



음향 분석 기반 고압가스 충전시설 안전점검 지능 시스템 모델

†김성주

대흥산업가스(주) 기술연구소

(2016년 10월 26일 접수, 2017년 4월 26일 수정, 2017년 4월 27일 채택)

Introduction of Intelligent System Model for Safety Monitoring in a High Pressure Filling Station Based on Sound Analysis

†Seong-Joo Kim

Technical Research Lab, Dae-Heung Industrial Gases Co., Ltd., Gunsan 54161, Korea

(Received October 26, 2016; Revised April 26, 2017; Accepted April 27, 2017)

요약

복잡한 플랜트 환경에서의 안전관리는 인적 요인에 의해 좌우되고 있는 상황이다. 이로 인해 인적 오류에 의한 상황 파악의 실패는 심각한 사고의 원인이 되고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 청각 정보에 의해 상황을 인지할 수 있도록 함으로써 복잡한 환경에서의 안전점검의 새로운 수단을 제시하고자 하며, 인간에 의한 경험적 정보를 수반한 상황 인지율을 달성하기 위해 지능이론의 기법 중에서 퍼지이론을 적용하여 음향 정보를 이용한 안전진단 시스템을 제안하고자 한다. 고압가스 충전시설은 매우 단순한 형태이며, 향후 더욱 복잡한 플랜트 시설에 적용이 가능할 것으로 전망한다.

Abstract - Currently, the safety monitoring process in a complex plant environment is proceeded by human. Sometimes, human error that may occur in a filed causes an severe problem. This paper introduces new method of safety monitoring system using sound information and fuzzy theory that is one of intelligent theories, in order to recognize the status of plant environment. In this paper, the filling station of high pressure gas will be used as a test plant. The result system will be widely applied for more complex plant environments.

Key words : safey monitoring, sound analysis, fuzzy logic, intelligence, recognition

1. 서 론

현재 플랜트(Plant)에서 안전 진단 방법에 대하여 고찰 시 안전 점검표와 상태점검 일지 등을 사람이 직접 현장에서 물리적인 관찰을 통해 점검하여 작성한다. 이는 물리적인 현상에 대한 사람의 인위적인 판단에 의하는 경향이 있어, 객관성과 일관성을 유지하기에 어려운 점이 있다. 또한, 이러한 이유로 인해 간혹 사람의 실수 및 착각에 의한 사고로 이어지는 경우가 종종 발생한다. 아울러 시야 확보가 어려운 야간이거나 접근이 어려운 위치에 있는 설비에

대해서는 확인이 쉽지 않아 매우 곤란하다. 따라서 이러한 사람에 의한 실수를 줄이고 물리적인 접근이 어려운 플랜트 대상 설비에 대해서 경험적인 방법에 의해 문제를 파악할 수 있다. 본 논문에서는 플랜트에 문제가 발생했을 경우에 숙련자는 청각을 이용한 소리정보를 통해 현상의 진단이 가능하다는 사실에 착안하여, 초보자나 비 숙련자도 제한된 상황에서의 문제 파악 능력을 보조할 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다.

현장에서 사전 녹음된 음향과 전문가에 의한 구분이 가능한 음향 특성을 분석하여, 후처리 가공 기술을 적용하여 동일한 조건에서 비교가 가능한 데이터베이스를 구축할 수 있다. 구축된 데이터베이스를 기초로 전문가에 의해 사전 구축된 퍼지 규칙(fuzzy

†Corresponding author:dh.sjkim@gmail.com
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

rule)에 적용함으로써 현장의 실시간 음향 정보를 이용한 플랜트 시설의 정상 작동 유무, 위험 요소 감지 등의 판단을 할 수 있을 것이다[1][2]. 본 논문에서는 산업용 가스 충전 시설에서 수집이 가능한 음향 데이터를 이용하여 데이터베이스를 구축할 것이고, 현장에서 20년 이상 안전 관리를 수행한 전문가에 의한 지식을 활용하여 퍼지 로직(fuzzy logic)을 구축할 것이다. 이러한 결과를 실제 데이터를 통한 실험으로 플랜트 시설의 실제 상황과 비교하여 분석하도록 한다[3][4].

