

기계의 상태/고장 진단

채 장 범 (아주대학교 기계 및 산업 공학부)

1. 머리말

사회가 발전하고 생활이 윤택해지면서 사람들은 여유를 갖고 좀 더 안락하고 안전한 환경을 추구하게 되었으며, 또한 산업의 발달로 경쟁은 점점 더 치열해져서 품질관리, 생산성 향상 등과 같은 경제적인 공장 운영에 깊은 관심을 갖게 되었다. 이러한 사회적 변화에서 “기계의 상태 진단” 또는 “기계의 고장 진단”이라는 말이 지금은 상당히 많이 사용되고 있고 그 필요성과 중요성도 인식이 되어가고 있는 것 같다.

기계의 진단은 안전적인 측면, 경제적인 측면 그리고 생산성 향상과 품질 관리 측면 등을 고려하여 수행하게 된다. 현재 기계 진단을 제일 중요시하여 연구하고 진단 장비를 운영하고 있는 곳은 안전에 관련된 곳이다. 특히 원자력 발전소에서는 사용되는 기계의 부작동으로 발전소 주위뿐 아니라 상당히 넓은 지역까지 큰 재난을 초래할 수 있고, 지금의 사회 여론으로는 단 한 번의 큰 사고로도 원자력 발전소 존재 자체에 커다란 영향을 미치게 될 것이기 때문에 고장 진단과 예측에 상당한 관심을 갖고 있다. 안전에 관한 사고로는 아직도 많은 분들이 생생하게 기억할 아현동 가스 폭발 사건도 있다. 보도에 따르면 밸브가 잠겨 있다는 신호를 믿고 작업을 하다가 가스가 누출이 되어 큰 사고를 초래 하였는데 밸브의 이러한 잘못된 조작이나 잘못된 신호는 밸브에 있어서는 가장 많이 발생하는 미작동 중의 하나이며 이러한 미작동은 진단을 통하여 알아낼 수 있기 때문에 가스 누출 사고는 밸브의 진단으로 예방할 수도 있었다고 하겠다.

경제적인 측면을 고려한 기계 진단의 사용은 첫째, 기계가 고가품이어서 기계 자체가 고장이 나면 막대한 경제적인 손실을 초래하는 경우, 둘째는 기

계 자체는 고가가 아니지만 공장 전체 운영에 필수적이어서 그 기계의 고장이 전체 공장 운영을 중단시켜 공장 운영율을 낮추는 경우이다. 세번째로는 기계 진단으로 공장 운영에 필수적인 고가 부품의 예비 보관율을 낮춤으로 경제적인 이득을 얻는 경우이다. 이러한 경우로는 발전소 변압기가 있다. 발전소의 변압기는 상당히 고가이고 변압기 없이는 전기를 가정에 공급할 수 없기 때문에 항상 예비 변압기를 창고에 보관하고 있는데 예비 변압기 수를 줄임으로서 경제적 이득을 얻을 수 있다.

생산성 향상 측면으로는 지속적인 기계 진단으로 불필요한 기계의 정기 점검을 없애 기계의 가동율을 높이고 기계 고장 발생시에도 고장 원인을 즉시 찾아서 신속하게 처리할 수 있게 한다. 또한 생산성 향상에 필수적인 공장 자동화에 기계 진단의 정보를 이용하여 제어하는 것이 절대적으로 요구되어지고 있는 실정이다. 그리고, 품질 관리 측면으로는 가공하고 있는 기계의 상태를 진단함으로써 생산되는 제품의 품질을 예측할 수 있고 이로서 불량품 배출율을 줄일 수 있다. 또한 조립 공정 중에도 조립 정도를 진단하여 조립 중에 품질을 관리하여 조립이 완전히 끝난 후에 품질 검사를 통하여 발생하는 불량율을 줄이고 또한 불량 부품을 조립하여 발생하는 손실을 줄인다.

이 밖에도 기계 진단을 필요로 하고 기계 진단이 사용되는 많은 경우가 있다. 여기서는 기계 진단의 이해를 높이기 위하여 기계 진단의 발전 과정과 현재 개발된 진단 기술의 수준 그리고 진단 장비의 개발 과정 및 진단 장비로서 갖춰야 될 조건 등을 언급적이면 깊은 이론과 수식없이 소개하도록 하겠다.

