

공장에너지 관리를 위한 건조공정의 이상 분석

이지현*, 허태욱**, 이일우***

한국전자통신연구원 에너지ICT연구실*, 환경ICT연구실**, 에너지·환경ICT연구단***

Analysis of Anomalies in Drying Process for Factory Energy Management

Jihyun Lee*, Tae-Wook Heo**, IL Woo Lee***

Energy ICT* / Environment ICT ** Research Lab., Energy·Environment ICT Research Division***, ETRI

Abstract - 산업부문에서 제품을 생산하는데 소비되는 에너지는 매해 증가 추세이다. 국내 에너지 총 소비량의 60%가 넘는 제조업 산업용 에너지는 효율적 소비에 초점을 맞춰 공정 및 설비 효율화를 위한 지속적인 개선방법이 연구되어 왔다. 본 논문에서는 제조업에 사용되는 에너지 중 스팀을 많이 사용하는 대상 업종의 공정설비에서 정상적인 제품 생산 공정 운영에 이상 발생한 경우에 계측된 데이터를 기반으로 영향 요소 간에 보이는 패턴을 분석하고 패턴 유형에서 차이를 식별하는데 있다.

1. 서 론

국내 에너지 총 소비량 중 산업부문에서 사용하는 최종 에너지는 2019년에 61.8%, 2020년에 62.0%, 2021년 63.1%로 점차 증가하는 추세를 보인다. 제조업에서 사용되는 산업용 에너지는 에너지 산업에 사용되는 산업에너지와 큰 축을 이루고 있다. 참고로 에너지 산업은 전기 발전, 증기/냉온수 공급 등 에너지의 전환이 이뤄지는 업종을 의미하며 제조업에 사용되는 산업용 에너지가 대부분을 차지한다. 2021년 발표된 에너지다소비사업자의 에너지사용량 신고결과를 보면 제조업 사업자가 2020년 기준으로 2,823개이고 에너지 산업자가 121개에 해당하며 각각 에너지 사용량은 전년 대비 6.5%, 1.3% 증가율을 보인다[1]. 가정이나 상업용으로는 전기 사용 비중이 높으나 제조 산업에서는 전기, 스팀, 압축공기, 가스, 냉수 등 다양한 에너지원이 사용된다.

본 논문에서는 제품을 생산하는 제조업 공정에서 소비하는 에너지 중 스팀 에너지 사용이 집중되는 제조설비를 대상으로 제품 생산에 영향을 미치는 인자를 분석해 공정 이상을 식별하는 접근법을 제시한다. 이 방법을 활용하면 제조 공정 이상으로 주요 설비의 에너지 소비에 영향을 미치는 상황을 고려한 종합적인 공정 에너지 사용 관리가 가능해지는 장점이 있다.

에너지 소비 효율에 어떤 요소가 어떤 영향을 미치는 지 알 수 있으면 효율 향상을 위한 낭비 요소를 개선하는데 활용할 수 있다. 제조업종과 공정 설비의 차이에 따라 영향 요소에서 보이는 데이터 패턴은 확연히 상이하다. 그래서 공정에너지 관리는 해당 도메인에 대한 지식이 데이터 분석에 중요한 요소이다. 하나의 업종에서 발견된 결과가 타 업종에 그대로 적용될 수는 없지만 제품 생산에 영향을 미치는 요인 분석은 공장에서 제품 생산에 소비되는 에너지 소비와 공정 이상으로 소비되는 에너지에까지 파급되므로 세밀한 연구가 필요하다. 한편 해당 도메인의 공정지식에 대한 이해가 필요해 연구 접근이 용이하지 않다.

2. 본 론

2.1 스팀을 사용한 제조설비의 열에너지 소비

식품, 제지, 섬유 등과 같이 살균, 가습, 온도 제어가 필요한 제조 공정에서 스팀은 효율적으로 열 에너지를 전달하는 매체로 사용되고 있다. 고온의 스팀을 이동시키기 위해서는 배관이 설치되어야 하고 따라서 초기 비용이 든다. 스팀은 열에너지를 전달하여 동력 제공부터 공정설비에 특화된 목적 수행까지 산업 분야에서 가장 널리 사용되는 매체이다[2]. 스팀은 공정설비 내부를 이동하면서 안전하고 균일하게 에너지를 공급할 수 있다.

