

PdMA

Electrical Maintenance 담당자들이 Multi-tester 또는 Mega-Tester 를 이용 Motor 들에 대한 Troubleshooting 을 수행하기란 매우 어려운 상황이 될 것입니다. 이러한 환경에서는 불행하게도 전기적인 문제가 있는지 없는지 판정하기에는 충분한 정보를 취득 할 수 없습니다. 문제가 있는 기계가 있게 되면 이에 대해 기계 담당자와 전기 담당자간에 전기적인 문제 혹은 기계적인 문제인지에 대해 현장 경험자라면 누구나 한번은 논쟁한 경험을 갖고 있을 것입니다.

이러한 일은 현장에서 계속적으로 논쟁하는 일이며 기계 분야에서 처음 개발된 기술인 진동에서 2X 주파수 (2FL) 스파이크를 나타낼 경우 이것은 전기적인 문제를 의미 하였습니다. 그러나 이러한 판단이 옳은 것인지 또는 틀린 판단인지를 속단 할 수 없습니다. 오늘날 2FL 에는 많은 다양한 요인을 분석할 수 있습니다.

Resistance to Ground 또는 megger Testing 을 하면 필요한 모든것을 얻을수 있다” 라고 하는 것은 믿기가 어렵습니다. 우리들이 신뢰할 수 있는 Megger Tester 를 가지고 멈춘 모터를 점검한 후 정상이라는 판단을 하여 이 멈춘 Motor 를 재 가동 할 때 전기 엔지니어로서 얼마나 많이 불안해 하였는지 경험 하였을 것입니다.

사실 Turn-to-turn Short 와 같은 문제는 motor 를 멈추게 하는 여러 원인중에 하나로서 Megger 를 사용하여 판단 할 수 업스는 문제입니다. 권선들 사이에 절연 파괴는 Stator Slot 내부에서 발생하는 것이거나 또는 권선 끝 단에서 발생하는 것으로 Ground 로 부터 완전히 고립되어 있습니다. Phase to Phase Short 는 동일한 방법으로 발생합니다. 이러한 Faults 들이 제거되지 않고 그래도 방치하게 되면 권선이 빠르게 파괴되는 결과가 되며 결국 전체 Motor 를 교체해야 되는 결과가 됩니다. 멈추었던 Motor 를 재 가동할 경우 이러한 Faults 요소들은 제거 한 후 가동을 해야 합니다.

Trouble Shooting 전기적인 문제가 있다고 의심되는 전동기를 이상이 없다고 판단하는 경우는 없어야 합니다. Motor 의 전기적인 상태를 정확하게 리포트하기 위해 그리고 담당자 판단을 진지하게 취득한 담당자의 판정을 확신하기 위해 Trouble Shooting 을 시행하는 동안 확인해야 할 6 fault zone 이 있습니다. 이들 fault zone 의 어떠한 한 항목을 관가하게 되면 문제를 해결하지 못하는 결과를 초래하게 되고 담당자의 신뢰를 잃게 됩니다.

Six Electrical Fault Zone:

1. Power Quality
2. Power Circuit
3. Insulation
4. Stator
5. Rotor
6. Air Gap

Power Quality: Power Quality 분석은 비 정기 정비설비 및 사용 빈도가 많은 AC/DC Drive 에 적용되는 신뢰성 있는 방법으로 최근 각광을 받고 있습니다. 첫째 전원 품질 문제를 말 할 경우 진지하게 고려되고 있는 것은 전압과 전류 Harmonics Distortion (왜곡) 현상, 전압 스파이크, 전압 불균형과 power factor 들입니다. 물론 이들 요소 전부가 중요하지만 Harmonic 왜곡으로 시작되는 몇 가지 문제들에 초점을 맞추어 검토 하기로 합니다.

