

이 논문은 1988~91년도 교육부 학술연구 조성비에 의하여 연구되었음.

공장자동화를 위한 소음 자동검사 시스템의 개발에 관한 연구

윤 강 섭*, 김 현 기*, 이 만 형**, 이 권 순***

Development of an Automatic Noise Detection System for Factory Automation

Kang Sup Yoon*, Hyun Gi Kim*, Man Hyung Lee**, Kwon Soon Lee***

ABSTRACT

An automatic noise detection system is developed to sense abnormal noises in operating a microwave electronic range. A noise detection method is presented which accounts for the effects of background and dynamic noises of the range. A recursive formula used as a noise estimator is a special case of the discrete-time Kalman filter in stochastic processes. Noise levels were measured using a noise acquisition processor in a closed room free of background noise, and detected signals were processed using a microcomputer. The results obtained showed that the fault detection system should be fast in response to the data acquired and should be high in accuracy and reliability.

1. 서 론

시스템에 부과된 목적을 수행하기 어려울 정도로 그 특성이 변하여 이상 혹은 불량(fault) 제품이 발생할 경우 최근 공정 감시계통에서는 검출, 진단, 평가 및 조치결정을 최적으로 수행하기 위한 기법들이 연구되고 있다. 불량검출방법은 어느 설정치에 대한 출력의 증감만을 고려하는 단순한 기법과 최근 수학적 모델링, 신호의 예측, 공정상태변수 측정등에 의한 불량검출방법등이 제시되고 있다¹⁻⁴⁾.

제품에서 발생하는 소음신호를 측정하여 제품의 불량 여부를 판단하는 것이 본 연구의 주요목적이므로 공장소음에 대한 예측 보다는 실측을 통한 공장소음의 현황 파악과 그에 따른 소음신호 측정의 영향 평가가 중요하

다⁵⁻⁶⁾. 소음 유도통을 설계하여 K사 전자레인지(E/R) 공장의 작업장 암소음 및 진동주파수 특성을 분석한 결과 주위 진동과 소음이 저주파영역(300 Hz이하)에 높은 수준으로 분포되어 있었다. 생산라인에서 E/R의 소음신호를 측정할 때 공장내의 각종 기계류 및 설비에서 발생하는 소음이 측정 지점에서의 암소음으로 작용하여 측정 결과에 영향을 미치게 된다⁷⁻¹¹⁾. 측정 대상음의 레벨이 암소음에 비해 10dB 이하일 경우의 측정신호의 S/N 비를 저하시키는 요인이 되므로 암소음의 영향을 배제시킬 방안을 강구해야만 한다¹²⁾.

따라서 공장내 암소음을 차단하여 측정신호의 S/N 비를 높이는 방안으로 구성된 측정실 설치와 측정실 내부에서의 소음 유도통의 사용을 검토하였다. 소음 유도통을 설계 제작하여 측정 소음값들에 대해 정상품과 이

* 부산대학교 정밀기계공학과

** 부산대학교 제어기계공학과(정회원)

*** 동아대학교 전기공학과

상품 사이의 뚜렷한 소음수준 차이 존재 여부, 이상부품별 소음특성 차이 존재 유무, 최적의 측정위치(모든 부품 소음특성이 높게 나타나는 위치), 공급 전원변압 변동에 대한 소음수준 및 특성변화, 부하시동후 시간흐름에 대한 측정값의 일관성, 부하시동 직후의 같은 시료에 대한 측정값의 일관성 등의 특성을 고려하여 측정 자료를 획득하고 이를 분석하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 암소음이 어느정도 존재하는 환경하에 제품의 불량검출을 위해 수학적으로 소음을 모델링하여 순환 추정기법으로 소음들을 추정하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 이상소음 검사시스템 제작가능성을 검토하여 소음 자동검사 시스템을 위한 데이터 베이스 및 E/R 소음 불량검사 장치를 설계 완료하였다.

2. 가전제품의 불량소음

2.1 제품의 소음신호 측정에 대한 기초조사

2.1.1 공장내 소음의 특성 및 해석기법

넓은 공간을 갖는 대형공장내에서의 소음전파 문제는 여러가지 고려해야할 요소가 많으므로 매우 복잡한 문제이다. 일반적으로 규모가 작은 공간 내에서의 음향전파는 벽면으로부터의 반사음이 고르게 분포하므로 확산음장형태로 가정하여 고전적인 실내음향 예측공식을 사용하여도 큰 무리가 없으나 공간이 넓은 실내에서는 반사면의 거리가 멀고 다수의 음원과 다수의 음파산란요소가 산재하므로 확산음장으로서의 가정이 적절하지 않다. 대형공장내에서의 실측결과에서도 보면 음원과 거리에 따른 음향레벨의 감쇄가 두드러지게 나타나는데 이는 오히려 자유음장에 가까운 현상이라 할 수 있다.

공장내에서의 소음특성에 영향을 주는 요소들은 소음원의 위치, 갯수, 음향파워, 방향성, 주파수 특성, 실내 벽면의 크기, 형상, 음향 임피던스, 실내 음향전파에 영향을 주는 각종 기계류 및 설비의 위치, 갯수, 형상, 음향 임피던스 등이다.

공장내에서의 음향장을 파동전파를 고려하여 이론적으로 해석하기에는 경계조건의 표현 및 데이터의 정확성에 문제가 있어 좋은 결과를 얻을 수가 없다. 현실적으로 가능한 방법으로는 축소모형을 제작하여 실험적으로 음향장을 해석하는 방법과 음의 전파를 sound ray의 전파로 단순화시켜 해석하는 기하음향학을 이용한 컴퓨터

시뮬레이션 방법 등이 있다⁴⁾.