II. 본론

2.1. 대상 플랜트 개요

플랜트 시설에서는 소리를 발생시키는 여러 설비가 있는데 대표적인 설비는 안전밸브, 압축기, 압력조절기, 밸브 이음새 등이 있다. 이러한 설비의 특징은 정상 작동 시에 발생하는 소리와 문제가 발생하거나 이상 작동 중의 소리가 다른 것이다. 이는 현장에서의 소리 정보를 수집하여 육안으로 파악하기 어려운 환경 상황에 대한 진단의 요소로 활용이 가능하다. 이러한 정보를 활용하기 위해서는 현장의 소리 정보 추출(녹음), 분별력을 높이기 위한 전처리 기술(증폭, 고주파필터, 저주파필터 등)로 규칙을 생성하기 쉽도록 추출된 정보를 적용하기 위한 지능형 패턴 인식 기법 중의 하나인 퍼지 로직을 적용할 수 있다.

2.2. 환경인지의 퍼지논리

우리는 퍼지 로직으로 일정한 룰(규칙)을 지정하여 현장에 적용하려 한다. 어떤 원소X가 집합 A에 속하느냐(1) 또는 속하지 않느냐(0)만을 나타내는 일반집합과는 달리 퍼지 집합은 어느 정도 속하는지에 따른 멤버십 값으로 나타내기 때문에 수치화하기 어려운 상황에 많이 적용되는 이론이다. 따라서 퍼지이론은 불확실하거나 불분명한 원소들을 하나의 양으로 표현하는 퍼지 집합과 퍼지 논리를 취급하며 정확성의 상대적인 중요도의 표현이 가능하다. 또한 퍼지 논리는 대상 시스템을 완전히 이해한 전문가의 기준이 되는 정보를 기존 제어 기법들과 혼합하여 사용할 수 있으며, 일상적인 언어를 기본으로 하고 있다는 특징이 있다.

퍼지 논리의 주된 목표는 정확한 것이라기보다는 근사적인 추론형태를 취급하기 위해 체계적인 계산 기법과 개념을 전개하는 데 있어 퍼지 논리에서 정확한 추론은 근사 추론의 극한 개념이라 할 수 있으며, 퍼지 논리에서 모든 것은 정도의 문제라 할 수

있다. 퍼지 논리는 개념적으로 이해하기가 쉽고 어떤 임의의 주어진 시스템에 대해서 초기 문제 외에도 다른 문제로의 확장성이 좋고, 부정확한 정보에 대한 허용범위가 크다는 장점이 있다[5][6].

전문가의 이론적인 지식, 현장실무 경험 그리고 앞서 언급했던 음향정보를 토대로 퍼지 규칙을 설정한다. 안전밸브(Ss)에서의 소리가 무음이고 압축기(Sc)의 소리가 일정하며 조절기(Sr)의 소리도 일정하고 실린더/글로브 밸브에서의 소리 또한 무음일 때, 이는 정상운전임을 뜻한다.

(Ss)에서의 소리가 저음이거나 (Sc)에서의 소리가 빠른 저음인 경우 또는 (Sr)에서의 소리 또한 빠른 저음이고 실린더/글로브 밸브에서의 소리가 저음일 시, 이는 이상 운전임을 뜻한다.

마지막으로 Ss에서의 소리가 고음이고 Sc에서의 소리 또한 고음이며 Sr에서의 소리가 빠른 고음이고 실린더/글로브밸브에서의 소리가 고음일 시, 이는 위험한 상태를 뜻한다[7].

2.3. 음향정보 수집 및 특징 추출

대상 플랜트의 정상 운전, 임의로 설정된 이상 운전, 위험 상황에 대해 현장에서 음향 정보를 고성능 녹음장치를 통해 저장하고, 이를 음향 분석 소프트웨어를 통해 특징을 분석하도록 한다. 음향의 크고 작은 소리로 데이터베이스를 구축하고 그로인한 진리 값을 설정하여 퍼지규칙에 적용하려면 특징을 추출해야 한다.