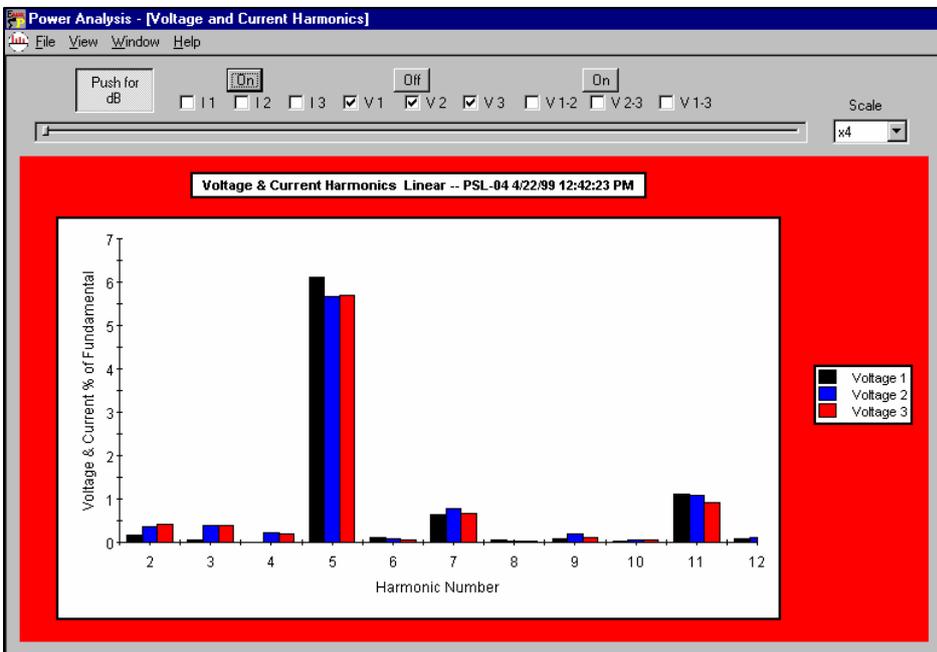
Harmonic Distortion 은 항상 중요하게 생각하진 않는 내용중에 하나입니다. 만약 이러한 기본적인 관념을 깨뜨리게 되면 Harmonic Distortion 은 가장 기본적인 핵심 요소입니다. 이 주제에 가장 보편화된 참조 요소는 Total Harmonic Distortion (THD)입니다. THD 는 fundamental percent 로서 표현되는 Root-mean square value 를 함유하고 있는 root-mean-square harmonic 비율입니다. 단순하게 표현하자면 Line Frequency (Fundamental)이 제외된 시그널의 RMS 값입니다. 완전한 60

Hz Since Wave 는 0% THD 입니다. Fundamental Line Frequency (60Hz)이외의 것을 Harmonic Distortion 으로 생각 하면 됩니다.

Common Non-Linear (Switching) Loads 는 앞서 언급한 것과 같이 computer, florescent lighting 및 variable frequency drive (VFD)들을 포함합니다. 배전 시스템에 Harmonics 가 존재하게 되면 전류가 증가하객 되고 과도한 열을 발생하게 합니다. 이러한 과전류는 절연 피해를 일으키게 되고 결국 심각한 고장을 일으키게 됩니다. 과도한 zero sequence harmonics 는 반대로 transformer 에 영향을 끼쳐 과부하와 고장을 발생시킵니다. High zero sequence current 는 neutral bus 를 통하여 source 로 돌아가게 되고 이것이 보다 과도하게 되면 열이 발생하여 심지어 화재까지 발생합니다. 이러한 파괴적인 피해를 피하기 위해 많은 회사들은 배전 시스템을 개조하고 있습니다. 이러한 개조에 널리 사용되고 있는 방법으로는 Harmonics 로 인하여 발생하는 과부하를 처리하기 위해 설계된 K-Transformer 를 설치하는 것과 과전류 부하를 수용하기 위해 neutral mil size 를 향상 시키는 것입니다. 이러한 방법은 비록 harmonics 를 줄이지는 못하지만 고장 위험을 줄일 수 있습니다. Harmonics 를 제거 하려면 zero sequence filter 와 같은 filtering mechanism 의 설치가 요구 됩니다.