본 연구에서는 제품에서 발생하는 소음신호를 측정하여 제품의 불량여부를 판단하는 것이 주요 과제이므로 공장소음에 대한 예측보다는 실측을 통한 공장소음의 현황파악과 그에 따른 소음신호 측정의 영향평가가 더욱 중요하다.

2.1.2 시스템 설치 주위 암진동, 암소음 조사 결과

소음유도통을 설계하여 K사 E/R 공장의 작업장 암소음 및 진동주파수 특성은 주위진동과 저주파수역에서 높은 수준으로 분포되어 있음을 알 수 있다⁴⁾. 이와 같은 저주파수역 진동, 소음등은 간단한 방법이나 시설로 소음들의 절연 및 방음효과를 얻기에는 무척 힘들다

2.2 제품의 소음신호 측정에 있어서의 주변환경의 영향

2.2.1 공장내 암소음의 영향

암소음(background noise)이란 측정대상 음원이 작동하지 않은 상태에서 측정대상음원 이외의 음원에 의해 측정지점에 생성되는 소음을 뜻하는데 본 연구에서 E/R의 소음신호를 측정할 때 공장내의 각종 기계류 및 설비에서 발생하는 소음이 측정지점에서의 암소음으로 작용하여 측정결과에 영향을 미치게 된다.

측정대상음의 레벨이 암소음에 비해 10dB 이상 높은 경우에는 암소음의 영향을 무시할 수 있으나 그 이하인 경우에는 측정음압 레벨의 증가(표 1)를 가져오며 측정신호의 S/N비를 저하시키는 요인이 되므로 암소음의 영향을 배제시키는 방안이 강구되어야 한다.

Table 1. Effect of background noise to measured soundpressure level.

측정대상음과 암소음의 레벨차이	3dB	4dB	5dB	6dB	7dB	8dB
암소음에 의한 측정음압레벨의 증가	3dB	2dB		1dB		

2.2.2 반사음의 영향

벽면, 천정, 바닥, 구조물 또는 인체 등의 음파반사체가 음원 또는 마이크로폰 주변에 가까이 위치하는 경우에는 음압레벨의 측정오차를 수반하므로 주의하여야 한다.

본 연구에서는 E/R 소음레벨의 측정 뿐만아니라 측정소음신호의 분석을 통해 제품의 불량 여부를 판정하는 것이므로 각 제품에 대한 소음측정 환경을 일정하게 유지시키도록 주의하면 신호분석을 통한 제품의 불량여부 판정은 반사음의 영향을 받지않는다고 볼 수 있다. 다만 소음측정 신호로부터 E/R의 소음레벨을 환산하려면 무향실과 같은 규격화된 측정실에서 측정된 소음레벨과의 차이를 보정할 수 있게끔 보정을 위한 데이터를 먼저 확보해야 한다.

2.2.3 기타 환경의 영향

소음신호를 측정하는 마이크로폰의 유형에 따라서는 주위환경에 영향을 받는 경우가 있으므로 마이크로폰의 선택에 유의할 필요가 있다.

예를 들면, 가동코일형 마이크로폰은 자장의 영향을 받으므로 전동기, 변압기, 변전설비 등으로부터 멀리 떨어지도록 해야 하고 수정 마이크로폰은 습도에 영향을 크게 받으므로 주의해야 한다. 본 연구에서는 환경의 영향을 적게 받는 콘덴서 마이크로폰이나 전자 콘덴서마이크로폰을 사용하도록 한다.

2.3 소음 신호 측정 방안의 검토

앞장에서 검토한 바와 같이 공장내의 압소음 레벨은 극히 높은 수준(SPL 85~90dB)으로 그 에너지 분포가 저주파로부터 고주파에 고루 분포하고 있다. 따라서 공장내 압소음을 차단하여 측정신호의 S/N비를 높이는 방안으로 차음벽으로 구성된 측정실 설치와 측정실 내부에서의 소음 유도통의 사용을 검토하기로 한다.

2.3.1 차음벽을 사용한 측정실

차음벽을 사용하여 압소음의 영향을 줄일 경우 차음벽에 의한 차음효과의 예측이 필요하다.

(1) 투과 손실

그림 1과 같이 균일한 음장을 갖는 음원실과 수음실 사이의 중간벽에 의한 음향에너지 전파의 차단량을 투과손실(TL : transmission loss)이라 부른다.

일반적으로 차음벽의 투과손실은 그림 1과 같은 측정장치를 이용하여 실측한 데이터를 이용하지만 측정 데이터가 없는 경우에는 다음 수식으로 예측할 수도 있다.¹²⁾

$$TL = 20 \log(m \cdot f) - 48 \quad (dB) \quad (1)$$

여기서, m 은 두께 $1(mm)$ 에 대한 단위면적당 벽체의 질량(kg/m^2)이고, f 는 주파수(Hz)이다. 식(1)은 질량법칙을 만족하는 주파수 영역에서 TL 예측수식으로 차음벽의 질량을 2배로 하면 투과 손실은 6db 증가하는 효과를 얻을 수 있다.

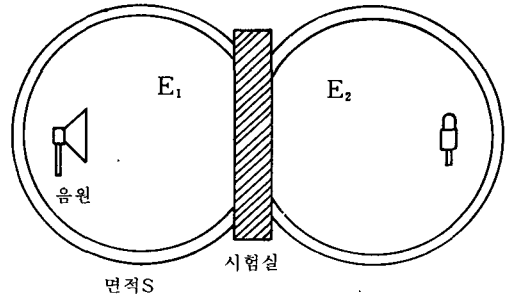


Fig. 1 Measurement of transmission loss.