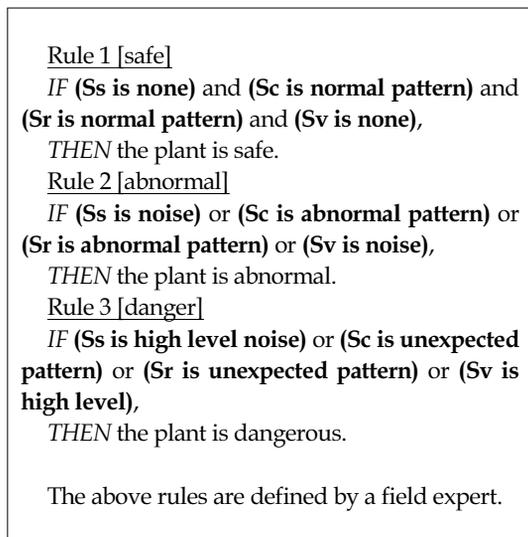


Fig. 1. Example of fuzzy rule.

녹음된 음향 신호를 먼저 표본화율(sampling rate) 보다 높은 고주파 성분을 제거한다. 표본화율이 1/2 보다 높은 고주파 성분을 제거하기 위해 사용되는 HPF(high pass filter)는 LPF(log pass filter) 형태의 필터와는 정반대라 자주 사용될 것으로 예상되지만 실질적으로는 분산형으로 구현하기가 어려워 실제로 매우 제한된다. 낮은 주파수의 감쇄를 막아서 LPF로 구현하는 것은 쉬운 반면 높은 주파수의 감쇄를 막아 HPF로 구현하는 것은 어렵다. 그럼에도 불구하고 저주파 발전의 왜곡을 최소화하기 위하여 HPF형태를 종종 사용하게 된다.

그에 비해 LPF는 모든 필터의 기본형이라 할 수 있다. 가장 간단한 형태로 구현되어, 이것을 기반으로 여러 가지 형태로 변환하여 다른 종류의 필터를 만들게 된다. 고주파 잡신호를 걸러내어 저주파의 필요한 신호만을 골라낼 때 많이 사용되는 필터구조이다. 그 후 ADC(analog to digital converter)에 의해 표본화, 양자화 과정을 거쳐 디지털 신호로 변환, 부호화 하고 그 부호화 된 디지털 정보를 DSP(digital signal processor)에서 원하는 목적에 맞게 편집, 가공, 저장한다. 출력 시 DAC(digital to analog converter)를 거쳐 아날로그 파형으로 변환된다. 이 아날로그 신호는 일부 특정 음역대(밴드폭 3dB)를 기준으로 저장된 음향 정보의 잡소리가 없어서 오차가 적다. 여기에서 착안해 각 신호의 특징을 표준으로 데이터베이스를 구축하여 상황에 따른 퍼지규칙을 구축하고자 한다[8][9].

III. 실험 및 고찰

3.1. 퍼지규칙에 의한 환경인지 룰베이스 구축

실제 플랜트 환경에서의 음향 정보를 녹음하고 이를 통해 가공하는 단계를 거쳐 디지털화된 신호로 변형하는 작업을 우선 진행하도록 한다. 전문가에 의해 구축된 플랜트 진단을 위한 음향 특성 데이터베이스를 통해 퍼지 규칙을 생성하고, 현장에서 추출된 정보와 결합하여 퍼지 로직을 완성하도록 한다.

본 논문에서는 산업용 가스를 충전하는 소형 플랜트 설비를 활용하여 안전점검 기준에 의한 상황 판단을 음향 정보 수집을 통해 수행하고자 한다. 음향 정보 수집을 위해서 대상 설비를 선정하였으며, 설비는 안전밸브, 압축기, 조정기, 밸브이다.

