

실시간 공장 에너지 데이터 및 계층적 공정 구조 시각화에 관한 연구

염혜라, 지영민, 권동우*

한국전자기술연구원

{hyeraeom, ym.ji, dwkwon*}@keti.re.kr

A Study on Real-time Visualization of Factory Energy Data and Hierarchical Process Structure System

Hyera Yeom, Youngmin Ji, Dongwoo Kwon*

Korea Electronics Technology Institute (KETI)

요약

본 논문에서는 현대 공장의 계층적 공정 구조와 에너지 데이터를 모델링하고 시각화하기 위한 웹 컴포넌트 기술을 제안한다. 계층적 공정 구조와 에너지 데이터 표현에 적합한 두 가지 시각화 표현 방법으로 Circle packing과 Sunburst Chart를 사용하여 컴포넌트를 구현한다. 수집한 공장 데이터를 분석하여 각 Chart 컴포넌트에 필요한 형식의 JSON 데이터로 변환하는 VTOM(Visual Time-series Object Model)을 개발한다. VTOM으로 가공한 데이터는 시각화를 위한 각 컴포넌트로 전달되며 최종적으로 브라우저 상에 출력된다. 이 기술은 웹 기반의 관리 시스템에 쉽게 적용될 수 있도록 컴포넌트화하여 개발된다. 이를 통해 웹 환경에서 효율적으로 데이터를 시각화하고 공장 시스템의 흐름을 파악하고자 한다.

I. 서론

오늘날 공장 규모와 설비 구성이 확장되면서 효율적인 공장 관리 시스템이 필수로 요구된다. 그러나 복잡한 공정 구조와 각 장비에서 수집되는 방대한 데이터들의 수치가 유동적이기에 공장 현황을 분석하고 판단하기 어렵다. 현재 정부 정책에 따라 공장에너지관리시스템(FEMS: Factory Energy Management System)의 확산 및 표준화가 진행되고 있으나, 실질적인 표준 시각화 기술은 도출되지 않은 상태이다.[1]

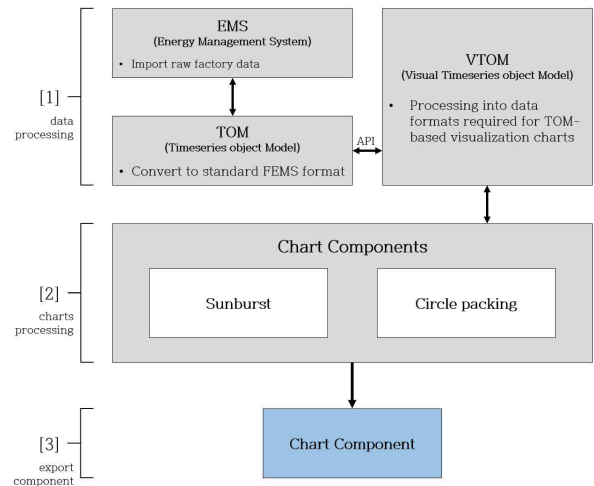
본 논문에서는 실시간 계층적 공정 구조 및 공장 에너지 데이터 모니터링을 위한 시각화 웹 컴포넌트 기술 연구 개발을 진행한다.[2-3] 컴포넌트(Component)란 독립된 기능을 지닌 소프트웨어 모듈 단위로 한 번 정의된 기능을 여러 프로세스에 유연하게 적용 가능하다. 웹 컴포넌트의 특성을 활용하여 추후 FEMS 시각화 표준 전략 기술을 제안하고자 한다.

II. 본론

2.1 공정 구조 및 공장 에너지 데이터 가공

시각화 기술 연구를 위해 실제 가공 중인 공장 데이터를 수집하여 분석한 후, 각 Chart에서 요구하는 데이터 구조로 변환하는 API를 개발한다. 가공된 데이터는 JSON(JavaScript Object Notation) 형식으로 제공한다. 먼저 원시 공장 데이터를 EMS(Energy Management System) API로 호출한다. EMS로 받아온 실시간 공장 데이터를 기반으로 표준 FEMS 데이터 형식으로 가공하는 TOM(Time-series object Model) API를 개발한다. TOM은 시계열 데이터를 표현하기 위한 모델로, 실시간 공장 장비 현황과 에너지 데이터 변화를 담고 있으며 시각화에서 사용할 데이터의 기본 모델이다. TOM은 시각화에 필요한 기본 정보를 담은 기본 구조일 뿐이므로 각 Chart 렌더링에 요구되는 데이터 형식을 반환하는 VTOM(Visual Time-series Object Model) API를 생성한다. VTOM 데이터 가공 시 Chart 구성 노드의 크기를 지정하는 "value"에 값을 할당하며 이는 공정의 계층 구조와 공장 에너지 데이터에 따라서 달라진다. 공정 계층 구조는 트리 구조처럼 복잡하고 하위 노드 깊이도 서로 다르다. 이를 고려해 맨 하위 설비당 value 값을 "1"로 할당하고, 상위 노드는 자신에게 속한 하위 노드들의 value 총합을 Chart 노드 크기로 가져 설비의 보유

비율을 표현한다. 공장 에너지 데이터는 현재 공장에서 수집하는 값 중 유효전력(KW) 수치를 value로 가지며, 상위 노드는 공정 구조와 같은 방식으로 하위 노드의 value 총합을 가져 KW 순으로 출력된다. 이로써 최종적으로 데이터 가공 과정을 마치며 위 데이터 절차를 포함한 전체 컴포넌트 생성 프로세스는 [그림 1]을 참고한다.