(2) 측정실내에서의 압소음 레벨

측정실내에서의 압소음 레벨은 차음벽의 투과손실에 의한 소음차단과 측정실내의 벽면의 흡음효과의 영향을 받는다. 두가지 요소를 고려한 감음량은 다음과 같이 표시할 수 있다.¹⁷⁾

$$\text{감음량} = TL + 10 \log(\alpha S_1/S_2) \quad (dB) \quad (2)$$

여기서, S_1 은 측정실의 총 표면적, S_2 는 차음벽의 면적, α 는 측정실내 벽면의 평균흡음율이다.

식(2)는 측정실이 차음벽으로 완전히 밀폐된 경우 적용할 수 있으므로 본 연구에서와 같이 측정실의 완전 밀폐가 곤란한 경우 개구부를 통해 들어오는 소음에너지로 인해 감음량은 현저히 줄어들 것으로 예상된다. 따라서 측정소음 신호의 S/N비 증가를 위해 소음유도통을 사용한다.

2.3.2 소음 유도통의 효과

소음 유도통은 차음벽을 통한 측정신호의 S/N 비의 증가효과와 함께 유도통내부에서의 공명현상에 의한 필터링효과를 일으킨다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 소음 유도통내의 공명 주파수는 기본 주파수의 정수배로 무수히 존재하므로 측정신호는 이 공명주파수 이외의 신호에 대해 필터링효과를 줄 것이므로 소음 유도통의 길이를 적절히 선정하여 E/R의 소음 신호중 제품의 불량여부를 판별하는데 중요한 주파수 성분이 필터링효

과로 제거되지 않도록 설계하여야 한다.

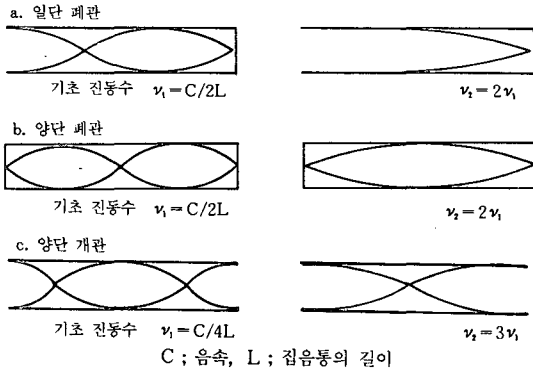


Fig. 2 Resonance frequency in tube.

2.4 E/R 진동, 소음특성 실험

E/R의 주요 소음원은 전원(110/220V)을 공급받아 고전압으로 바꾸는 고전압 변환기(high voltage transformer), 마그네트론(magnetron), 팬(fan), 팬모터(fan motor) 및 상자(case)등이며 각 부분의 형상, 재질 및 조립상태에 따라 특징적 진동, 소음특성을 갖는다.

본 연구에서는 진동, 소음 측정을 위해 가속도계(B&K 4369, 4344), 신호분석기(HP 5420A), 측정증폭기(B&K 2630), 대역통과필터(B&K 1621)등을 사용하여 K사의 암소음 및 E/R의 소음특성 등을 측정하였던 결과를 이용하였다. K사의 E/R 소음 합격조건은 작동중인 E/R가 1m 전방에서 50dB(일반 가정의 소음상태하에서) 이하이다.

따라서 공장 암소음이 존재하고 있는 조건하에서 이

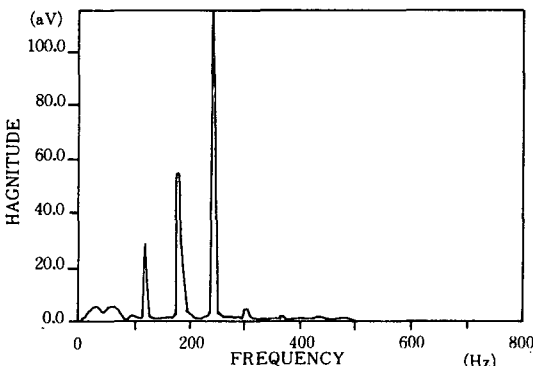


Fig. 3 Line noise example of a bad high voltage transformer.

판정은 불가능하므로 소음유도통을 이용하여 공장 현장의 소음하에서 측정하였다. 그림 3은 고전압 변환기가 불량인 경우 이상소음 특성을 나타내고 있다.

공장에서 불량품의 소음레벨의 기준결정에 따라 이를 판정 기준으로 삼아 기준치와 측정치를 컴퓨터로 비교하여 합격, 불합격 판정을 내릴 수 있으리라 사료된다.

2.5 이상소음 검출을 위한 통계 모델

정상적으로 제작된 E/R의 소음은 작동시 1m 전방에서 50dB 이하를 유지하도록 규정하고 있으므로 생산흐름 라인에서 택 타임을 고려할 때 짧은 시간내에 작동소음을 검사원이 판단하는 것은 매우 어렵고 힘들다. 불량품은 소음이 50dB 이상 지속적으로 나타나는 경우, 어느 주기 보다 50dB 이상 존속후 소멸하는 경우, 조립불량으로 어느 순간에 불량음이 발생하는 경우가 있다. 불량품의 소음레벨이 결정되면, 이를 문턱값(threshold)으로 두고 이 범위를 벗어나는 음파를 발생하면 컴퓨터로 불량을 지시한다면 지금까지 검사원의 청각에 의존한 검사방법을 개량할 수가 있다.

대상 제품의 불량 여부를 판단하는 불량검출법을 추정된 데이터로 부터 구하는 통계학적 방법을 유도한다.