2. 기계 진단의 발달

기계를 진단하여 고장을 예방하려는 시도는 상당

히 오래 전부터 되어 왔다. 그래서 한 방법으로 작동중인 기계의 움직임(거리 또는 가속도)을 살펴 그 크기의 절대값이 어느 한도를 넘으면 기계의 작동을 중지시키는 것이 초기의 시도라고 하겠다. 그러나 이러한 방법으로는 결함이 상당히 진전된 후에나 발견할 수 있었다. 예를 들어, 기어나 베어링을 포함한 기계에 기어 또는 베어링에 결함이 발생하면, 결함이 발생된 부분이 다른 기계 부품과 접촉을 하게 될 때 접촉힘의 변화로 기계에 진동을 유발시키게 된다. 이러한 진동은 결함이 있는 부품이 다른 부품과 접촉하게 되는 빈도수와 관계되는 주파수 영역에서의 진동을 증가시키게 되는데, 이러한 특정 주파수 범위의 기계 진동이 기계 전체의 진동을 증가시키려면 그 결함이 상당히 진전된 후에나 가능하다는 것은 쉽게 짐작할 수 있을 것이다. 그래서 진단하고자 하는 기계의 진동을 단순히 시간의 영역에서만 살피지 않고 주파수 영역에서 살피는 방법 등이 고안되었다.

측정된 신호의 스펙트럼에서 주파수 별로의 변화 과정을 살핌으로 시간 영역 신호에서는 알 수 없었던 초기 고장까지도 알아내게 되었다. 이후 스펙트럼을 이용한 많은 연구가 진행이 되었고, 특히 회전체와 회전 기계에 대한 이론과 이상 진단의 방법 등은 이미 오래 전에 연구 결과가 많이 나왔다. 회전축의 밸런싱, 얼라인먼트 그리고 축의 휨 등을 측정하고 교정하는 기계는 진단 장비라는 이름으로 상용화되기도 하였다. 그러나 기계 이상 진단에 대한 연구는 회전체에 대한 연구 이후에 상당히 오랜 기간 동안 그리 커다란 진전을 하지 못하였다. 그나마 발전이라고 한다면 계측기와 컴퓨터의 발전으로 그전에는 상당히 힘들게 또는 불가능했던 실험을 손쉽게 그리고 빠르게 수행할 수 있게 되었다는 것이다. 이렇게 회전체에 대한 연구가 먼저 수행되어 연구될 수 있었던 이유는 회전체에 대한 실험은 왕복식 기계에 비하여 신호 측정이 용이하고 신호 처리법이 비교적 쉽기 때문이기도 하다. 즉, 신호를 측정함에 있어 회전 기계는 신호를 평균하는 등의 방법으로 측정 신호의 신호 대 잡음비를 상당히 개선시킬 수 있지만 왕복식 기계는 그 특성상 한번 발생된 신호는 다음 번에 발생하는 신호와는 달라 매번 순간의 신호를 받아 처리를 해야 하기 때문에 고도의 신호 측정 기술과 신호 해석 방법이 필요하기 때문이다.

왕복식 기계의 진단에 대하여는 최근 20년간 측정 장비의 발달과 신호 처리 기법의 발달로 상당한 진전이 있었다. 엔진의 성능을 살피기 위하여 엔진 외

벽에 부착한 가속도계의 신호를 이용하여 진단에 필요한 엔진 실린더 내의 압력 파형을 구하고, 유량을 제어하는 모터 구동 밸브에서 밸브가 완전히 닫혔는지, 밸브 스템은 휘었는지 등의 밸브 진단을 위해 전기적 신호와 밸브 외벽에 붙인 가속도 신호로부터 밸브의 위치와 밸브에 걸리는 힘을 재생해내기도 한다. 또한 대용량 압축기의 성능에 중요한 영향을 미치는 밸브 작동 상황을 살피기 위하여 여러 개의 판 밸브로 구성된 밸브가 언제 열리면서 얼마의 힘으로 밸브 스톱퍼에 부딪히는지도 압축기 외관에 붙인 가속도계의 신호를 분석함으로써 구해내기도 한다. 위의 예는 미국에서 필자가 속해 있던 실험실에서 수행된 과제중 일부 예이며 엔진 진단 장비는 벌써 업계에서 사용되고 있다.