IGBT 에 설치 된 새로운 몇 대의 VFD 는 Microsecond 보다 짧은 시간에 엄청난 양으로 Line Voltage 를 초과합니다. 오래된 class B insulation system 은 이러한 급속한 상승에 낮은 tolerance 를 갖고 있고, 이러한 경우 매우 빠르게 고자를 일으킬수 있습니다. Drive 를 설비 할 경우 Inverter duty 에 의해 설계된 motor 를 강력하게 추천하고 싶습니다. Drive 와 motor 사이의 과도한 cable 길이는 motor connection box 에 높은 전압 스파이크를 발생하게 하는 높은 저항을 발생하게 합니다. 이러한 이유로 drive 제조 회사는 정확한 cable 거리를 통상 명시합니다.

IEEE 519-1992 Table 2.2.1 General Guideline 에 명시 된 바로는 <69kv systems operating 에 대해 <5% voltage THD 를 추천하고 있습니다. 더욱이 개별 harmonic voltage distortion 은 <3%로 추천하고 있습니다. Figure 1 은 Unacceptable voltage distortion level 에 대한 예를 보여주고 있습니다. 이들 높은 harmonic level 들은 fundamental frequency (figure 2) pulse riding 으로서 전압 시그널 상에 보여 주고 있습니다.



High 5th and 7th harmonics indicate the presence of a 6 pulse drive influence on the distribution system. Each of the individual harmonics should be <3% of the fundamental per IEEE 519-1992.

Figure 1

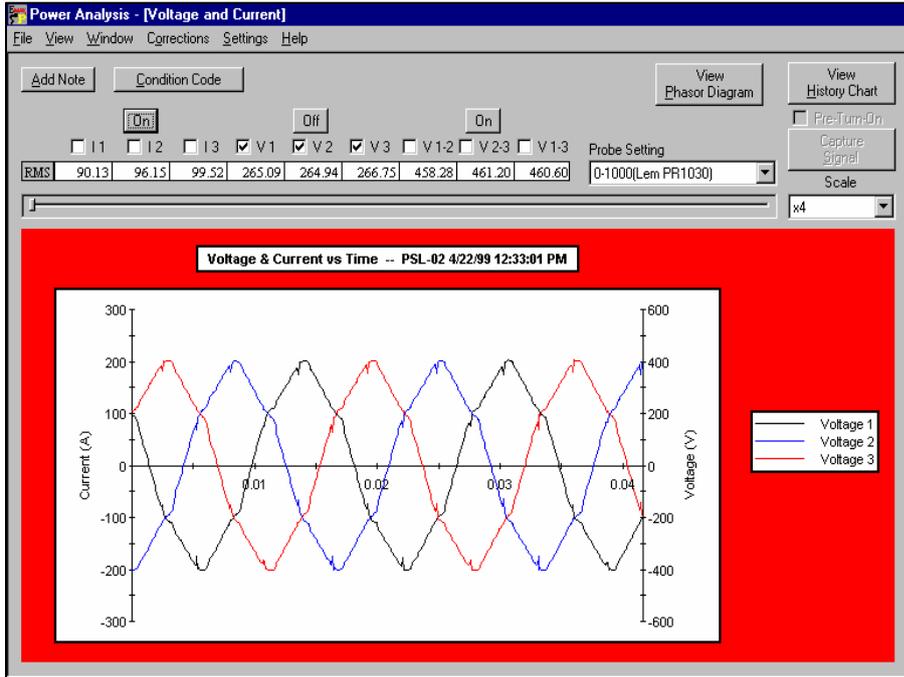


Figure 2 shows a fundamental 60hz voltage signal with 6 pulses occurring throughout each sinewave. This resulted from an unfiltered 6pulse drive connected to the distribution system.

