

CCTV영상기반 전기로 분진 발생 예측 기술

홍중희, 송원준, 박종률*

포항산업과학연구원, *어니컴

ilyah@rist.re.kr, wjsong212@rist.re.kr, *jrpark8@onycom.com

An Estimation Method for Electric Arc Furnace Dust Concentration using CCTV

Hong Jong Heui, Song Wonjoon, Park Jong-Rul*

Research Institute of Industrial Science & Technology, *Onycom Bigdata AI Research Lab.

요 약

본 논문은 일반적으로 공장 내에 주로 설치되어 사용되고 있는 설비 감시용 CCTV 영상을 활용하여 디지털 영상처리기반의 분진발생을 예측하는 방법을 제안하고 있으며, 그 중 특히 제강공장 전기로 주변의 분진 발생 여부 및 정도의 판단을 목적으로 하고 있다. 알고리즘 내 주로 사용한 영상처리 기법은 일반화, 이진화, 에지 검출, 영상 좌표계 변환 및 이미지 내 픽셀 단위의 차이 계산 등 구현에 있어 시스템 부담 경감을 고려하여 구현 용이성을 극대화함으로써 현장 적용성을 확보하고자 하였다. 알고리즘의 개발 및 적용은 창원에 위치하고 있는 D사 제강공장 내에서 실제 촬영된 영상을 사용하여 수행하였으며, 본 논문의 알고리즘과 실제 운용 영상을 활용한 시험결과는 주요 지표인 분진 발생 판단 정확도의 경우 95.12%, 분진 미발생 판단 정확도의 경우 97.73%로써 기존 경계선 검출 기법대비 월등히 개선된 정확도를 보였다.

I. 서 론

일반적으로 산업 현장에서 분진의 발생은 소재의 분쇄, 절단, 가공 및 포장 등 업계에서 공통되는 대부분의 공정에서 발생하고 있다. 이 때문에 우리나라에서는 1981년부터 산업안전보건법을 제정, 공포하여 시행함으로써 작업자의 근로 환경에 대한 효율적인 산업보건관리에 노력하고 있다. 그러나 현재까지도 우리나라의 주된 산업을 이루고 있는 중화학 계열의 업종에서는 여전히 분진 문제가 개인, 기업 및 사회적으로 심각한 문제를 야기 시키고 있는 실정이다.[1][2]

물론 어느 정도 규모가 있는 중견 및 대기업에서는 공장 내 작업환경 개선을 위하여 고성능의 집진설비를 설치하고 이를 최대 출력으로 상시 가동함으로써 근로자의 작업 시간 내 작업장에 분포하는 분진의 상태를 최적으로 유지하는 운용 전략을 취함으로써 분진 문제를 해소하고 있으나 이는 최근 사회적으로 요구되고 있는 에너지 생산 비용 상승에 따른 에너지 사용 절감 추세에 맞지 않아 향후 공장 내 집진설비의 운용에 있어 최대 전력 상시 운용이 아닌 필요한 시점에 적절히 운용하는 보다 효율적인 집진설비 운용을 통한 공장 에너지 비용 절감 전략이 필요한 실정이다.

이를 위하여 필수적으로 공장 내 분진 환경을 계측할 수 있는 계측 수단이 필수적이나 현재 기술적으로 분진이 많이 발생하는 중화학 계열의 열악한 공장 환경에서 상시적으로 운용할 수 있는 분진 계측 수단 확보가 어려운 실정이다. 또한 경제적으로 어려운 중소기업의 입장에서는 계측 수단이 있다고 하여도 고가의 설치 및 유지비용이 든다면 현장 적용이 어려우므로 저비용의 분진 계측 수단이 필요한 실정이다. 이러한 이유로 최근 들어 일반적인 공장 내에 다수 설치되어 운용 중인 CCTV 영상을 이용한 분진 발생 예측 연구가 활발히 진행되고 있다.[3][4]

이러한 CCTV 영상 이미지를 활용한 대표적인 분진 발생 예측 연구는 촬영 이미지 내 설비의 외형 특성인 엣지 강도(Edge Intensity)를 분석하

고 이의 결과를 실제 계측된 분진센서 측정값과 연계하여 분진 측정값을 제시하고 있다. 그러나 해당 방법론들은 영상처리 기법 중 하나인 이미지 내의 단순 설비 외형 정보만을 이용하는 방법으로써 다소 부족한 85%의 예측 정확도를 보여주고 있으며 보다 효율적이며 실질적인 집진설비의 운용을 위해서는 분진 발생 예측 정확도에 대한 개선이 필요하다.