피가열체의 주변이나 내부로 주입되어 열을 전달하고, 열함유율이 높아 좁은 구경의 배관으로 전달이 가능하다. 공정 가동 변화에 따라 온도 제어로 압력을 변화시킬 수 있어 취급이 용이하다.

2.2 건조공정에서 건조제품 생산 이상 상황

건조공정은 습식 재료에 열을 가해 대부분 물이나 액체를 제거하여 특정 수분 함량을 갖는 고체 제품을 얻는 과정을 말한다. 열을 공급해서 수분을 제거하는 작업은 제조업에서 중요한 공정 중 하나이다. 건조 중에 증발된 수분은 젖은 재료의 습도를 높이지 않게 증발된 물을 공기 순환을 통해 배출시키는 것이 필요하다. 공기 흐름을 위해 급기가 필요하고 급기량은 최소한으로 하는게 좋다. 왜냐하면 건조공정이 이뤄지는 공간의 공기의 온습도, 급기 속도가 균일하게 균형을 유지해 젖은 재료가 균일하게 건조될 수 있는 조건이 되기 때문이다[3].

본 논문에서는 다양한 공정 설비 중 건조공정에서 이상 상황이 발생하는 경우 네 가지를 다룬다. 분류하면 표 1과 같다. 공정 운영을 방해하는 이상 상황 중 Case 1은 건조설비의 특정 부분의 동작 이상으로 정상 제품이 생산되지 못하는 경우이다. Case 2는 건조 설비를 포함한 생산 라인의 설비 전체가 가동을 멈추고 중지인 상태를 의미한다. Case 3은 Case 1과 이상 원인과 이상 상황 증상이 같으나 공정 이상이 발생된 위치가 다른 경우이다. Case 4는 정상 공정 운영 중 일부러 생산을 중지시켜 생산품이 출력되지 않는 상태를 의미한다. Case 1, 2, 3, 4의 이상이 발생했을 때, 건조된 생산품을 출력하고 있지 않다는 점에 있어 공통점이 존재한다.

<표 1> 생산 공정 이상 상황 분류

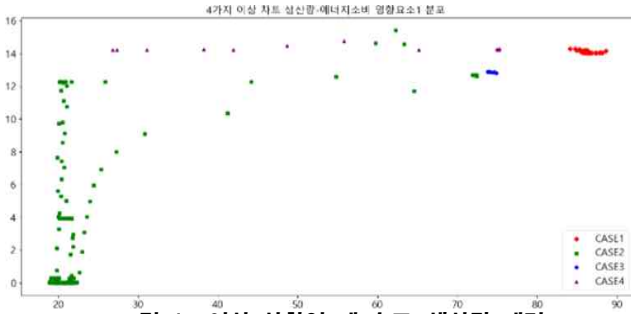
번호	이상 상황 증상
case 1	이상 발생으로 생산 중지(type 1)
case 2	설비 다운타임
case 3	이상 발생으로 생산 중지(type 2)
case 4	생산 중지시킴

건조설비 운전에서 소비되는 에너지의 효율 유무를 판단할 수 있는 중요한 계측 요소가 있다. 그 중 하나가 배기구 공기의 온도와 습도이다. 이 점에 착안해 본 논문에서는 <표 1>과 같이 분류된 네 가지 이상 상황에 대해 건조설비의 (1) 배기 습도, (2) 습식 재료의 수분량, (3) 건조 재료의 생산량에 대한 관계를 분석한다. 분석의 목적은 공정 이상 상황 데이터에 내재되어 있는 데이터의 특징을 살펴보는 데 있다.

2.3 건조공정 이상 상황에서의 영향 변수 관계

열을 공급해서 수분을 제거하는 작업은 제조업에서 중요한 공정으로 공정이 운행되는 중에 효율적인 생산 공정 관리를 위해 원격 모니터링되고 있다. 건조 재료/제품의 상태와 관련된 영향 요소에 대한 원인 분석에 대한 현업의 관심은 매우 높다.