안전밸브는 초저온 저장용기로서 1.0MPa, 1.7MPa 두 종류가 있다. 압축기는 가스를 압축하기 위한 설비로서 동작 압력은 15Mpa 이다. 조정기의 입구측 압력은 0.7~1.0MPa 이고 출구측 압력은 0.3~0.5MPa 이다. 밸브는 가스 실린더 용기의 밸브와 초저온 글로

Table 1. Condition for decision of operation status

Status/Source	Normal	Abnormal	Warning
Safety V/V	silent	low tone	high tone
Compressor	constant	fast low tone	fast high tone
Cryogenic V/V	silent	low tone	high tone
Regulator	constant	fast low tone	fast high tone

브 밸브를 대상으로 선정하였다. 먼저 현장에서의 상황을 정의하기 위해 정상 운전 상태, 이상 운전 상태, 위험 상태의 세 가지 상황을 구현하기 위해 임의의 상태로 환경을 조성하였다. 정상 운전 상태의 경우 일반적인 고압가스 충전 과정에서의 음향 정보를 수집하였으며, 이상 운전 상태로는 용기 충전 압력의 과다 충전 상황을 고려하여 안전밸브가 작동하는 상황을 구현하였으며, 위험 상태의 경우에는 가스 누출이 감지되는 상황을 구현하였다. 이를 간략히 표로 표현하면 다음과 같다.

상기 표에서와 같이 정상 운전의 경우에는 일정한 패턴의 음향이 나거나 무음이고, 이상 운전의 경우 대상 설비에 따라 저음을 발생시키거나, 패턴이 정상 상태에 비해 빠르게 나타나는 현상이 있고, 위험 상황의 경우 고음이 발생하는 경우로 구분하여 플랜트의 운전 상황별 음향에 대해 정의한다.

3.2. 음향 정보 추출 실험 및 분석

사운드 포지(Sound Forge) 8.0은 MS OS 기반 응용 S/W인데 이는 디지털 오디오를 녹음, 분석, 편집, 마스터링 할 수 있다. 뿐만 아니라 실시간 파일 편집이 가능하고, 하나의 파일을 작업하면서 다른 파일을 프로세스 할 수 있는 전문가 수준의 다양한 이펙트와 프로세스들을 내장하고 있으며 다양한 포맷을 지원함으로써 영상 또는 음원을 최소 시간 단위인 프레임 단위로 스펙트럼 분석을 통해 직접 보면서 음향 작업을 할 수 있다. ZOOM H5 Handy Recorder는 휴대용 레코딩 장치인데 내장 스테레오 마이크와 2개의 외부 입력을 조합한 최대 4트랙 동시 녹음 기능이 가능하며 최대 140dB SPL의 음압 입력, 핸들링 노이즈를 억제하는 속마운트 장치를 채용한 X/Y 스테레오 마이크를 내장한다. 또한 입체적인 스테레오 이미지를 수록이 가능하므로 왜곡

없이 파악할 정도로 고전압 설계된 장점을 가진다. 실험을 위해 초저온액화가스 용기에 장착된 안전밸브(설정압력 : 1.7MPa)을 이용하여 가상의 환경을 안전, 이상, 위험 상태를 가공하여 안전밸브가 임의로 작동 상태에 들도록 하여 음향을 추출하였다. 각각의 상태에 대해 그림2~그림10과 같이 추출음향, 대역(dB, mode I), 주파수(Hz, mode II) 측면의 분석을 사운드 포지 소프트웨어를 이용하여 수행한 결

과를 얻을 수 있었다.

대상 플랜트 설비의 네 가지 장치의 음향을 조사하고 분석하였는데 각 상황의 음역대 스펙트럼 분포도와 주파수 및 파형은 모두 달랐다. 이러한 데이터베이스를 퍼지 룰에 적용하여 일관성있게 구축하는데 성공하였고, 청각을 이용한 환경인지로 사고예방을 기여할 수 있는 진단 알고리즘을 도출하였다.

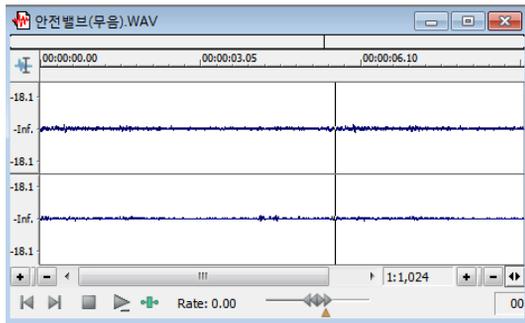


Fig. 2. The wave of stable mode (safety valve).