본 논문에서는 기존 제안 기술에 비해 예측 정확도를 개선하고자 하였으며 또한 적용에 있어 용이한 구조를 채용함으로써 시스템 비용을 줄여 현장 적용 용이성을 확보하고자 하였다. 또한, 분진 계측에 있어 현장에서 다양하게 나타날 수 있는 여러 가지 제한 상황(설비 간섭, 조명 조건 변화)을 자동 감지하여 측정 제외 및 측정값 보정이 가능하도록 하였다.

II. 본 론

본 논문의 분진 발생 예측 알고리즘 주요 구성 및 전체적인 흐름은 아래 그림 1과 같다.



그림 1 알고리즘 전체 흐름도

2.1. 분진발생 사분면 선택

입력된 CCTV 영상에 대하여 분진 발생 유무를 판단하기 위하여 우선적으로 분진 발생 판단에 있어 신호처리 노이즈를 줄이기 위하여 입력 이미지를 사분할 이미지 단위로 처리한다. 첫 번째 과정으로 이미지에 대한 경계선 검출을 위한 전처리 과정을 수행하게 되는데 이를 위하여 전체 이미지에 대하여 3x3 크기의 소벨(Sobel) 마스크를 적용하여 경계선을 검출한다. 이때 검출된 경계선 이미지와 사전에 준비된 분진이 발생되지 않은 영상(대표 영상)의 경계선 이미지의 사분면 기준의 픽셀당 차이값을 연산하여 합산한다. 그 합산된 값이 최대가 되는 사분면이 분진이 발생한 사분면에 해당된다. 아래 그림2는 실제 현장에서 촬영된 분진발생, 미발생 CCTV 영상과 이에 대한 사분면을 도식화한 것이다.



그림 2 전기로 주변 설비감시용 CCTV 및 사분면 도식화 영상 예

상기 그림2에서 1사분면에서의 경계선 픽셀값의 차이가 24,390으로 사분면 중 최대값을 나타내고 있으며 이 경우 1사분면이 분진 발생 사분면으로 판단될 수 있으며 이를 영상 내에서 확인할 수 있다.

2.2. 설비 간섭 이미지 배제

실제 공장 환경의 경우, 예상치 못한 상황을 만나게 되는 경우가 종종 있는데 대표적인 경우가 CCTV 촬영지역을 크레인이나 다른 이동 설비가 지나가는 경우이다. 본 적용의 경우에도 타 설비로 인한 촬영 간섭 현상이 수시로 발생하였으며 이 때문에 이러한 상황을 벗어날 수 있는 알고리즘 개발을 필요로 하였다. 설비 간섭 알고리즘의 첫 번째 과정으로 입력 영상에 대하여 LAB 색 좌표 변환 후 히스토그램 균일화 방식으로 영상 일반화 과정을 수행한다. 또한 사전에 준비된 대표 영상에 대해서도 동일한 일반화 과정을 수행한다. 일반화 과정이 수행된 후 입력 영상과 대표 영상에 대하여 이진화 작업을 수행한 후 이 두 영상에 대하여 차이값(δ)을 구한다. 아래 그림3은 상기 언급한 과정을 수행한 모습 중 간섭되지 않은 경우와 간섭된 경우를 나타낸 것이다.

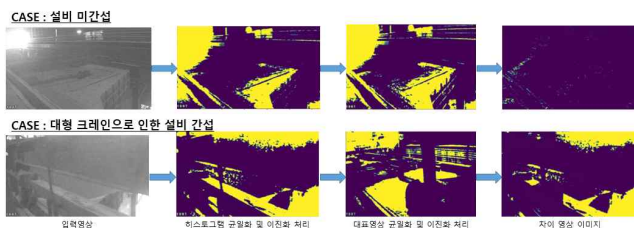


그림 3 설비 간섭/미간섭 이미지 추출 예(대형 크레인)