3. 기계 진단의 방법

기계를 진단하는 일반적인 방법은 의사가 사람을 진단하는 것과 상당히 유사하다. 의사는 먼저 환자가 오면 환자의 얼굴과 신체 조건을 살피고 양의사는 청진기로 심장의 소리를 듣고 한의사는 진맥을 하게 된다. 이는 심장의 거동이 많은 경우에 신체 질병의 상태를 잘 대변해 주기 때문이다. 그리고 신체 내부의 좀 더 정확한 상태를 파악하기 위해서 X 선과 내시경 같은 장비를 이용하기도 한다. 이를 기계 진단과 비교하여 설명하면, 의사가 환자의 얼굴과 신체를 살핀다는 것은 기계의 종류와 특성을 파악하고 운전 상태를 관찰함으로써 고장 가능성이 있는 부품을 미리 짐작한다는 것과 같다. 이러한 과정은 전문가들이 소리로 기계의 상태를 예측하는 과정인데, 만일 진단하고자 하는 기계에 전문가가 아닌 사용자가 단순히 진단 장비를 사용하여 기계를 진단하려고 한다면, 진단 장비는 전문가들이 미리 갖고 있는 정보 없이 진단을 하여야 하므로 더욱 정확한 정보를 측정 신호로부터 구해야 할 것이다.

다음으로는 심장의 거동이 진단에 중요한 정보를 주듯이, 기계를 진단할 때에는 어떠한 신호를 측정하면 기계의 상태를 가장 잘 파악할 수 있는가를 결정하여야 한다. 예를 들어, 엔진의 상태(점화 시기, 최고 압력, 노킹 발생 등)를 파악하기 위하여는 실린더 내의 압력을 측정하여야 한다거나 밸브의 진단을 위하여는 각부에 걸리는 힘과 변위를 측정해야 한다는 것 등이다. 이렇게 기계 진단에 중요한 정보를 갖고 있는 신호를 기계 진단에서는 단순히 '신호(signal)'라 하지 않고 '진단 신호(signature)'라는 용

어를 사용하기도 한다. 이렇게 진단 신호란 기계에서 발생하는 신호 자체와 발생한 신호로부터 유도될 수 있는 신호를 포함한다.

진단 신호를 얻기 위한 신호가 결정되면 청진기를 심장 근처에 밀착시켜 진단 신호인 심장의 소리를 살피듯 그 진단 신호를 측정하기 위하여 계측기를 진단 신호가 발생하는 곳에 가능한 한 가깝게 부착하여 측정한다. 그러나 진단 신호를 항상 가까운 곳에서 측정할 수 있는 것은 아니다. 예로 엔진 주행 중에 진단을 하기 위해 실린더 내의 압력을 압력계를 엔진에 부착하여 측정하려고 한다면 실린더 압력은 정확히 측정할 수 있겠지만 압력계의 내구성으로 인해 엔진 전체 내구성에 문제가 발생하게 되고, 내구성이 강한 압력계를 사용하게 되면 엔진의 단가가 상승하게 될 것이다. 그리고 안전이 관계되는 기계에서의 진단은 안전상 사용 기계를 진단의 목적으로 변형시키거나 계측기를 삽입하는 것은 허용이 되지 않는다. 이러한 여러 이유로 해서 진단 신호원 근처에 계측기 부착이 불가능할 경우에는 진맥으로 심장의 거동을 살피듯 계측기를 신호원과는 거리가 있는 장소에 부착하고 계측된 신호로부터 진단 신호를 재생해 내야 한다. 그런데 진단 신호가 계측기가 있는 곳까지 도달하는 동안 신호는 본래의 자기 모습을 잃어버리고 상당히 변질된다. 이 변질된 신호로부터 원래의 진단 신호를 재생해내는데 신호 처리 기술이 필수적이며 얼마나 진단 신호를 잘 구하느냐가 진단의 성공 여부와 직결 된다고 하겠다. 기계의 진단을 수행하면서, 특히 사전의 정보없이 기계 진단을 진단 장비에만 의존하여 수행할 경우, 정확한 진단 신호의 재생없이, 정확한 정보를 주지는 못하지만 진단을 수행할 수 있는 여러 신호를 갖고는 아무리 복잡한 자료 처리 방법을 사용한다고 하여도 결과는 별로 좋지 못할 것이다. 그러므로 진단을 위해서는 무엇보다도 진단 신호 재생에 더욱 관심을 가져야 한다. 여기서 하나 언급할 사항은 만일 기계 진단이 아닌 구조 진단을 하고자 한다면, 신호가 신호원으로부터 계측점까지 도달되면서 변질되는 영향을 제거하는 것이 아니라 어떻게 변질이 되었는가로 부터 구조의 특성으로 알아낼 수 있다는 것이다. 이와 같이 진단의 대상에 따라 진단 신호는 변한다.