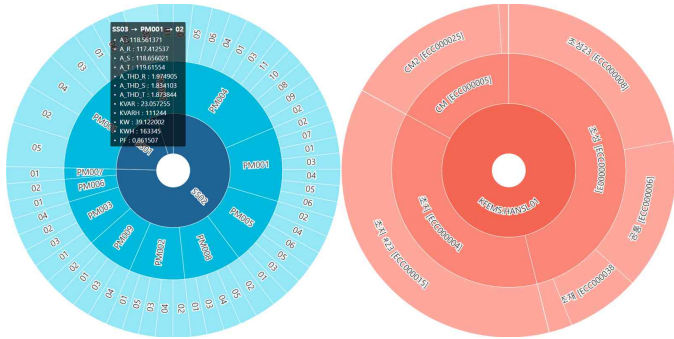


[그림 1] 시각화 컴포넌트 생성 프로세스

2.2 시각화 컴포넌트 개발

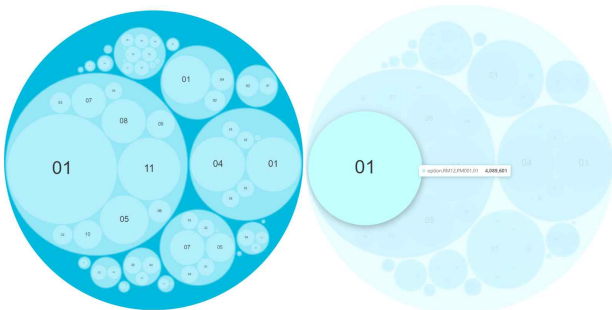
본 연구에서는 Apache Echarts와 d3 라이브러리를 사용하여 두 가지 표현 방법을 적용한 독립적인 시각화 컴포넌트를 제안한다. 첫 번째 Sunburst 컴포넌트는 브라우저상 동적 시각화를 위한 d3(Data-Driven Documents) 기반의 Sunburst-chart 라이브러리를 적용한다. 이는 계층적 데이터를 나타내는 원형 Chart로 원 중심에서 바깥쪽으로 상위부터 하위 레벨 순으로 각 요소와 비중 표현이 가능하다. 가독성을 높이기 위해 에너지 데이터 표현 시 전체 노드 레벨을 출력하고, 노드를 클릭하면 해당 노드를 기준으로 하위 노드가 추가로 표시되며, 가장 하위 노드를 클릭하면 전체가 확대된다. Chart 외 영역을 클릭하면 초기 루트 관점으로 렌더링 된다. 각 노드 위 마우스를 올리면 노드에 해당하는 id, value,

metadata 등 상세 정보를 tooltip 기능으로 출력한다. Chart는 브라우저 크기에 따르는 반응형으로 크기가 조정되며 컴포넌트를 타 프로젝트에 삽입할 경우, 적용한 부모 요소에 전체적으로 Chart가 채워진다. data에 따른 시각화 컴포넌트 결과는 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 좌) 공장 에너지 데이터, 우) 계층 공정 구조

두 번째 Circle packing 컴포넌트는 Apache Echarts에서 제공하는 circle packing d3 라이브러리를 활용하여 개발한다. 이는 원으로 이뤄진 데이터 노드를 계층적으로 내부에 중첩하여 표현하는 기법으로 전 계층의 구성과 비율을 확인할 수 있다. 공장 에너지 데이터의 표현에서는 계층 구조와는 달리 데이터의 수치 편차가 큰 경우 노드가 사라지는 문제가 발생한다. 이를 고려하여 VTOM 데이터를 가공 과정에서 value를 (KW/100 + 1)로 설정하여 크기를 1부터 10단계로 카테고리화하여 지정한다. 이를 통해 데이터의 편차에 상관없이 모든 노드가 누락되지 않고 시각화 처리된다. Circle packing 컴포넌트는 Sunburst와 마찬가지로 tooltip 및 반응형 크기 조정 기능을 제공한다. Circle packing 데이터의 시각화 중 에너지 데이터 조회 결과는 다음 [그림 3]과 같다.