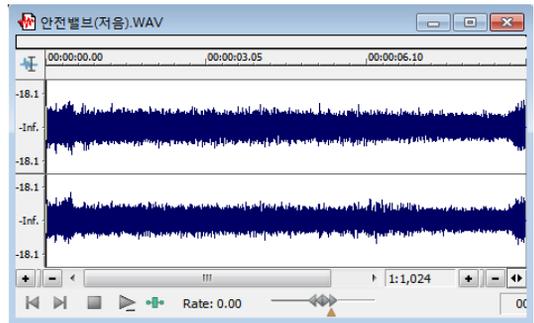


Fig. 5. The wave of unstable status (safety valve).

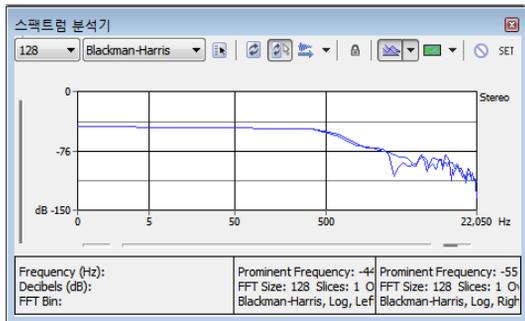


Fig. 3. Analysis of the wave in stable mode(I).

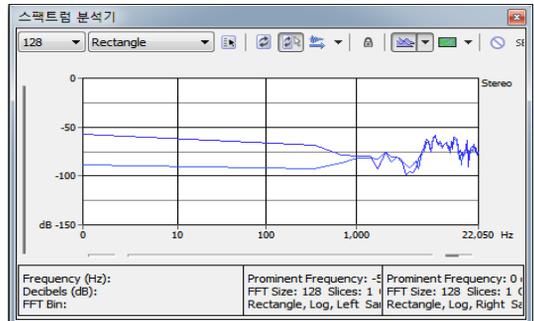


Fig. 6. Analysis of the wave in unstable mode(I)

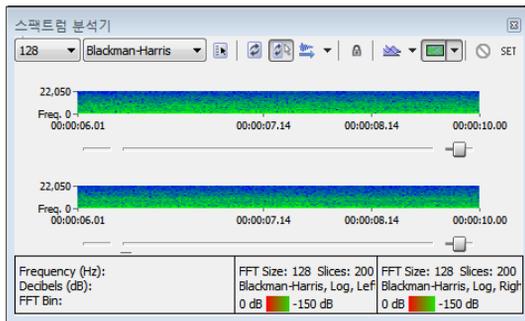


Fig. 4. Analysis of the wave in stable mode(II).

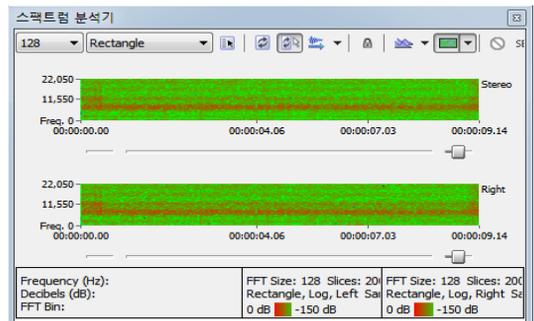


Fig. 7. Analysis of the wave in unstable mode(II).

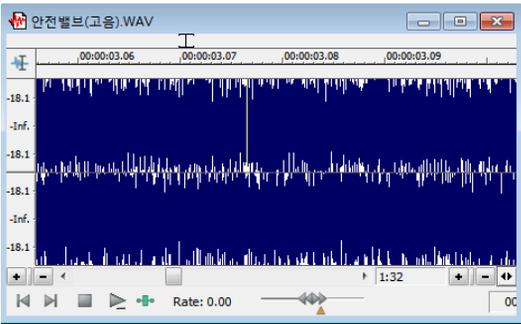


Fig. 8. The wave of warning status (safety valve).