Figure 2

Power Circuit: Power Circuit 이란 무엇인가? Power Circuit 은 motor 에 연결하여 테스트를 시작할 지점부터 모든 conductor 와 connection 을 말합니다. 이것은 circuit breakers, fuse, contactors, overloads, disconnects, 및 lug connections 을 포함합니다. 1994 산업 전원 배분 시스템에 대한 demonstration project 에서 motor 효율을 저하시키는 fault 의 46%가 connector 및 conductor 였다는 발표가 있었습니다. 많은 motor 들이 faulty power circuit 에 설치되어 비록 초기에는 정상 상태로 동작되지만 이러한 상태는 harmonics, voltage imbalance, current imbalance 등과 같은 문제의 원인이 됩니다. 이러한 문제는 보다 심각한 문제로 발전되기 때문에 motor 의 horse power rating 을 떨어 뜨리고, 온도를 상승시켜 절연 파손을 야기시키는 원인이 됩니다.

이러한 motor 는 자주 교환을 하게 되고, 고장이 반복 됩니다. 그림 3 에서 볼 수 있는 것과 같이 높은 Resistance Connection 은 전압 불균형의 결과로 horsepower rating 을 떨어 뜨립니다.

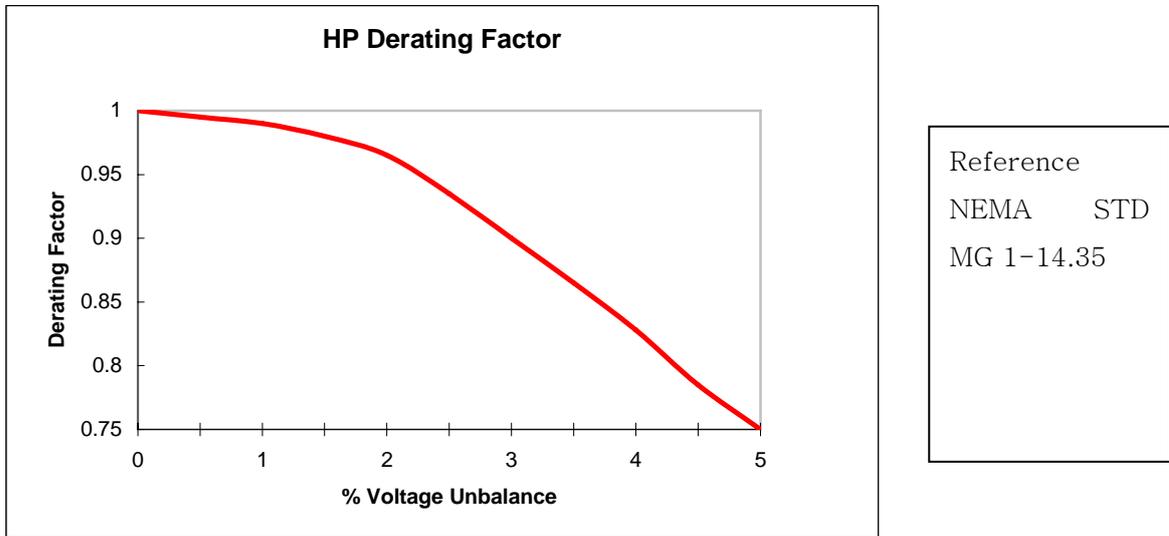


Figure 3

Phase to Phase Resistance Testing 은 높은 Resistance Connection 을 측정하는 한 방법입니다.

3 상 모터의 경우는 3 Resistance 측정 값이 유사해야 합니다. 만약 3 Resistance 측정 값이 모두

동일하다면 Resistive Imbalance 값은 0%입니다. 한 개 또는 그 이상의 Phase 들에 높은

Resistance 가 발생하게 되면 Resistive Imbalance 값이 높아 지고 Fault 로 나타납니다.