2.5.1 순환 추정 알고리즘

일반적으로 선형 추정문제에서, 즉 랜덤변수 Y가 주어질때 랜덤변수 X를 추정하는 선형 추정문제에서, Y_1, Y_2, \dots, Y_n 을 $E\{Y_i\}=0, \text{Var}\{Y_i\}=E\{Y_i^2\}<\infty$ 이고, 독립된 랜덤변수로, X는 $E\{X_i\}=0, \text{Var}\{X_i\}=E\{X_i^2\}<\infty$ 인 랜덤변수로 가정하면, 주어진 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 에 대한 X의 선형추정자(linear estimator)는 아래와 같은 선형 결합으로 나타내어진다.

$$\hat{X} = \sum_i \alpha_i Y_i \tag{3}$$

그리고, mean square error $E\{(\hat{X} - X)^2\}$ 를 최소화하기 위한 α_i 값을 선정하면 다음과 같다.

$$\alpha_i = \frac{E\{Y_i X\}}{E\{Y_i^2\}} \tag{4}$$

그러나, 식(3)를 이용하여 추정값을 구할 경우 시간이 경과함에 따라 Y의 갯수의 증가로 인한 계산량 증가로 계산이 어렵게 된다. 그래서 계산량의 증가를 피할 수 있는 순환 추정기법으로 사용하고자 한다.

\hat{X}_{i-1} 에 의해서 추정량 \hat{X}_i 를 순환 추정(recursive

estimation)으로 구할 수 있다면, 순환 추정량 \hat{X}_k 는 다음 식과 같이 존재한다¹³⁾.

$$\hat{X}_k = f_k(\hat{X}_{k-1}, Y_k) \quad (5)$$

이때 순환 선형 추정(recursive linear estimation)은 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{X}_k = \hat{X}_{k-1} + \frac{E[XY_k]}{E[Y_k Y_k]}(Y_k - P_{k-1} Y_k) \quad (6)$$

여기서, P_k 는 투사연산자(projection operator)이다.

검사대상제품이 정상적인 경우의 데이터 집합과 정상인지 불량인지 모르는 경우의 데이터 집합의 두가지 데이터 집합으로 주어진다고 가정한다. 이러한 가정하에서 불량검출대상 제품의 생산공정 시스템에 컴퓨터를 이용한 검사장치가 설치되어 있다. 정상제품일때 수집된 소음데이터는 매 측정시점마다 제품소음(X_k)과 암소음(Z_k)의 합으로 두면

$$Y_k = X_k + Z_k \quad (7)$$

이고, X_k, Z_1, Z_2, \dots 는 서로 독립인 기대값이 0인 랜덤변수이고, 그 분산은

$$E[X_k^2] = \sigma^2, \quad E[Z_i^2] = a^2 \quad (8)$$

이다. 그러므로, 식 (7)과 (8)의 조건하에서 순환 공식에 의해 제품소음에 대한 추정량(estimator)은 순환 선형 추정식인 식(6)으로 부터 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{X}_k = \hat{X}_{k-1} + \frac{P_{k-1}}{P_{k-1} + a^2}(Y_k - \hat{X}_{k-1}),$$

$$\hat{X}_0 = 0 \quad (9)$$

여기서, 오차 공분산 P_k 는

$$P_k = \|X - \hat{X}_k\|^2,$$

$$P_k = \frac{a^2 P_{k-1}}{a^2 + P_{k-1}}(Y_k - \hat{X}_{k-1}), \quad (10)$$

$$P_0 = \sigma^2$$

이다.

2.5.2 이상소음 자동추정을 위한 시뮬레이션

생산흐름 라인에 존재하는 제품과 공장내 암소음을 고려하여 식(7)와 같은 모델에서 제품의 소음을 X_k ,

암소음을 Z_k 라 들때 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

$$X_k = \frac{1}{4} \cos(\omega\tau + \theta), \quad (11)$$

식(11)의 X_k 의 기대치는 0이고, 분산 σ^2 은

$$\sigma^2 = \frac{1}{32} \cos(2\pi\tau), \quad \tau = 0.01 \text{ (sec)},$$

$$f = 240 \text{ (Hz)}, \quad Z_k \sim N(0, 1/16)$$

이다. 그리고, θ 의 확률밀도함수 $f_\theta(\theta)$ 는 다음과 같다.

$$f_\theta(\theta) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi} & 0 < \theta < 2\pi \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

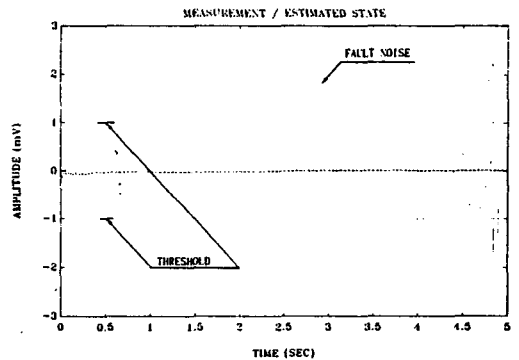


Fig. 4 a) Measurement and estimated state in case of continual fault noises between 2.5 and 5.0 (sec)

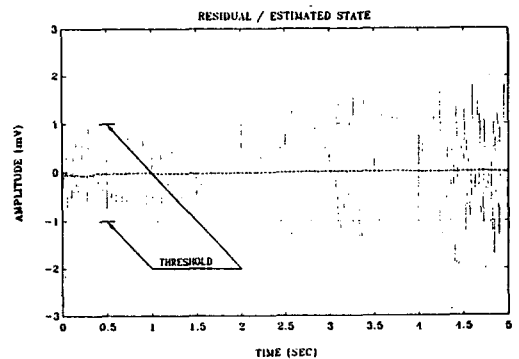


Fig. 4 b) Residual and estimated state in case of continual fault noises between 2.5 and 5.0 (sec)

그림 4는 지속적으로 소음이 기준치 이상으로 존재할 경우에 대한 시뮬레이션 결과로서 문턱값(threshold) 범위 밖에 값이 존재하는 경우를 쉽게 검사원이 판독할 수 있다. 그림 4 a)는 측정치와 추정량, b)는 잔류치(residual) $Y_t - \hat{X}_t$ 와 추정량 사이의 관계를 나타내고 있다.