진단 신호가 구해지면 진단 신호로부터 정확한 현재 상태를 파악하여야 하고 고장 발생시에는 어떤 부품이 어떤 정도로 이상이 발생되었는가를 알려줘야 한다. 그리고 필요시에는 경보까지 올려줘야 한다. 이를 위한 진단 신호 처리 방법은 상당히 다양

하고 경우에 따라 그 효과가 다르기 때문에 일반적으로 설명하기는 어렵지만 대략 살펴보기로 하겠다.

먼저 기계의 상태를 수식화하여 판단을 자동화할 수 있게 하여 주는 기본적인 상태 평가 신호 처리 방법으로는 parameter estimation 과 parametric modeling이 있다. 특히 기계의 상태를 결정지어주는 parameter가 정의되었을 때 사용되는 parameter estimation법으로는 least square법 pattern recognition 등이 주로 많이 쓰인다. 진단 대상 기계의 구조적 불확실성, 즉 동종의 기계라도 제작 시기, 사용 환경, 작업 시간, 관리 상태 등으로 기계의 동적 특성이 변하기 때문에 발생하는 진단 오차를 줄이기 위한 방법으로는 adaptive filtering이 사용되기도 한다. 그리고 마지막 판단을 내리기 위한 방법으로는 variable threshold logic 그리고 statistical decision logic 등이 있다. 위에서 언급된 방법들은 구체적인 방법이라기보다는 주로 사용되는 해석 방법들의 구분이라고 하겠다. 우리가 진단 시스템에서 흔히 들을 수 있는 전문가 시스템(expert system), 신경망 시스템(neural network system) 그리고 모델을 이용한 진단 시스템(model-based diagnostic system) 등은 위의 방법들의 몇 가지의 조합으로 진단을 내리는 특징을 부각시켜서 이름을 부친 것이다.

진단 시스템에 사용되는 각각의 신호 처리 방법에 대하여 설명한다는 것은 불가능하고, 여기서는 위에 언급된 세 가지 시스템에 대하여 간단히 특성을 언급하는 것으로 대신하고자 한다. 전문가 시스템은 전문가가 진단 신호를 보고 판단을 내리는 것처럼 전문가의 지식을 전부 컴퓨터에 입력시켜서 이를 토대로 진단을 내리는 방법이다. 상태를 분류하고 결정을 내리는 알고리즘이 개발이 되어 많이 쓰이고 있는 방법 중의 하나라 하겠다. 이 시스템은 전문가의 존재를 가정하고 있기 때문에 이미 잘 알려진 기계의 진단에는 효과적으로 사용된다. 그러나 많은 기계가 새로이 개발되고 있는 현 상황에서는 그 기계의 전문가가 생기기도 전에 다른 기계가 나오기 때문에 전문가를 찾기로 쉽지 않다. 신경망 시스템은 현재 많은 곳에서 관심을 갖고 연구가 진행이 되고 있는 분야이다. 이 시스템을 교육시키는 데에는 많은 자료를 필요로 한다. 그러나 기계 특성을 나타내는 많은 자료를 확보한다는 것은 그리 쉬운 일이 아니며 새로운 기계일수록 자료를 구한다는 것은 힘이 들 것이다. 이러한 이유에서 각각의 장점에도 불구하고 새로이 많이 시도되는 방법이 모델을 이용한 진단 시스템이다. 그러나 이 방법은 정확한 모델을

가정하고 있어 모델이 기계를 제대로 표현을 못하거나 특정 결함이 모델에 포함되어 있지 않을 때 오차를 초래하게 된다. 그래서 효과적인 진단 시스템을 위하여는 여러 방법들을 혼합하여 그 신뢰성을 높이고 있다.

4. 기계 진단 시스템의 조건

기계 진단 시스템은 다음의 조건을 만족하여야 한다. 첫째, 신속하게 결함을 발견하여야 한다. 즉 작동상 위험한 결함이 발생하였을 시, 진단 시스템은 이를 즉시 작업자나 운전자에게 통보할 수 있어야 한다. 모든 결함이 신속하게 진단될 필요는 없으므로 만일 진단 신호 처리에 많은 시간이 소요될 경우에는 결함의 중요성을 구분하여 중요한 결함부터 진단하여 신속하게 대처하지 못함으로 발생하는 위험을 줄여야 한다. 두번째로는 결함 초기에 발견을 하여야 한다. 기계의 결함은 갑자기 발생하는 수도 있지만 많은 경우에는 결함이 천천히 진행된다. 초기에 결함을 발견하여 결함이 진행되는 사항을 파악, 앞으로 다가올 결함의 위험 수위에 대비할 수 있다. 이것은 결함에 민감한 진단 신호를 찾는 것과 직접적인 관계가 있다.