[그림 3] Circle packing 에너지 데이터 비율 조회

현재 다루고자 하는 공정 계층 구조와 공장 에너지 데이터는 VTOM 가공 과정부터 차이가 있으며 각기 다른 특성을 지닌다. 공정 계층 구조는 깊고 연결된 설비들 간의 관계를 나타내는 데 중점을 두며, 공장 에너지 데이터는 각 설비가 차지하는 에너지의 비율을 중요하게 다루고 있다. 따라서 각 데이터의 특성을 고려하여 직관적인 시각화 표현 방법을 모색하는 것이 중요하다. 위 결과를 통해 Sunburst와 Circle Packing Chart는 공장 계층과 흐름을 한눈에 파악하고, 각 노드 별로 차지하는 비율이 표현되므로 방대한 공정 구조 및 에너지 데이터 시각화에 적합한 것을 확인할 수 있다.

2.3 성능 평가

위와 같이 추후 표준 FEMS 시각화 제안을 위한 공장 데이터 시각화 컴포넌트 기술을 제시한다. 컴포넌트는 다른 프로젝트에 유연하게 적용 가능하며, 표준화 시 일관된 스타일과 사용 패턴을 유지할 수 있다. 이를 위

해 컴포넌트의 성능을 평가하고 현재 취약점을 파악하여 개선하고자 한다. 각 컴포넌트의 성능 평가는 Chrome의 LightHouse를 사용하여 진행되었다. 성능은 5가지 측정항목에 비중을 나눠 합산한 총점을 100점 기준으로 평가된다. 페이지의 첫 번째 콘텐츠 출력 시간인 First Contentful Paint, 페이지의 가장 큰 콘텐츠 출력 시간인 Largest Contentful Paint, 레이아웃의 변경 횟수인 Cumulative Layout Shift, 총 응답 소요 시간인 Total Blocking Time, 페이지 로드 시 시각적 표현 속도인 Speed Index로 측정되며 결과는 다음 [표 1]과 같다.

Sunburst와 Circle packing 컴포넌트 성능 항목에서 FCP는 평균 2.5초로 비슷한 렌더링 속도를 가지고, CLS은 0초대의 안정적인 레이아웃 변경이 이뤄진다. speed index는 0.9초에서 최대 1.3초로 평균 1초대로 모두 유사값을 가진 것이 확인된다. 그러나 LCP와 TBT 측정값은 공정 계층 표현 시 Sunburst와 Circle packing 컴포넌트 모두 에너지 데이터에 비해 최소 2.0배 이상 작업 시간이 증가하였다. 이는 공정 계층의 데이터양이 많아 콘텐츠 출력 및 Chart 로딩 시간이 증가하고, 이로 인해 응답 소요 시간도 늘어난 것이 원인이다. 추후 데이터 가공 과정과 로딩, 처리 속도를 최적화하여 개선이 필요하다.

[표 1] 시각화 컴포넌트 성능 측정표

	Sunburst		Circle packing	
	공정계층	에너지	공정계층	에너지
FCP(10%)	0.2sec	0.3sec	0.2sec	0.3sec
LCP(10%)	2.2sec	0.6sec	1.8sec	0.6sec
CLS(25%)	0	0.01sec	0	0
TBT(30%)	310ms	0ms	250ms	10ms
speed index(25%)	0.9sec	0.9sec	1.3sec	1.2sec
총점(100%)	76	100	82	95

III. 결론

본 연구에서는 공장의 실시간 에너지 데이터와 공정 구조의 시각화 컴포넌트 기술을 제시한다. Sunburst와 Circle Packing Chart를 활용하여 방대한 공장 데이터 시각화하여 직관적이고 사용자가 모니터링에 효율적인 효과를 제공하고자 한다. 위와 같은 시각화 기술 도입은 실시간 데이터를 쉽게 확인하고 이상 발생 시 즉각적인 대응 조치가 가능하다.

위 기술은 컴포넌트 기술로 기존의 관리 시스템에 유연하게 적용 가능하여 추후 여러 환경에서 활용 가능성을 가진다. 향후 연구에서는 다양한 시각화 컴포넌트를 추가하고 데이터 처리를 최적화하여 공장 관리 시스템의 성능을 더욱 향상시킬 것을 목표로 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20202020900290)

참고 문헌

[1] 노장훈, 송인빈, 김원식, 박병훈.(2023).공장에너지관리시스템(FEMS) 표준화 연구.한국통신학회 학술대회논문집,(0),67-68.
 [2] 최상수, 송인호.(2021).디지털 트윈 구축을 위한 부분 매크로 파라메트릭 기반 대규모 공장 데이터의 효율적인 웹 가시화 방법.대한기계학회 논문집 A권,45(5),435-442.
 [3] 김준용, 박준식, 나재현, 신예찬, 윤현주.(2023).웹 기반 실시간 공장 상태 시각화 도구 개발.한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집 ,31(2),91-92.