

전동기 Trouble 및 진단(일반사항)

1. 고장의 종류 및 원인	2
2. 수 명	4
3. 점 검	7
4. 고장 발견 및 진단	11
5. 고장 현상 및 대책	13
6. 고장 원인조사 Flow Chart	14
7. 진동과 소음	15
8. 회전기기의 주요 사고 원인	14

전동기를 사용하는데 있어서 고장의 조기 발견과 미연의 조치가 사고 확대의 방지에 크게 유용하다.
 전동기가 고장이 발생하면 그 운전 상태에 원가의 이상한 징후가 나타나 그것들의 대부분은지시 계기의 흔들림, 소리, 뒹뒹거림, 더러움, 진동, 온도 상승 등 인간의 오감으로 확인할 수있는 상태로 나타난다.
 따라서, 이들 징후에서 그들의 발생하는 원인을 추정해 고장 내용을 판단해 빠르게 대책을 수립하는 일이 중요하다 할 수 있다.
 본 내용에서는 고장의 종류 및 원인, 전동기의 수명에 대해 언급하고 설비의 유지, 보수, 점검, 진단에 대한 내용을 기술코져 한다.

1. 고장의 종류 및 원인

전동기 고장의 주요한 것들을 살펴보면 다음과 같이 집약된다.

- Bearing 불량, 파손
- 권선 절연 불량 및 단락, 단선
- 절연 재료의 열화 및 파손
- 각부의 부식
- 외부 요인에 의한 파손 및 소손
- 기 타