높은 Resistance connection 에 원인으로 발생하는 fault mechanism 은 다음과 같습니다:

Corroded terminals

Loose cables

Loose bus bars

Corroded fuse clips

Corroded contacts

Open leads

Different size conductors

Dissimilar metals

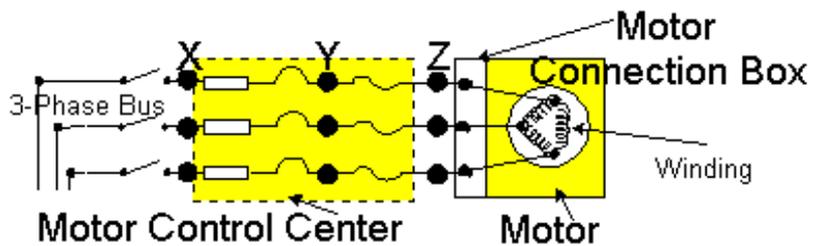


Figure 4

그림 4는 High Resistance connection의 실제 위치를 파악하기 위한 3 Different Resistance Test Point를 보여 줍니다. Position X는 Fuse의 upstream입니다. 만약 Resistive Imbalance가 계속 높다면 Contactor의 downstream인 Position Y로 이동합니다. Position Y에선 Resistive Imbalance의 존재를 확인 하였을 경우엔 Position Z에서 테스트하여 문제 부분을 Power Circuit에서 고립시키고 문제 부분을 판정 합니다.

Insulation condition: 이것은 권선과 그라운드 사이에 절연을 측정하는 것입니다. 높은 온도, 사용 연수, 수분, 오염등 모두가 절연 수명을 단축 시키는 요소가 됩니다. 만약 절연을 건조 상태로 유지 시키면 모터의 수명을 두배로 늘릴 수 있습니다.

오늘날 insulation system은 많은 발전을 하여 수명을 단축시키지 않으면서도 높은 온도를 처리 할 수 있습니다. 그러나 기대 하였던 것 보다 빨리 절연 상태가 여전히 파손되고 있습니다. 절연 약화가 고장의 원인으로 가장 많다는 것을 명심 해야 하며, 이 fault zone이 다른 문제를 일으키는데 영향을 끼치고 있습니다. Power Circuit은 절연에 막대한 영향을 일으킵니다. High Resistance Connection이 5% voltage imbalance 이상인 상태가 Motor upstream에 있고 HP Rating대로 모터를 계속 동작 시키게 되면 절연 수명이 단축 됩니다.

Stator Condition: stator란 무엇인가? 이는 DC. 또는 3 Phase AC Windings, 권선 사이의 Insulation, 코일 사이의 solder joint 및 stator core 또는 lamination을 포함합니다. Motor windings에서 발생하는 공통된 fault 중에 하나는 turn to turn fault입니다. 이것은 동일 코일에 두 회전 선 사이에 절연이 파괴 된 경우 발생하며, balanced magnetic field를 발생 시키는 코일의 능력을 저하 시킵니다. Unbalanced magnetic field는 진동을 일으키는 원인이 되며, 절연 상태 저하 뿐만 아니라 베어링 고장을 일으키게 됩니다. Short로 인한 국부적인 열은 다른 코일로

퍼지게 되고 코일과 코일간에 short 의 원인이 됩니다. 과도한 열은 motor 권선에 파손 뿐만 아니라 stator core 사이에 절연을 파손하게 됩니다.

Motor Winding 에 발생하는 또 다른 fault 로는 phase to phase fault 가 있습니다. 이것은 동일 slot 에 서로 근접해 있는 두 별개 상 (phase) 사이에 insulation break down 의 결과가 됩니다.

voltage potential 의 높은 차이는 Phase to phase fault 가 빨리 진행되는 결과를 낳으며 phase 들 간에 누수를 줄이려면 다른 phase 사이의 동일 slot 에 slot paper 를 설치 해야 합니다.

Turn to turn 또는 phase to phase short 는 ground fault 에 대한 원인 없이 자주 발생됩니다. 그 이유는 예방 정비를 위해 단지 megger 만을 가지고 테스트하여 발견하지 못하였거나 fault 를 분석하지 못한데 있습니다. Small Winding Fault 가 파손의 원인으로 전개되기도 하며, permanent core damage 로 전체 모터를 교체해야 하는 원인이 되기도 합니다.

