seam weld 가시화 화면은 Girth weld가 있는 지점으로 가시화 구간을 나누고, 인접한 구간들의 기본 값과 Eddy 센서 값의 차이를 계산하여 보여준다.

본 가시화 화면의 구현은 다음과 같다. 분석한 Girth weld가 있는 지점을 x_i 라고 할 때, Eddy 센서의 개수가 n 이면, 각 구간의 평균 $E_i(y)$ 는 식 5와 같다. 그리고 각 구간별로 보여지는 결과 값 $g_i(x, y)$ 는 식 6과 같이 계산된다.

$$E_i(y) = \frac{\sum_{k=x_i}^{x_{i+1}-1} f(k, y)}{x_{i+1} - x_i} \quad (5)$$

$$g_i(x, y) = 2f(x, y) - (E_{i-1}(y) + E_{i+1}(y)) \quad (6)$$

Seam weld 가시화 화면의 2차원 색상 맵핑을 위한 스펙트럼은 Eddy 센서의 것을 같이 사용하되, Seam weld 가시화 화면에 맞게 최대, 최소값의 범위가 조정되어야 한다. Seam weld 가시화 화면은 인접한 구간들의 기본 값과 Eddy 센서 값의 차이를 보여주는 화면이므로, Eddy 센서 값이 가질 수 있는 최대, 최소값을 각각 $eddy_{max}$, $eddy_{min}$ 이라고 할 때, Seam weld 가시화 화면에 출력되는 값 x 의 범위는 식 7과 같다.

$$|x| \leq 2(eddy_{max} - eddy_{min}) \quad (7)$$

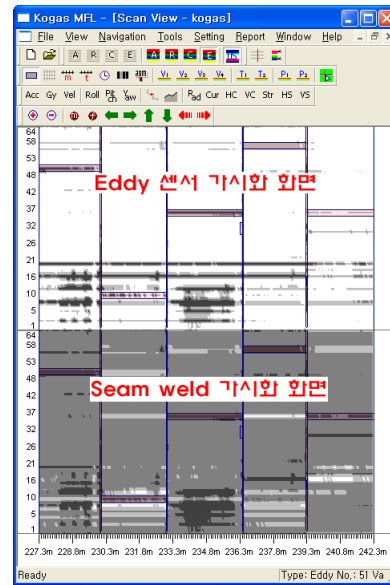


그림 12. Seam weld 가시화 화면.

그림 12는 Eddy 센서의 2차원 가시화 화면과 Seam weld 가시화 화면을 보여준다. Eddy 센서의 가시화 화면과 비교해 볼 때, 각각의 구간에서 상대적으로 낮은 값을 가지는 센서 일수록, Eddy 센서 값에 비해 Seam weld 가시화 화면의 결과 값이 높은 것을 알 수 있다. 특히, 여러 구간에 걸쳐 낮은 값이 나오는 센서의 경우, Seam weld 가시화 화면에서는 값이 상쇄되어 표시되지 않는다. 그리고 Seam weld가 있는 부분의 센서의 경우, 이웃한 구간에서 계산 값이 상대적으로 높게 나온다. Seam weld 가시화 화면의 이러한 특징은 분석가가 용접부위의 방향을 정확히 알아내는데 많은 도움이 된다.

5. 결론

본 논문에서는 MFL 피그의 센서 데이터 분석을 위한 고려사항과 그에 따른 필요기능의 구현 및 가시화를 위한 기능을 정의하고 분석을 위한 가시화 기법을 구현하였다. 분석에 필요한 가시화 기법의 정의 및 구현을 통해 분석 시스템에 적용함으로써, 분석가는 효율적인 데이터 분석이 가능하였다.

센서 값들의 기본 값을 맞추어 주는 기능을 사용하면 신호의 값이 불안정하다거나 여러 가지 다른 조건에 의해 전체적인 센서 신호에 노이즈가 있을 경우에도, 효율적으로 분석이 가능하다. 그리고 분석가가 특정 신호 값에 직접 정의할 수 있는 색상 스펙트럼 편집 기능은 배관의 결함을 두드

러지게 보여주는 효과를 줄 수 있었다. 배관의 3차원 가시화는 분석가가 저장한 결함이 배관의 어느 부분에 위치하는지를 알려준다. 또한 Seam weld 가시화 화면은 분석가로 하여금 Seam weld의 방향을 정확히 판별 할 수 있도록 도와준다.

향후 본 논문의 연구를 기반으로 한 센서 데이터 분석 시스템의 요구사항에 맞는 가시화 기법들에 관한 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 한국가스공사 연구개발원의 연구비 지원인 용역 결과물임.

참고문헌

- [1] Bok Dong Kim, Sang Ok Koo, Hyok Don Kwon, Seong Dae Jung, Soon Ki Jung, Minho Lee, YongWoo Rho and SungJa Koo, "Integrated Visualization for Geometry Pig Data", APVIS2006, INFORMATION VISULIZATION 2006, VOL60, page 63~66, Tokyo, Japan, 1.31~2.3, 2006.
- [2] Carl Gutwin and Chris Fedak, "Interacting with Big Interfaces on Small Screens: a Comparison of Fisheye, Zoom, and Panning Techniques", Proceedings of the 2004 Conference on Graphics Interface, Vol. 62, pp. 145-152, 2004.
- [3] Daniel A. Keim, et al. "Information Visualization and Visual Data Mining" IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 2002.
- [4] D.K. Kim, S.H. Cho, S.S. Cho, H.R. Yoo, Y.W. Rho and Y.T. Kho, "Development of the Caliper System for a Geometry PIG Based on Magnetic Field Analysis," KSME International Journal, Vol. 17, No. 12: pp. 1835-1843, 2003.
- [5] Milton H. Shimabukuro, Edilson F. Flores, Maria Cristina F. de Oliveira, and Haim Levkowitz, "Coordinated Views to Assist Exploration of Spatio-Temporal Data: A Case Study," 2nd International Conference on Coordinated & Multiple Views in Exploratory Visualization (CMV'04), pages 107-117, 2004.
- [6] Purvi Saraiya, Chris North and Karen Duca, "An Evaluation of Microarray Visualization Tools for Biological Insight," 10th IEEE Symposium on Information Visualization (INFOVIS 2004), pages 1-8, October 10-12, 2004.
- [7] Sang Ok Koo, Hyuk Don Kwon, Chang Geol Yoon, Won Seok Seo and Soon Ki Jung, "Visualization for a Multi-Sensor Data Analysis", CGIV06, Sydney in Australia, July.28.2006.
- [8] Susan Havre, Elizabeth Hetzler, Paul Whitney and Lucy Nowell, "ThemeRiver: Visualizing Thematic Changes in Large Document Collection," IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, Vol. 8, No. 1. pp. 9-20, January-March 2002.
- [9] <http://www.kogas.or.kr/>