그림 5는 제품의 불량소음이 단속적으로 짧은 주기에 나타났다가 소멸되는 경우에 대한 시뮬레이션 결과로서 그림 5 a)는 측정치와 추정량, b)는 잔류치와 추정량 사이의 관계를 나타내고 있다.

그림 4와 그림 5의 시뮬레이션 결과로 부터 정상제품과 불량품이 존재하여 기준소음레벨을 벗어나는 불량품을 용이하게 판별할 수가 있음을 보여주고 있다.

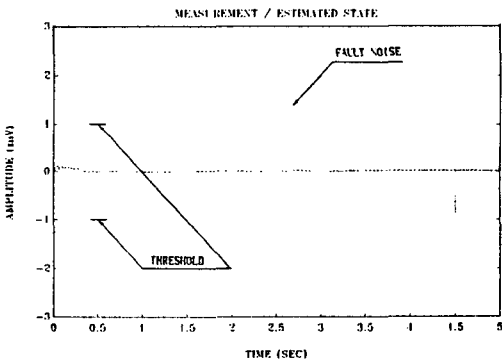


Fig. 5 a) Measurement and estimated state in case of pulse fault noises about 2.7(sec)

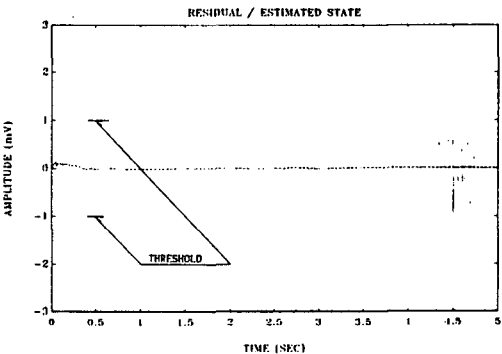


Fig. 5 b) Residual and estimated state in case of pulse fault noises about 2.7(sec)

3. 소음 자동검사 시스템 설계

3.1 소음 자동검사 시스템을 위한 데이터 베이스

3.1.1 소음 수집 데이터 베이스의 목적 및 기능

가전제품 생산라인에서 제품의 소음을 자동으로 검사하기 위해서는 대량의 소음 데이터를 고속으로 수집하여, 수집된 데이터를 파일로 저장, 데이터의 경향을 컴퓨터 화면으로 출력하고, 그 대표값을 지시하도록 하여 제품의 합격여부를 판정하도록 하였다. 이때 생산라인에서의 소음수집 블록선도는 그림 6과 같다.

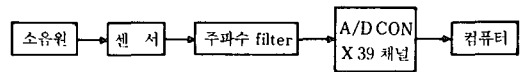


Fig. 6 Block diagram for noise collection.

그림 6에서와 같이 소음데이터를 39개의 채널을 통하여 수집하였고, 컴퓨터를 사용하여 수집된 소음을 분석하기 위한 데이터 베이스는 검사원이 대화식으로 합격 불합격을 판정하고 기록하도록 구성하였다. 암소음의 영

Table 2. Measured noise.

주파수 (Hz)	Open	Close	Open-Close
20	46.28	26.02	20.26
63	39.08	22.92	16.16
100	37.84	25.58	12.26
250	37.50	20.00	17.50
2800-20000	44.08	20.00	24.08
20-400	47.99	40.75	7.24
20-20000	47.99	44.19	3.80



Fig. 7 Closed room for noise measurement.

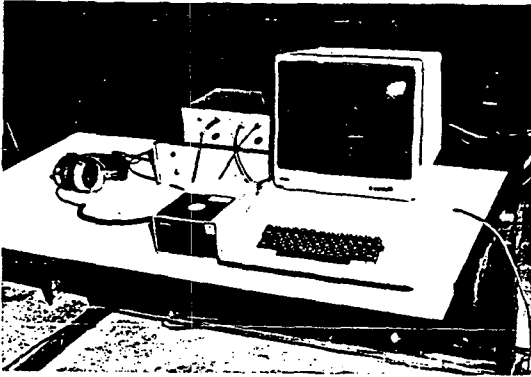


Fig. 8 Computer connection parts for noise measurement.

향을 줄이기 위하여 가전제품의 생산라인에 소형 암소음 차단실을 만들고 도어의 개폐(Close, Open) 상태에서 측정된 데이터는 표 2와 같다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 도어의 개폐에 따라 12~24dB 정도의 차음 효과가 있다. 그림 7은 생산라인에 설치한 E/R 외부 소음 차단 장치이고, 그림 8은 소음 수집 데이터 베이스를 포함한 컴퓨터 연결 부분이다.

3.2 E/R 소음 불량 검사 장치

3.2.1 장치 개요

본 장치는 E/R의 부품불량 조합불량으로 발생하는 이상작동 소음을 조립 라인에서 실시간 자동 식별함으로써 소음 불량 E/R 제품을 자동 판별해내는 기능을 갖는다.

(1) 장치구성 레이아웃

본 장치는 다음의 기능별 모듈로 가) 소음획득 모듈, 나) 시스템 운용 컴퓨터, 다) E/R 승강장치, 라) 방음 검사실, 마) 보조 소음 검사원으로 구성되어 있다. 전 시스템의 구성은 그림 9와 같다.

(2) 장치규격

가) 소음획득 시스템

음압수준 20~140dB 범위내의 소음신호를 수집, 소음 불량 판정 컴퓨터, 보조 소음 검사용 헤드폰, 소음 수준 표시판으로 공급하기 위한 신호조정(Conditioning) 및 변환을 수행한다.