Stator Testing 은 모터에 직접 연결하여 실행 할 수 있을 뿐 아니라 MCC 에 연결하여 실행 할 수 있습니다. Test 하는 동안 고주파 AC Signal 이 모터로 보내지게 되며, 이들 signal 은 phase 사이에 match 된 권선 주위에 자기장을 발생하게 합니다. 각 phase 에 대한 inductance 측정 값은 다른 phase 와 비교하고, inductive imbalance 값이 계산됩니다. Rotor influence 를 뺀 inductive imbalance 는 균형된 자기장을 발생 시키는 각 phase 의 능력을 비교하는데 사용 됩니다.

Test 하는 동안 DC signal 은 모터로 전달되며, 이들 시그널에 의해 권선의 실제 저항, 또는 권선 정황이 측정 됩니다. 3 상 유도 전동기의 세 저항값은 resistive imbalance 발생 사항을 비교하여 계산합니다. 만약 이들 기준 레벨을 초과하게 되면 high resistance connection 은 코일 사이에 solder joint 에 있는 것입니다.

Stator winding 의 구성에는 2 개 기본형이 있습니다. 첫째는 wye (또는 Y) 연결이 있으며, 두번째는 Delta 연결이 있습니다. Inductance Reading 이 무엇인지 완전히 이해하는 데는 권선 구성을 이해함으로써 도움이 됩니다.

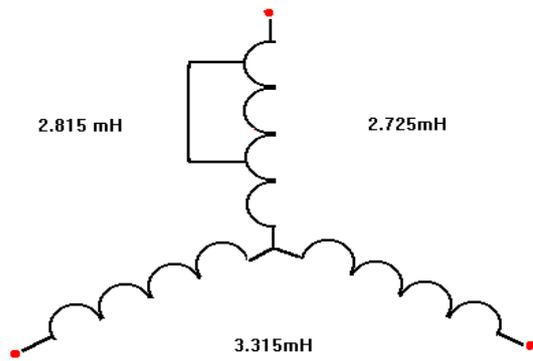


Figure 7

Turn to turn short “Y” Configuration Winding 의 Phase-to-phase Inductance 값을 검토하게 되면 2 개의 low inductance reading 과 한 개의 high inductance reading 을 볼수 있습니다.

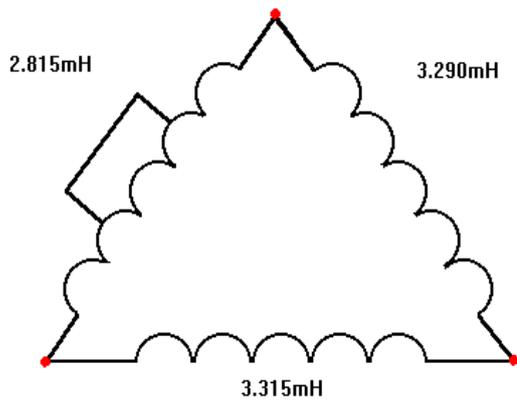


Figure 8

Turn to turn short “delta” Configuration Winding 의 Phase-to-phase Inductance 값을 검토하게 되면 1 개의 low inductance reading 과 2 개의 high inductance reading 을 볼수 있습니다.

Rotor Condition: 이것은 개색 bar, rotor lamination, 및 rotor 의 end ring 을 말하는 것입니다.

Rotor 상태를 테스트하는 한 방법으로는 Rotor Influence Check (RIC)가 있습니다. RIC 는 ac

Induction, Synchronous, 및 Wound Rotor Motor 에 대한 Rotor 와 stator 사이의 magnetic coupling 을 파악하는 테스트 입니다. 이러한 관계는 rotor 의 상태 및 motor 내 air gap 에 대한 상태를 나타냅니다.

Rotor Influence Check 는 Rotor 를 single Pole Group 이상 특정 각도를 (Pole 수에 의해 결정됨) 회전 시키면서 실행하며 3 상 모터의 각 상에 대한 inductance measurement 의 변화를 기록합니다. 적당한 해석을 위해서는 pole group 당 18 inductance measurement 가 요구 됩니다.