<그림 1>은 배기 습도(x축)와 건조재료 생산량(y축)에 대한 관계를 나타낸다. 각각의 이상 발생 시 보이는 습도-건조재료의 분당 생산량 관계는 각 CASE 별로 상이했다.



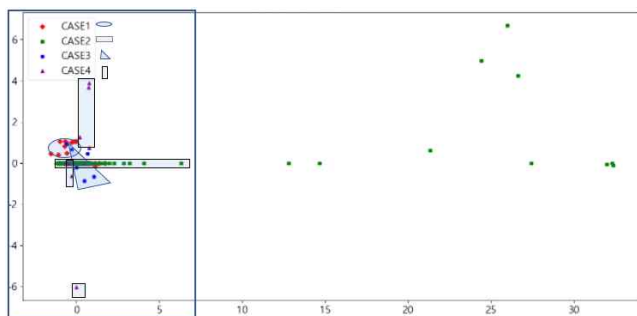
〈그림 1〉 이상 상황일 때 습도-생산량 패턴

〈그림 1〉의 이상 발생으로 생산 중지된 CASE 1의 경우는 빨간색으로 모여있는 점들로 표시했고, CASE 2의 다운타임은 초록색 x축으로 긴 형태인 패턴으로 나타났다. 이상 발생 설비 위치가 다른 CASE 3은 파랑색 점들이 모여있는 형태를 띤다. 생산을 중지시킨 CASE 4의 경우는 보라색 x축으로 긴 점들의 형태로 보인다.

습도에 대해 살펴보면 다음과 같다. CASE 1과 CASE 3과 같이 설비 이상으로 정상 상태인 건조 재료 생산이 되고 있지 않은 경우 공급되는 습도(x축)는 지속적으로 공급되고 있어 분포는 조밀하다. 설비 다운타임은 전체 설비의 가동이 줄어들 것을 알기 때문에 공급되는 스팀양도 낮춘 상태에서 점차 줄어 들게 하여 최소 20정도의 수치로 귀결되는 패턴을 보인다. 설비를 중지시키는 CASE 4의 경우에는 다운타임에 보였던 스팀 패턴과 같이 양이 줄어들어 드는 패턴을 보인다.

생산량에 대해 살펴본다. 분당 건조재료 생산량에 있어 CASE 2는 전체 설비 중지로 가며 생산량이 0으로 귀결되고 있다. CASE 1, 3, 4에서의 수치상 12 이상에 머물러 있는데 공정 설비 이상과 현장의 요구에 따른 설비 중지시킴 상태에서 분당 생산량이 유지되고 있다는 것에는 오류가 있다. 그 이유에 대해 살펴보니 생산량은 무게 센서에 의한 실제 계측 정보가 아니라 설비가 정상적으로 동작할 때의 공정설비가 동작하는 가동 속도와 건조재료의 품목에 따른 설정 무게를 반영한 계산식의 결과라는 것을 현장을 통해 확인해 볼 수 있었다. 따라서 건조재료 생산 무게에 대한 실제측값을 분석에 사용할 필요가 있다. 또한 계산식으로 실 계측을 대신하는 경우 공정설비의 운행 정보가 계산식에 반영되어야 한다는 것을 발견할 수 있었다.

〈그림 2〉는 배기 습도(x축)와 습식재료 수분량에 대한 관계를 나타낸다. 각각의 이상 발생 시 보이는 습도-수분량 관계는 각 CASE 별로 상이했다.