세번째로 진단 시스템은 강인(robust)하여야 한다. 강인하다는 데는 여러 가지 의미가 포함되어 있다. 진단 시스템이 시스템에 들어오는 외란(disturbance)과 계측된 신호에 포함된 잡음(noise)에 강인하여야 할 뿐 아니라 진단 시스템에 포함되지 않은 비선형성과 불확실성 그리고 결함 상호간의 유사성으로 인한 판단의 오류로부터의 강인성을 포함하여야 한다. 또한 진단 시스템 자체의 강인성이 확보되어야 한다. 진단 시스템 자체 강인성은 진단 시스템을 진단하는 장치를 돕으로써 가능한데 이에 하드웨어 그리고 소프트웨어적의, 두 가지 방법이 있다. 간단히 설명하여 계측기의 이상 여부는 하드웨어적으로 여러 개의 동종의 계측기를 동시에 돕으로써 파악할 수 있다. 한 계측기의 오류는 다른 여러 개의 계측기 신호와 비교하여 제거될 수 있다. 그러나 이 방법은 계측기 증가로 인하여 진단 시스템 장착의 용이성 측면과 경제성 측면에서 그리 좋은 방법이라고 할 수 없다. 진단 시스템은 최소의 계측기로 결함을 찾는 것이 바람직하기 때문이다. 그러므로 소프트웨어적인 방법이 선호되는데 이 방법은 상당히 높은 수준의 신호 처리 방법을 요구할 경우가 많이 있다. 즉 어떤 한 계측기의 신호를 다른 목적으로 부착한

계측기(계측기 오류를 찾기 위하여 일부러 장착한 계측기가 아님)의 신호로부터 재생함으로써 계측된 신호와 비교하여 계측기의 오류를 찾을 수도 있다. 이 밖에도 여러 가지 방법으로 진단 시스템을 소프트웨어적으로 진단하여 전체 시스템의 강인성을 높일 수 있다. 따라서 신호 처리 방법의 개선과 개발이 중요시되는 이유가 여기에도 있다.

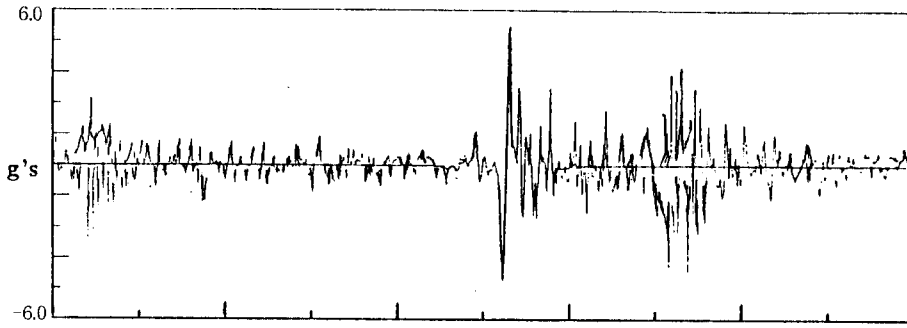
네번째로 진단 시스템은 신뢰성이 높아야 한다. 신뢰성을 높이기 위하여는 진단의 근거가 되는 진단 신호(signature)를 정확히 측정하여야 한다. 만일 진단 신호가 앞에서 언급한 여러 이유로 해서 계측기로 직접 측정될 수 없다고 할지라도 신호 처리법에 의하여 계측기로 측정된 것과 같은 정도를 갖도록 하여야 한다. 그러나 아무리 정확한 계측을 한다고 가정하여도 확률적으로 보면 진단을 잘못할 확률은 언제나 존재한다. 그러므로 경제성과 안전성을 판단하여 판단의 기준을 적절히 잡아야 한다. 즉 결함이 있는데 결함이 없다고 진단하는 첫번째 오류와 결함이 없는데 결함이 있다고 진단하는 두번째 오류 중에서 각 오류가 발생하여 미치는 경제적 손실과 안전에서의 위험성 등이 고려되어야 한다는 뜻이다.