Broken Rotor Bars, 또는 damaged lamination 와 같은 fault 는 inductive balance 가 낮더라도 존재 할 수 있습니다. 만약 RIC 테스트를 시행할 경우 baseline test 상에 inductive balance 가 얼마나 높은가 뿐만 아니라 rotor bar defect 의 말기에 있는지도 검토 할 수 있습니다.

STATIC Motor Testing 은 Electric Motor 에 관한 포괄적인 시험을 하는 잘 알려진 일상적 Test 방법입니다. 그러나, 만약에 Motor 가 정지될 수 없다면 비효과적인 일이 될 것입니다. 이러한 상황의 경우 DYNAMIC Testing 으로 수행해야 할 것입니다. 그렇다고 이 또한 Dynamic Testing 만으로 모든 것이 만족 될 수는 없는 것입니다. 그래서 DYNAMIC Testing 과 서로 보완적인 Static Testing Technology 를 효과적으로 서로 연관 작업하는 것이 최근의 추세 입니다. 이것은 단지 시험에 대한 신뢰성 및 자신감을 증가 시킬 뿐만 아니라 분석에 대한 정확성을 개선 시킬 수가 있습니다.

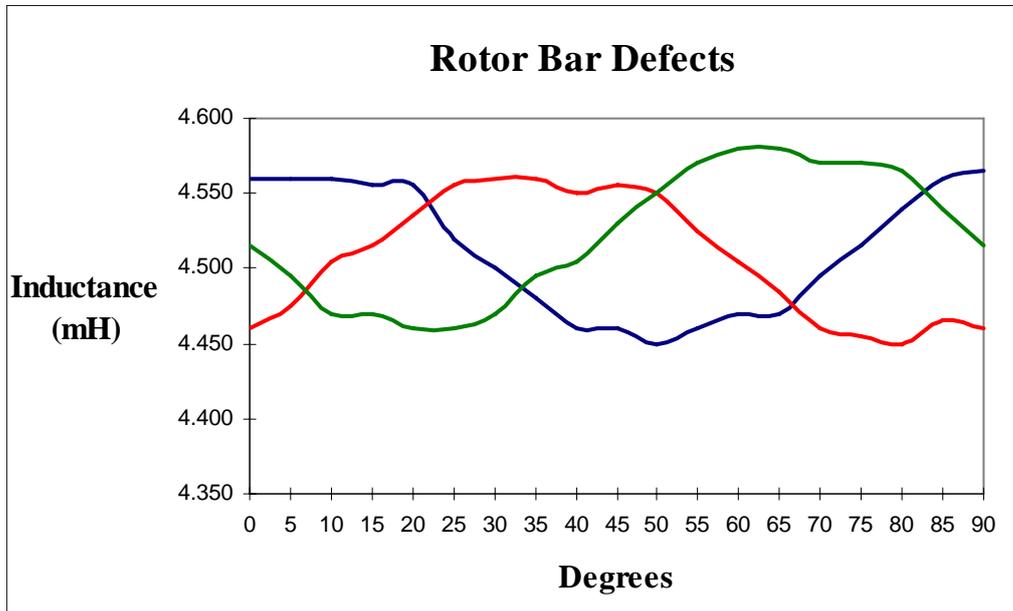


Figure 9

그림 9는 broken rotor bar 가 있는 rotor 에 대한 예상 inductance 변화를 보여 주고 있습니다. 각 phase 에 대한 sine wave peak 에 불규칙한 inductance 값을 참조 바랍니다. Broken rotor bar 는 주변 개색 bar 에도 영향을 미칩니다.

Air Gap: rotor 와 stator 관계는 Air Gap 에서 나타납니다. 만약 air gap 이 motor 의 360 도 주위에

균형있게 분포되어 있지 않다면 평탄하지 못한 자기장이 발생합니다.

첫째 형태로 static eccentricity 가 있으며

그림 11 과 12 는 static eccentricity 입니다.