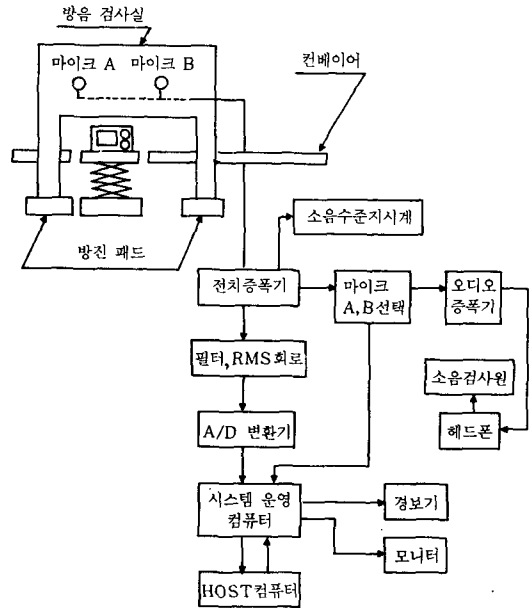


Fig. 9 Total system for noise measurement.

나) 시스템 운영 컴퓨터

디스크 드라이브와 후원전원(Back up)을 갖고 시스템 기억용량이 확장된(64K) 8비트 마이컴으로써 시스템 운용 프로그램을 내장하고 E/R 승강장치운용, 소음신호 처리, 판단 및 판단결과 기록 표시, 호스트 컴퓨터와의 통신, 마이크 선별기능을 수행한다.

다) E/R 승강장치

공압구동기, E/R 위치측정용 빔센서 및 리미터 스위치, 정지용 펄퍼 스톱퍼, 자브라로 구성되어 있고 시스템운용 컴퓨터의 지시(자동 모우드)나 작업자(수동 모우드) 지시에 따라 구성된다.

라) 방음 검사실

검사대상 E/R 소음을 주위 암소음으로부터 격리시킨다. 저주파역(500Hz 이하)에서 15dB 고주파역(500Hz 이상)에서 25dB 정도의 차음효과를 갖는다.

마) 보조 소음 검사원

E/R의 각 모델에 대한 각 소음 특성을 파악하고 정상소음과 불량소음을 판별할 수 있는 능력을 보유한다.

(3) 시스템의 기능적 특성

가) 소음 획득시스템

(a) 마이크 2조(마이크 A, B)를 통한 E/R 소음 수집

방음검사실의 저주파역 차음효과가 충분하지 못하기 때문에 방음검사실내로 유입되는 암소음 수준이 저주파역에서 E/R 소음 수준에 육박한다. 이 문제를 해결하기 위해 마이크를 2조 사용했다. 마이크 A는 소음 유도통내에 설치하여 주위 암소음을 격리하고 효과적으로 E/R 소음원에 근접함으로써 저주파역에서 500Hz 이하의 수집 E/R 소음 수준을 암소음 수준에 비해 10dB 정도 상회하도록 했다. 소음 유도통을 통해 수집된 마이크 A 신호가 고주파역(500Hz)에서는 상대적으로 작아지고 있기 때문에 고주파역 신호는 소음 유도통을 사용하지 않은 마이크 B를 통해 수집한다.

(b) 컴퓨터·입력을 위한 신호조정 및 변환

마이크 A, B로 부터의 소음 신호를 컴퓨터에 필요한 데이터 신호로 바꾸어 주는 기능을 갖는다. 마이크 A, B로 부터의 소음신호는 증폭되어 39개 필터로 구성된 대역통과 필터(Band Pass Filter)세트로 여과된 후 RMS회로를 통해 RMS값 신호로 바뀌고, 이 아날로그 신호는 8비트 A/D 변환기를 통해 컴퓨터가 읽을 수 있는 디지털신호로 변환된다. 마이크 A의 신호는 저주파역(560Hz 이하) 필터에 연결되고, 마이크 B의 신호는 고주파역(560Hz 이상) 필터에 입력된다.

(c) 헤드폰 신호 입력을 위한 조정신호

마이크 A, B는 소음 유도통 및 설치 위치가 다르기 때문에 같은 E/R의 소음을 수집하지만 수집하는 소음 정보는 다르게 된다. 따라서 소음 검사원은 두 마이크 신호를 모두 듣고 판정함으로써 판정에 대한 신뢰성이 높아지게 된다.

(d) 소음 수준 표시계기 입력을 위한 신호조정

마이크 A와 마이크 B로부터의 전 소음 수준을 dB로 표시하기 위해 마이크 신호를 로그 변환기(Log Converter)를 통해 로그값 신호로 바꾼다.

나) 시스템 운영 컴퓨터

(a) 정상 소음 데이터 수집기능

컴퓨터에 내장된 정상 소음 수집 프로그램에 의해 소음검사원과 대화식으로 불량소음 판단에 필요한 기준 정상 소음 데이터를 결정하는데 사용될 정상소음 데이터를 수집한다.

(b) 정상기준 데이터 결정능력

컴퓨터에 내장된 정상 소음 수집 프로그램에 의해 소음검사원과 대화식으로 수집되어 디스켓에 저장되어 있는 정상 소음 데이터를 이용하여 불량판단에 필요한

기준정상 소음 데이터를 결정한다.