마지막으로 진단 시스템은 사용하기 편하여야 한다. 아무리 좋은 진단 시스템이라도 전문가만이 사용할 수 있다면, 작업을 수행하는 많은 작업자가 전문가일 수 없다는 사실을 고려하여 볼 때, 그 시스템은 무용지물이나 다름없게 된다. 이는 진단 시스템은 진단 시스템에 전문적인 지식이 없는 사용자도 편리하게 사용할 수 있도록 진단 결과를 알기 쉽게 주어야 한다는 뜻이다. 그러나 이보다 더 중요한 것은 전문 지식이 없는 사용자가 진단을 수행함으로써 앞에서 잠깐 언급하였듯이 전문가가 진단을 수행하였다면 전문가로서 사전에 가질수 있는 기계에 대한 정보없이 진단 장비로만 진단을 수행하여야 한다는 것이다.

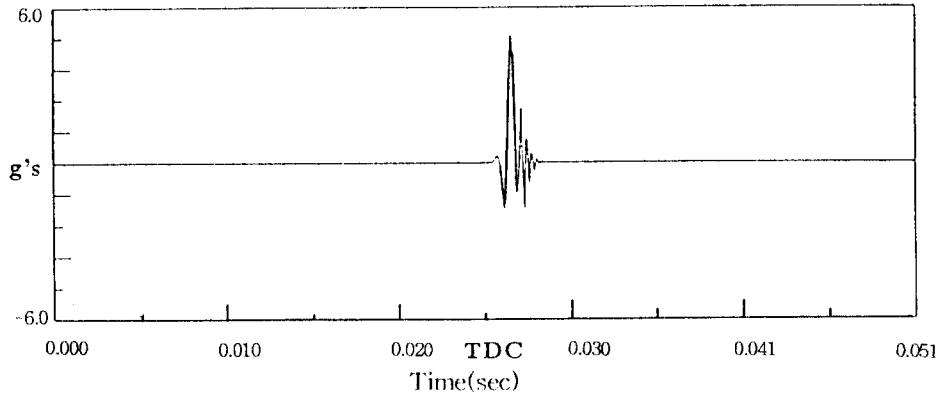
5. 기계 진단 신호 처리의 예

앞에서 진단 방법과 진단 시스템이 갖춰야 할 요건 등을 설명하면서 진단 신호의 정확한 측정 또는 재생이 진단 시스템을 구성하는데 가장 중요한 부분이라는 것을 언급하였다. 그러므로 여기서는 신호 처리로 진단 신호를 구하는 몇 예를 살펴보기로 하겠다.