이런 형태의 편심은 end bell 의 misalignment 에 의해 발생되거나 bearing 에 shaft 가 낮게 걸쳐 있을경우 발생합니다.

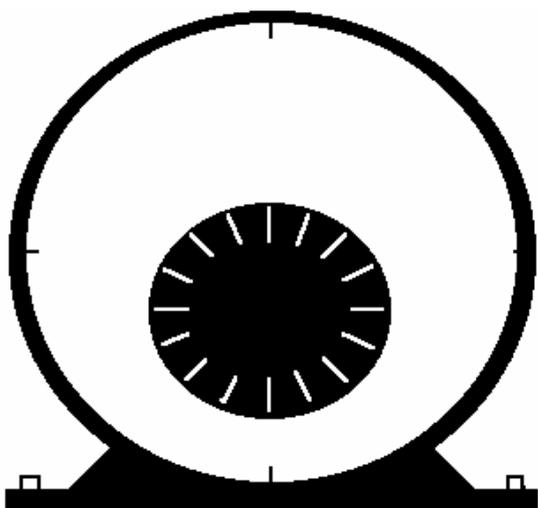


Figure 11

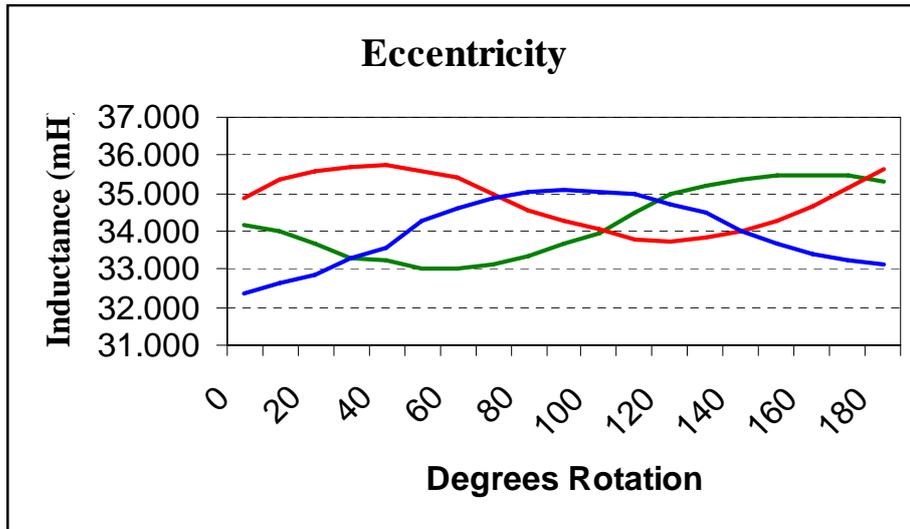


Figure 12

Motor의 신뢰성을 개선하기 위하여 두 가지의 Static 및 Dynamic 기술을 활용하는 장점은 매우 효율적이라고 할 수 있습니다. 우선 첫째로, 이들 기술의 결함은 어떤 플랜트 운영 상태에서 시험을 용이하게 사용할 수 있으며, Dynamic은 생산의 간섭 없이 운전 하에서의 Data의 취득을 위하여 사용 될 수 있습니다. 이것은 보다 많은 정보를 취득 관리를 할 수 있도록 합니다. 한편, Static Testing은 품질 보증 평가, De-Energized Motor에서 진단시험, 그리고 플랜트가 정지된 동안에 포괄적인 분석이 가능 합니다. Static과 Dynamic Data에 대한 상호 보완적인 관계는 오래 전에 Advanced Energy Laboratories에서 시험 실행되어 효과적인 방법으로 연구되었습니다.

상기 설명 드린 기능을 만족 할 수 있는 PdMA사에서 제작된 MCE™, Motor Circuit Analysis (MCA) Technology, 그리고 EMAX™, Dynamic Motor Analysis (DMA) Tester와 동 기능을 종합한 MCEmax입니다. PdMA사의 Motor 분석 장비는 아래의 이론을 바탕으로 하는 최신 Technology입니다.