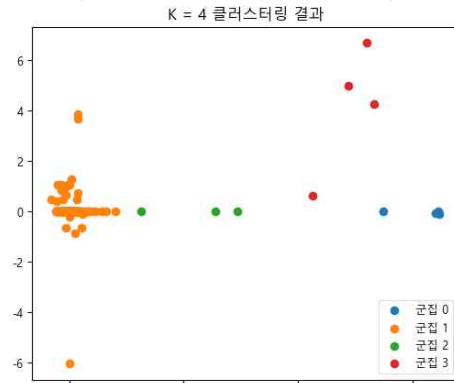
〈그림 2〉 이상 상황일 때 습도-수분량 패턴

〈그림 1〉의 이상 발생으로 생산 중지된 CASE 1의 경우는 빨간색 타원구역으로 표시했고, CASE 2의 다운타임은 초록색 x축으로 긴 직사각형 패턴을 나타냈다. 이상 발생 설비 위치가 다른 CASE 3은 파랑색 세모영역과 같이 점들이 모여있다. 생산을 중지시킨 CASE 4의 경우는 보라색 y축으로 긴 점들의 형태로 보인다.

CASE 1과 CASE 3은 습도분포 대비 수분량에 있어 차이를 보인 반면 CASE 2는 다운타임에 공급되는 습도의 분포가 산포도 측면에서 전체적으로 넓게 분포되어 보인다. CASE 4는 습도 대비 수분의 차이가 CASE 1과 3보다 상대적으로 y축으로 퍼져

보인다. CASE 별 데이터로부터 확인되는 차이점이 확인해 현업에서 이상상황 분류에 습도-수분량 패턴은 유용할 것으로 보인다.

습도-생산량의 패턴에 이어 〈그림 3〉은 배기 습도(x축)와 습식재료의 수분량(y축)에 대한 군집 결과를 나타낸다. 군집개수(K)가 4 이상인 경우 K=4로 구분했을 때보다 품질이 좋지 않았다. 그림 3은 군집 개수가 4일 때의 군집 결과이다.



〈그림 3〉 군집 개수 K=4인 군집

3. 결 론

공정 운행 중 생산이 중지된 경우에 소비되고 있는 에너지량이 절감될 수 있도록 공정운행을 변경할 경우 얼마큼 에너지 소비에 절감 효과를 가져올 지에 대한 관심은 제조 공장에서 매우 높다. 또한 스팀 관점에서 열에너지의 효율적 사용에 대한 효과에 대해 건조 공정 비중이 높은 업종에서 관심이 높다. 열에너지의 효율적 사용을 위해 공정 설비의 주변 환경 개선을 위해 열 손실이 적도록 밀폐형 라인 구역을 설비 주변에 설치하거나 열회수를 통한 폐열 재사용 등이 효율 향상 노력에 포함된다.

공장에서 공정 설비를 가동하는 사업자에게 공정을 반영한 에너지 사용 효율 모니터링은 중요한 관리 요소 기술이다. 하지만 현업의 대다수 공장에서 제조공정에 대한 관리와 에너지 소비에 대한 관리 시스템은 이분화되어 있어 통합 모니터링은 중요하고 연구가 필요하다. 특히 에너지 사용과 관련된 공정 관리 부서들이 분리되어 있어 공정 라인에 대한 통합적 관리는 되기 어려운 것이 실제 상황이다. 따라서 상관관계가 있는 영향변수의 관계와 에너지 소비의 통합적 이해를 돕기 위한 모니터링 기술이 필수적이라는 것을 가능해 볼 수 있다.

본 논문은 공정 이상 시 보이는 패턴을 이상 증상에 관련 있는 영향 인자를 찾고 그들 간의 관계를 찾는 실험데이터 기반 분석이다. 공정 이상에 대한 분석 시 에너지 소비에 영향을 주는 요소에 대한 내용을 향후 에너지 소비 통합 모니터링 기술로 확장해 공장 에너지 관리에 적용할 예정이다.

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

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20202020900290).

〔참 고 문 헌〕

[1] KEA, “KEA 에너지 이슈 브리핑 제 169호”, , 2021. 8.
 [2] 김민수, “산업용 열네트워크와 스팀히트펌프”, 기계저널, Vol. 56, No. 8, pp. 37-41, 2016.
 [3] 김옥신 외 2인, “과열 증기 이용 친환경 건조기술”, Korean Chem. Eng. Res., Vol. 46, No. 2, pp. 258-273, 2008.