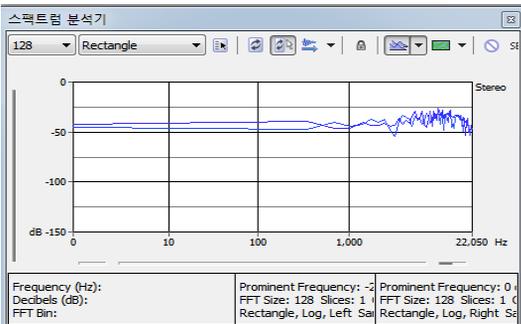


Fig. 9. Analysis of the wave in warning mode(I).

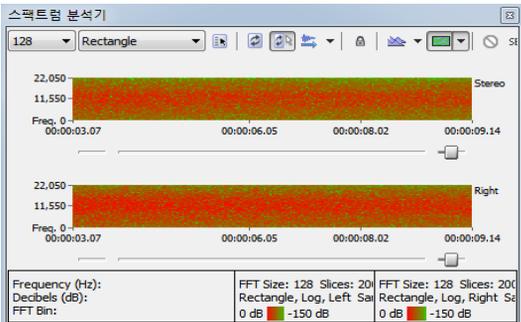


Fig. 10. Analysis of the wave in warning mode(II).

VI. 결론

본 논문은 현장 시설의 안전을 직관적 판단의 중요한 요소인 청각을 이용해 소리정보의 특성을 분석하여 물리적인 이상을 감지 할 수 있게 하는 안전을 확보하기 위한 진단 알고리즘을 제안하였다.

플랜트 설비는 위험상황이 시각적으로 보이지 않

는 경우가 있기 때문에 종종 사고가 발생한다. 이러한 환경적 요인을 인지하면 운용함에 있어 위험 상황에 미리 대처할 수 있는 매우 중요한 영향을 미치기도 하는데 아직은 적합한 판단 기준이 없어 안전 불감으로 인해 사고로 이어지는 경향을 확인하였다. 이와 같은 평가 및 검증결과를 이용하여 청각에 대한 환경 영향 분석을 실시하여 안전 예방을 위한 진단 알고리즘을 개발하였다.

이처럼 본 논문에서 제안한 음성정보 및 청각을 이용한 환경 인지 알고리즘으로 플랜트 안전운용의 평가 기준을 정립하고 이를 진단 알고리즘에 적용한 첫 사례로 현재 운용되는 대상 설비의 안전 확보에 크게 일조할 것으로 보이며 전문가의 지식을 통하여 지정된 퍼지 룰(Fuzzy Rule)을 가지고 비숙련자도 제한된 상황에서 안전점검을 할 수 있을 것으로 판단된다. 추후 연구에서는 플랜트 환경을 고려하여 현장의 잡음을 상쇄시켜 추출 음향의 정확도 및 대상 특정화에 대한 정확도를 높일 수 있는 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 플랜트연구사업의 연구비지원 (14FIP-B085984-03)에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] Byeon, J, Fuzzy Logic Control, Hongreung, Seoul, (1997)
- [2] Tagaki, T. and Sugeno, M., "Fuzzy identification of System and Its Application to Modeling and Control", *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* SMC-15, 116-132, (1985)
- [3] Lin, C.-T. and Lu, Y.-C. "A neural fuzzy system with fuzzy supervised learning", *IEEE Trans.*, 744-763, (1996)
- [4] JS Kim, SJ Kim and HT Jeon, "Intelligent Trace Algorithm of Mobile Robot Using Fuzzy Logic", ITC-CSCC2002, (2002)
- [5] SJ Kim, JS Kim and HT Jeon, "The Intelligent Control for Mobile System(II); with fuzzy logic", SCI2003, Orlando, (2003)
- [6] SJ Kim, "Artificial Information Processing Model Based on Brain Using Neural Network and Fuzzy Cognitive Map", ISIS2005, (2005)

- [7] SJ Kim, JY Seo, HC Cho, SH Kim and HT Jeon, "Modeling of Visual and Audial Information Processing Mechanism in Brain", Proc. of KFIS, Vol 12, No. 1, pp. 187-190, (2002)
- [8] KB Park, Handbook of Live Sound, Ajin, (2014)
- [9] CW Kim, Handbook of Sound Forge 8.0 for Sound Designer, Communications Books, (2006)