디젤 엔진의 상태 진단에는 실린더 내의 압력이 진단 신호가 된다. 앞에서 언급하였듯이 압력계를



(a) 연소와 관계되는 신호 부분의 선정



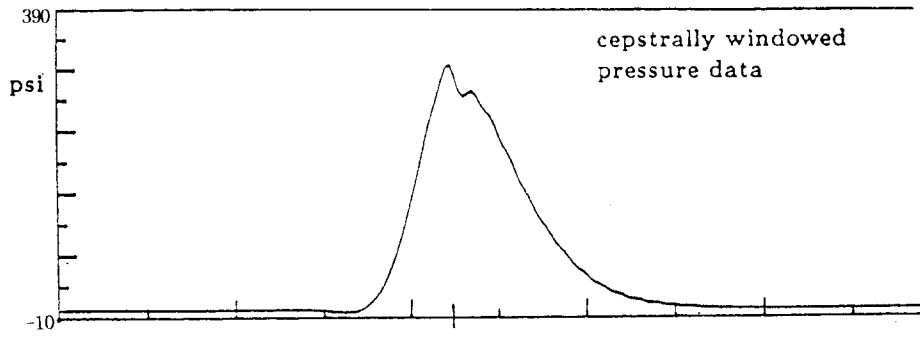
(b) 선정된 신호의 첵스트럼 처리

그림 1 디젤 엔진의 외벽에 붙인 가속도계에서 측정된 가속도 신호

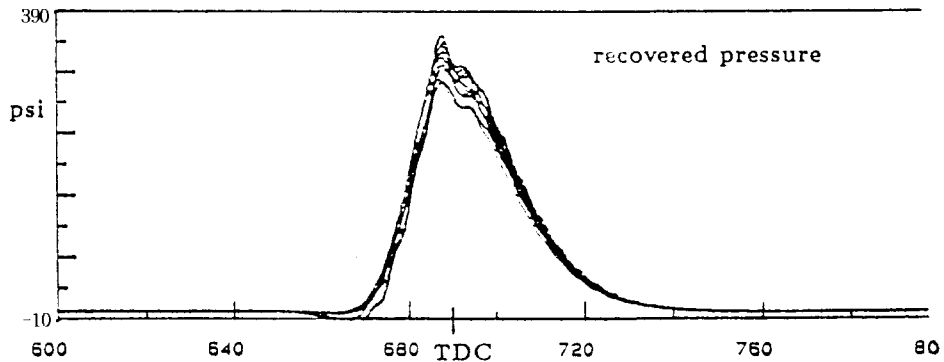
부착하는 것이 허용이 되지 않으므로 엔진 외벽에 붙인 가속도계의 신호를 이용하여 압력을 구한다. 가속도계에 측정된 가속도 신호는 한 실린더 압력 이외에도 밸브의 움직임, 연료의 분사 그리고 피스톤 슬랩(piston slap) 현상 등이 포함되어 있고 여러 실린더에서 연소가 일어날 때마다 시간적으로 연이어서 발생하는 진동의 정보가 있다. 그러므로 처음으로 하여야 할 것이 한 실린더에서 발생한 연소의 정보가 포함된 가속도 신호의 분리이다. 그림 1(a)에 측정된 가속도 신호가 점선으로 표시되어 있고 특히 한 실린더에서 연소로 발생한 가속도 신호 부분이 실선으로 표시되어 있다. 그림에서 알 수 있듯이 가속도 신호는 실린더 압력 파형과 상당히 다름을 볼 수 있다. 그림 1(b)에는 가속도 파형이 첵스트럼(cepstrum)으로 다시 처리된 신호를 나타냈다. 첵스트럼은 신호를 강인하게 하기 위하여 종종 사용된다. 이제 이렇게 구한 가속도 신호로부터 재생된 압력 파형과 압력계로 직접 측정된 압력 파형이 그림 2에서 비교되었다. 그림 2(a)는 첵스트럼으로 처리된 측정된 압력 파형이고 그림 2(b)는 여러 엔진 사이클

동안 가속도 신호로부터 재생된 압력 파형들이다. 그림에서 볼 수 있듯이 상당히 잘 일치하는 것을 알 수 있고 이렇게 간접적으로 구한 압력 파형으로 디젤 엔진의 상태 진단이 수행된다.

다음의 예는 모터 구동 밸브의 진단을 위한 진단 신호 재생의 예이다. 모터 구동 밸브는 유체의 흐름을 조절하기 위하여 화학 공장, 발전소 등에서 많이 쓰이는 부품이다. 밸브가 완전히 닫혔는지, 현재 윤택 상태는 어떤지 또는 다음번 작동시에는 밸브가 정상적으로 작동을 할지에 대한 진단이 안전에 관계되는 곳에서는 필수적이다. 이러한 진단을 수행하기 위한 진단 신호의 하나가 모터의 토크를 측정하는 것이다. 그러나 모터의 토크를 측정하기 위하여 토크 센서의 삽입이 허용되지 않고 예전의 방법대로 전류를 측정하여 대략의 토크를 짐작하게 되면 진단의 정확도가 떨어진다. 그러므로 모터의 토크를 정확하게 얻기 위하여 모터의 전류와 전압을 측정하고 모터의 모델을 개발하여 모터의 토크를 재생해 내는 신호 처리 방법을 이용한다. 이의 결과가 그림 3에 표시되어 있다. 모터의 토크는 기계적 메커니즘을



(a) 켈스트럼 처리된 측정된 압력 파형 신호



(b) 가속도 신호로부터 재생된 압력 파형 신호

그림 2 실린더 압력 파형 신호

통하여 힘으로 바뀌지고 이 힘과 힘 측정기로 직접 측정된 힘과 비교되었다. 실선이 계측기로 측정된 값이고 점선이 계산된 값이다. 마지막의 계측값과 계산값의 차이는 모터의 토크의 계산은 전원이 끊어지면 0으로 떨어지는 반면에 측정기 기계적 메커니즘상 힘은 계속 유지되게 되어 발생한 것이다. 모터가 작동되는 구간에는 실제적으로 상당히 잘 일치함

을 알 수 있다.