(c) 소음 불량 판단기능

컴퓨터에 내장된 소음불량 판단 프로그램에 의해 자동으로 E/R 소음 정상/불량을 판정하고, 판정 내용을 표시해 준다. 그 판단방법은 두가지 절차로 이루어진다. 첫번째는 소음불량기준(1m 전방에서 50dB 이상)을 초과하는지의 여부를 2.5절에서 언급한 방법으로 검사하여 불량여부를 판정하고, 두번째는 정상 소음 수집기능에서 수집된 기준정상소음 데이터와 39개 채널에서 비교하여 기준초과 채널의 갯수와 초과량에 근거하여 불량여부를 판정한다. 이때 부품별 불량 등의 경우에는 특정주파수범위에서 잘 나타나지만, 조립불량 등으로 인한 소음인 경우에는 주파수 범위가 일정하지 않으므로 소음 검사원의 경험에 의존하는 방법(자동-수동 복합검사 방법)으로 검사를 실시한다.

(d) 소음 불량 내용 분석기능

소음 불량 판단 기능에서 불합격된 제품에서 불량원인을 분석하기 위해서 컴퓨터에 내장된 소음불량 판단 프로그램에 의해 소음검사원이 대화식으로 디스켓에 저장되어 있는 검사된 E/R 소음 데이터를 분석한다. 분석 사항은 소음신호의 RMS 스펙트럼(39개 채널), 기준 초과 채널(대역)분석, 기준초과 채널에서의 초과량 분석의 3항목으로 되어있다.

(e) E/R 승강장치 운영

E/R 승강장치를 구성하고 있는 각종 위치센서로부터 E/R 위치를 모니터 하면서 프로그램 지시에 따라 E/R을 승강시키고 뎀퍼스토퍼를 작동시켜 컨베이어 상의 E/R 흐름을 제어한다.

(f) 호스트 컴퓨터와의 통신

소음불량 판단내용을 호스트 컴퓨터에 전송하는 기능을 갖는다.

다) E/R 승강장치

컨베이어 라인 상에 흐르고 있는 검사대상 E/R의 위치상태를 빔센서 및 리미트 스위치 등으로 검출하여 컴퓨터에 알려주고 컴퓨터의 지시를 받아 공압 구동 자브라 형식의 승강기 E/R을 방음 검사실로 옮겨서 넣은 뒤 소음 검사를 완료하고 다시 컨베이어 라인으로 보내 주는 역할을 한다. 컨베이어 상의 E/R 흐름은 뎀퍼스토퍼가 컴퓨터의 지시를 받아 제어한다.

라) 방음 검사실

현재 소음 검사장소는 주위의 큰 작업 압소음으로 인해서 압소음보다 소음 수준이 낮은 E/R의 소음검사가 불가능한 상태이다. 방음 검사실은 이와같은 주위 압소음을 격리시키고 E/R 소음만을 수집할 수 있도록 하기 위해 설치되었다.

마) 보조 소음 검사원

본 자동 검사 장치는 검사대상의 소음특성이 고정되지 않는 특징을 한계로 갖는다. E/R 모델 개발 및 변경으로 부품특성 및 구조특성의 변경이 불가피함으로써 그에 따라 소음특성이 달라지게 되기 때문이다. 따라서 자동 불량 판정을 위한 기준 데이터의 영구설정이 불가능하다.

(4) 검사방법

본 검사장치는 자동검사, 수동검사, 자동-수동 복합검사의 3방법중 한 방법을 택하여 검사를 수행하게 된다. 어느 방법에 의해서 검사가 행해지는 경우라도 검사대상 E/R은 평면위에 정위치되어 컴퓨터제어되는 E/R 승강장치에 의해 마이크 2조가 설치되어 있는 방음검사실에 자동 입출실된다.

가) 자동 검사 방법

자동검사를 위해 시스템 운영 컴퓨터에는 (a)소음 불량 판정, (b)정상 소음 수집, (c)정상 기준 검정, (d)소음 불량 분석 등 4가지 프로그램이 내장되어 있다.

나) 수동 검사 방법

다음의 두가지 경우에는 수동 검사를 하게 된다.

- (a) 자동검사를 위한 준비로써 정상 소음 수집 프로그램의 운영
- (b) 자동검사가 역할을 수행하지 못할 경우
- 다) 자동-수동 복합 검사방법

소음 불량 판정 프로그램은 자동판정 내용 수동판정 내용을 동시에 수용하여 호스트컴퓨터에 전송할 수 있다. 이 경우 자동, 수동 모두 정상 판정 경우에만 호스트에 정상적으로 전송된다.

복합검사 방법은 다음의 두 경우에 이용한다.

- (a) 자동검사를 위한 기준 데이터의 최종 확정때 까지
- (b) 최종확정 기준 데이터에 의한 자동검사가 특정 소음 불량 종류밖에 판정하지 못하고 기타 불량을 검사원이 효과적으로 판정해 낼 수 있는 경우

라) 비상 수동검사 방법

마이티 컴퓨터의 종속 컴퓨터에 이상이 발생한 경우 (소음 불량 판정)프로그램의 운영이 불가능하게 된다. 따라서 E/R 승강장치의 자동운영 및 헤드폰의 마이크 A, B에 자동연결이 불가능해진다. 이 경우 소음 검사원이 2인 1조가 되어 E/R 승강장치와 헤드폰의 마이크 A, B의 연결 스위치를 수동작동시키고 헤드폰을 통해 정상 불량을 판정한 뒤 마이크 A의 소음 수준값을 읽어 마이티 컴퓨터에 입력시켜 준다. 마이티 컴퓨터는 이 판정 내용을 호스트 컴퓨터에 전송한다.

(5) 시스템 신뢰성

가) 소프트웨어

본 장치는 소음 불량 검사 결과에 대한 신뢰성을 크게 제약하는 다음과 같은 요인들을 가지고 있다.