상기 그림3으로부터 확인되는 바와 같이 시각적으로는 명확히 구분되어 있지만 알고리즘 연산을 위해서는 구분 기준에 대하여 수치적으로 명확히 정의될 필요가 있다. 본 논문에서는 이를 설비간섭 기준이라 정의하였으며 이는 현장 영상을 이용하여 아래의 수식에 따라 구하였다.

$$\text{설비간섭기준} = \frac{\text{avg}(\delta) + \text{avg}(\delta) + \sigma(\delta) + \max(\delta)}{3}$$

2.3. 분진 발생 판단 및 발생을 결정

알고리즘의 첫 번째 단계에서 분진 발생 지역을 판단하기 위하여 사분면 단위의 판단을 수행하였다면 현재 단계에서는 촬영된 전체 이미지에 대하여 분진 발생 여부의 판단과 분진 발생 정도에 대한 상대적 수치값을

구하게 된다. 첫 번째 과정으로 입력 영상에 대하여 이진화를 적용하고 이를 동일하게 처리된 대표 영상과의 차이값을 구한다. 그림4는 상기 과정을 수행한 영상 예제이다.

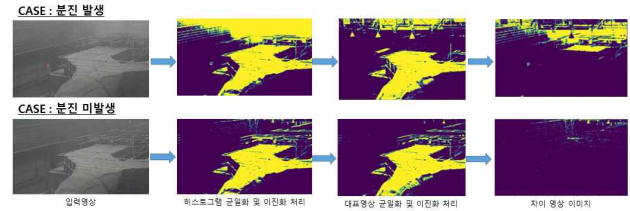


그림 4 분진 발생 및 미발생 영상처리 예

상기 그림4에서 분진 발생 경우 실제 분진 발생으로 인한 대표 영상의 흔적이 나타나며 이로 인한 잔여 이미지가 역으로 분진 발생의 정도를 나타내는 수치로 사용될 수 있음을 알 수 있다. 또한, 분진 발생 판단의 경우에서도 설비 간섭의 경우와 마찬가지로 분진 발생 판단의 기준이 필요한데, 설비간섭 기준과 동일한 기준을 사용하였다. 분진 발생 판단 여부는 상기 연산 중 나타난 차이값에 대한 합산값을 산출하여 분진발생 인덱스를 구하고 이에 따라 분진 발생 여부와 분진 발생 정도를 판단하게 된다.

$$\text{분진 발생 인덱스}(\alpha) = \frac{\text{차이 이미지 픽셀수}}{\text{입력 이미지 최대 픽셀수}}$$

분진 발생 판단 기준은 실제 촬영된 영상으로부터 판단된 분진 영상들의 상기 분진 발생 인덱스를 구하여 기준값으로 적용하였다($\alpha=0.115$).

2.4. 실험 결과

분진 발생 판단 알고리즘을 실제 현장에 적용하여 평가한 결과 단순 경계선 검출에 따른 분진 발생 판단 정확도(77.47%)에 비해 경계선에 대하여 차이를 적용한 본 알고리즘의 분진 발생 판단 정확도(95.12%)가 월등히 개선된 것으로 나타났다.

III. 결론

본 논문에서는 제강공장 전기로 인근 분진 발생 판단 및 발생 정도에 대한 정확도가 개선된 영상처리 알고리즘을 제시하였다. 향후 본 알고리즘에 대하여 분진 계측장치와의 정합성 연구를 통하여 본 알고리즘에서 도출된 수치를 실제 분진 계측기 측정값과 연동하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구임. (20202020800290, 에너지 다소비 업종대상 FEMS 기술개발 및 실증)

참 고 문 헌

- [1] 피영규, "우리나라 철강주조업의 공경별 유해인자 노출 현황," 한국산업위생학회지 2003, 제13권, 제2호, pp. 99-106.
- [2] 임종한, "시멘트 분진과 환경성질환," J Korean Med Assoc 2012, 제 55권, 제3호, pp. 230-233.
- [3] 홍순원, "CCTV를 이용한 미세먼지 농도 유추방법," 한국정보통신학회논문지 vol.23, No. 10, pp. 1234-1239, Oct. 2019.
- [4] K. Dhinakaran et. al., "Dust Particle Detection on Camera Lens," Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Dubai, UAE, March 10-12, 2020.