마지막 예는 밸브 충격 신호의 재생의 예이다. 밸브가 부딪히면서 발생시키는 힘의 파형은 임펄스이고 이로 인한 진동의 파형은 시간상 상당히 퍼져 있다. 그림 4(a)는 충격 파형이고 그림 4(b)는 이로 인한 진동 파형이다. 이때 진동 파형으로부터 힘의 충격 파형이 재생된 결과가 그림 5에 나타나 있는데

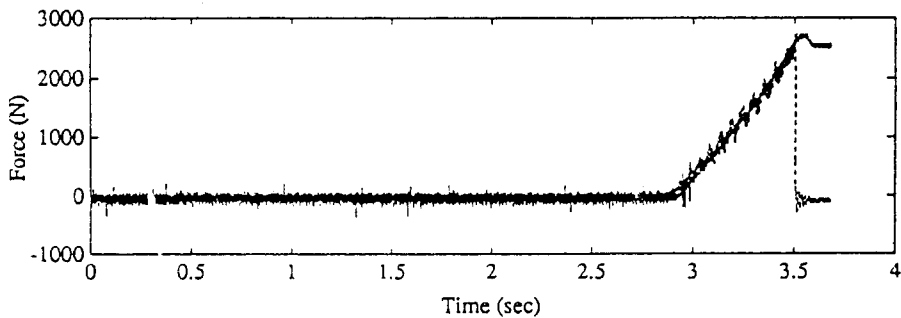
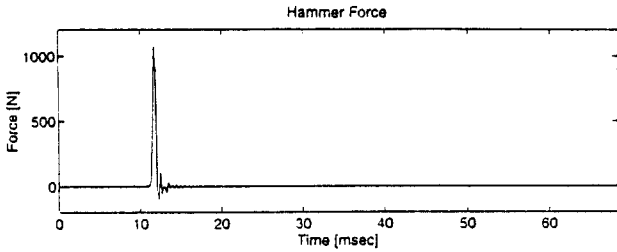
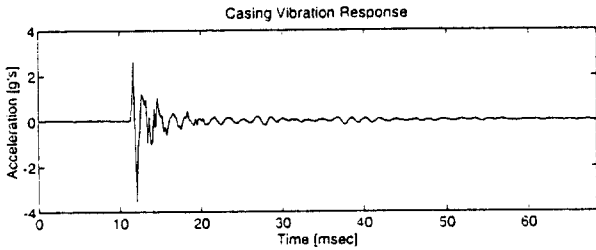


그림 3 계측된 모터 힘과 전류 신호와 전압 신호로 재생된 모터 힘의 비교



(a) 충격 해머의 충격힘



(b) 충격에 의한 진동 파형

그림 4 충격 해머에 의한 충격 힘과 이로 인한 진동 파형

그 충격의 시간과 크기가 정확히 재생되어 있음을 알 수 있다.

6. 맺음말

진단 시스템에 대한 필요성과 관심이 높아가고 있는 가운데 진단 방법의 수준과 진단 시스템의 조건 등을 살펴보았다. 물론 언급되어진 사항들이 일률적으로 모든 진단 시스템에 적용이 된다고는 말할 수 없다. 왜냐하면 진단 시스템은 진단의 대상, 진단의 종류 등에 따라서 각각 최선의 방법이 따로 존재하기 때문이다. 그러나 공통적인 사항은 진단 신호를 얼마나 잘 재생해 내는가에 따라 진단의 성공

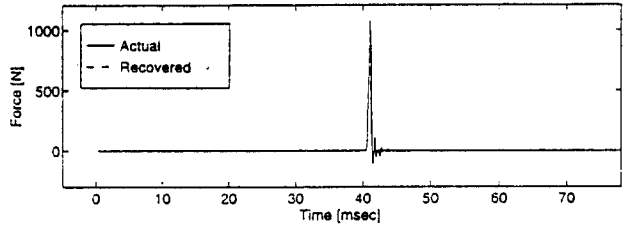


그림 5 측정된 충격힘과 진동 파형으로부터 재생된 충격힘의 비교

여부가 달려 있다는 사실이다. 기계 진단 신호 처리의 예에서 살펴보았듯이 신호 처리 방법에 따라 재생된 신호의 정확도는 달라질 수 있다.

계속적인 새로운 진단 기술의 개발과 응용으로 안전적이고 경제적인 공장 운영과 공장의 자동화에 크게 기여할 수 있기를 바라며, 좀 더 많은 분들이 관심을 갖고 기계 진단의 기술을 활용할 수 있기를 기대한다.

참고문헌

- (1) Lyon, R. H., 1990, "New Diagnosis Procedures for Diesel Engines," International Machine Monitoring and Diagnostics Conference, Los Angeles, Ca, Oct. 22~25.
- (2) Lyon, R. H., 1987, Machinery Noise and Diagnostics, Butterworth, Cambridge.
- (3) Chai, J., Lyon, R. H. and Lang, J. H., 1994, "Non-Invasive Diagnostics of Motor-Operated Valves," Proc. of Americal Automatic Control Conference, Vol. 2, pp. 2006~2012.