- (a) 다양한 소음원
- (b) 동일 모델의 각 E/R 제품에 사용되는 소음원(부품) 특성 및 조합 상태의 불균일
- (c) 신 모델 개발에 의한 검사대상 특성의 지속적 변경
- (d) 검사실 주위의 높은 작업 압소음

나) 하드웨어

하드웨어의 신뢰성을 위해 검사대상 E/R가 본 검사장치에 머물러야 하는 시간은 감쇠 스톱퍼 1이 하강하여 팰릿이 검사장치로 유입 개시되는 시간부터 검사를 마치고 감쇠 스톱퍼 2가 하강, 검사완료된 E/R이 검사장치를 빠져나가기 시작하는 시간까지로 구성된다. 따라서 E/R의 생산성을 고려하여 소음 자동 검사에 소요되는 택 타임을 25초 이하되게 설계하여 생산흐름에 병목현상이 생기지 않도록 고려하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 소음 측정 시스템의 기본 설계 및 소음 측정 시스템의 제작을 위하여 소음을 통계학적으로 모델링하고 소음기준레벨을 문턱값(threshold)으로 하여 정상, 불량제품의 판단을 위한 판정기준을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인한 결과 이상소음들이 지속적 혹은 단속적으로 존재할 때에도 공장내 압소음의 완벽한 차단 여부에 관계없이 제품의 이상소음을 개발된 알고리즘을

통하여 쉽게 판정할 수가 있었다.

1) E/R의 생산라인에서 대량의 소음 데이터를 고속으로 수집, 수집된 데이터를 화일로 저장, 데이터의 경향을 그림으로 출력하고, 지시된 대표값에 따라 E/R의 합격 여부를 판정하도록 하기위해 암소음 차단실을 제작함으로서 25dB 정도의 차음효과가 있었다. 컴퓨터를 사용하여 소음 데이터를 39개의 채널을 통해 수집 분석하고 데이터 베이스는 검사원이 대화식으로 합격, 불합격을 판정하고 기록하도록 구성하여 실제 라인에서 점검한 결과 50dB 이상의 불량품을 정확히 검출할 수가 있었다.

2) E/R 소음 불량 검사장치의 시스템은 소음 획득 시스템, 시스템 운용 컴퓨터, E/R 승강 하강 장치, 방음 검사실로 구성되었다.

3) 소음원의 위치 및 소음원의 방향성에 따라 마이크 2조를 사용하여 500Hz 이상 및 이하의 소음을 수집해서 39개 필터로 구성된 대역통과필터 세트로 여과된 후 RMS값 신호로 바꾸어 8비트 A/D 변환기로서 디지털 신호로 변환해서 컴퓨터에 전송하여 소음 데이터를 처리하도록 데이터 베이스를 구축하였다.

4) 시스템 운영 컴퓨터에 생산라인 흐름 중에 있는 각개의 E/R에 대해 정상 소음 데이터 수집 기능과 함께 정상 기준 소음 데이터를 저장하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인된 통계학적 소음모델을 기초로 하여 소음 불량 내용 분석 기능을 갖도록 하였다.

5) 본 검사장치는 자동, 수동, 자동-수동 복합검사의 세방법중 하나가 채택되도록 데이터 베이스가 구축되어 검사장치의 오동작 및 고장수리에 대처하도록 설계되었다.

6) 시스템의 신뢰성을 고려한 소프트웨어 측면으로 다양한 소음원, 여러 모델들에 대하여 정상 기준 데이터를 선정하고, 불량 소음 판정을 받은 E/R에 대해 수동검사가 병행하여 이루어지도록 하였고, 검사 소요시간은 생산 흐름을 고려해 20초 이내에 검사를 마칠 수 있도록 설계 제작하였으나, 생산라인 택타임의 가변성을 고려하여 앞으로 15초 이내가 되도록 시스템을 보완해야 하리라 사료된다.

REFERENCES

1. R. Isermann, "Process Fault Detection Based on Modeling Estimation Methods-A Survey," *Automatica* Vol. 20, pp. 387~404, 1984
2. P.M. Frank, "Fault Diagnosis in Dynamics Systems Using Analytical and Knowledge Based Redundancy-A Survey and Some New Results," *Automatica*, Vol. 26, pp. 459~474, 1990
3. 황인규, 권오규, "불확실한 연속형 및 이산형 시스템에서의 이상검출법," *전자공학회 논문지*, 제27권, 제10호, pp. 135~1542, 1990
4. T. Sata, S. Takata and J.H. Ahn, "Operation Monitoring Untended Manufacturing Systems by Means of Sound Recognition," *Proceedings of ASME Symposium on Modeling, Sensing, and Control of Manufacturing Process*, PED-Vol. 23/DSC-Vol. 4, pp. 219~289, 1986
5. 이시복, "가정용 전기냉장고의 소음 진동 저감 및 냉동 사이클의 표준화," *부산대학교 기계기술연구소 보고서*, 1985.
6. 송지복 외 4인, "MWO 소음 및 Survey Testing, M/C 자동화 개발," *부산대학교 기계기술연구소*, 1987
7. B. Fadar., *Industrial Noise Control*, John Wiley & Sons, New York, 1981
8. R. G. White ad J.K. Walker, *Noise and Vibration*, John Wiley & Sons, New York, 1982
9. M. J. Crocker, *Noise Control*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1984
10. M. C. Junger and D. Feit, *Sound, Structures and Their Interaction*, Cambridge, Mass. MIT Press, 1972
11. 이만형, "공장자동화를 위한 소음 자동 검사 시스템의 개발에 관한 연구," *한국학술진흥재단 1.2차 중간보고서*, 부산대학교, 1989~1990
12. K. Lawrence and D.P. Lewis, *Noise Control in The Workplace*, Aspen Systems Co., Maryland, 1978
13. M. H. A. Davis, *Linear Estimation and Stochastic Control*, John Wiley & Sons, New York, 1977

1. R. Isermann, "Process Fault Detection Based