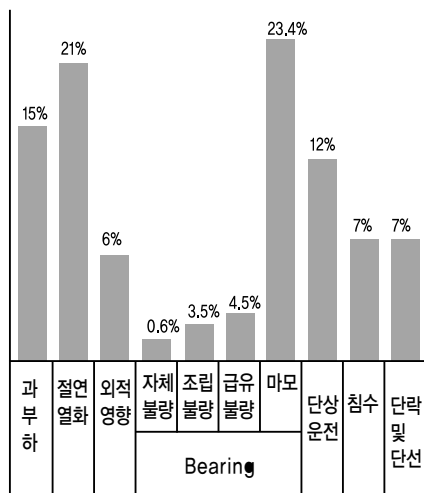


그림1) 사고발생 원인별

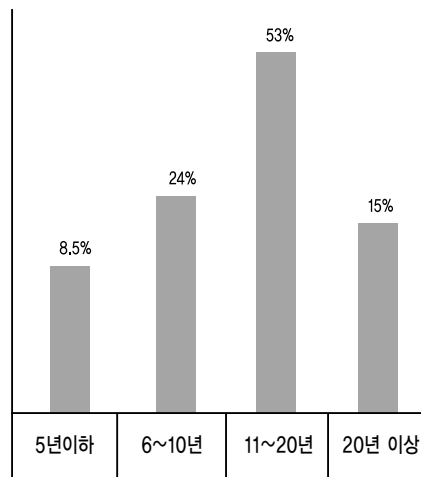


그림2) 운전년수와의 관계

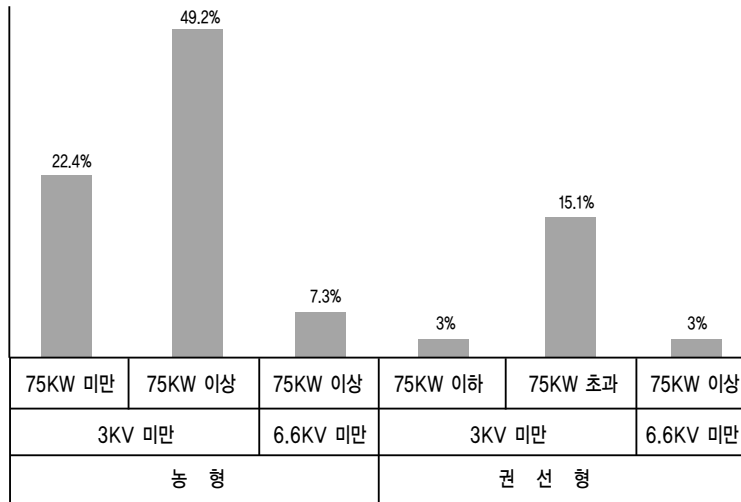


그림3) 회전자 구조, 전압 및 용량별 발생빈도

년 수	사 고 원 인	년 수	사 고 원 인
5년이하	Bearing : 2.8% 진 동 : 2.8% 환 경 : 1.9% 절연열화 : 9.4%	11~20년	Bearing : 6.6% 진 동 : 5.7% 환 경 : 17% 절연열화 : 23.6%
6~10년	Bearing : 3.8% 진 동 : 6.6% 환 경 : 9.4% 절연열화 : 3.7%	21년 이상	Bearing : 0.94% 진 동 : -- 환 경 : 5.7% 절연열화 : 8.5%

표1) 운전년수별 사고원인

	전 압	용 량	사 고 발 생 부 위							
			고정자 권 선	권 선 End부	인출선	충 간	기 타	용량별	전압별	회전자 구조별
농 형	3.3KV	75KW 미만	13.3%	2.4%	4.2%	1.2%	1.2%	22.4%	71.6%	
		75KW 이상	31%	6.7%	2.4%	3.6%	5.5%	49.2%		78.9%
	6.6KV	75KW 이상	2.4%	2.4%	0.6%	1.2%	0.6%	7.3%	7.3%	
권선형	3.3KV	75KW 이하	2.1%			0.9%		3%	18.1%	
		75KW 초과	7.9%	1.8%	2.4%	1.2%	1.8%	15.1%		21.1%
	6.6KV	75KW 이상	1.8%	0.6%	0.6%			3%	3%	

표2) 회전자 구조, 전압 및 용량별 원인

※ 상기 그림 및 표의 결과치는 특정기간의 집계임

이 고장 원인은 하나만이 아니라, 몇 개의 원인이 겹쳐서 하나의 원인이 또 다른 원인을 유발 하기도 한다.

고장 원인을 분류하면 다음과 같이 볼 수 있다.

- 주 회로에 기인하는 것 : 전압 변동, 개·폐기의 이상, 배선의 단선, Surge 전압 인입 등
- 주위의 환경 조건에 의한 것 : 고온, 고습, 부식성 가스, 먼지 등
- 부하 또는 운전 조건에 의한 것 : 과부하, 잦은 기동, 重 관성 부하 등
- 유지 보수 조건에 의한 것 : Bearing의 Grease 보급, Brush 점검 및 교환 시기 넘김 등
- 설치 조건에 의한 것 : 연약 기초에 의한 Base 불량, Misalignment 등
- 제조상의 결함에 의한 것 : 조립 불량, 이물 혼입, 용량 부족 등
- 경년 열화, 수명에 의한 것

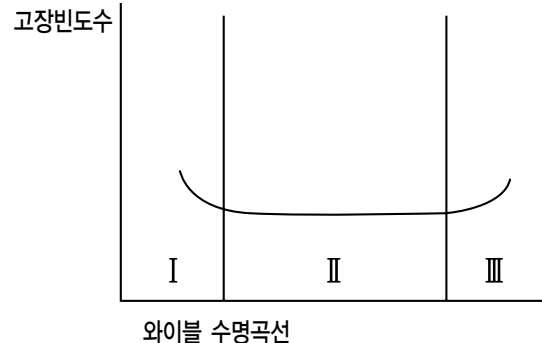
상기의 도표는 전동기 고장을 분류하여 표시하고 있으며, Bearing, 절연 열화가 대부분을 차지하나 부하나 운전 조건에 의한 고장 등 비교적 많은 것을 알 수 있다.

2. 수 명

통계조사에 의하면 전동기의 수명은 1년 미만이 3.2%, 1~10년이 63.8%, 10~20년이 33%라고 말해지고 있다.

일반적으로 전동기의 수명 곡선은 右도와 같다.

- I. 지 역 : 전동기 설계의 문제, 조립의 문제 등
- II. 지 역 : 부하 및 운전 조건, 우발 사고 등
- III. 지 역 : 절연 열화 및 수명, 냉각 통로의 변화 등의 고장 요인으로 볼 수 있다.



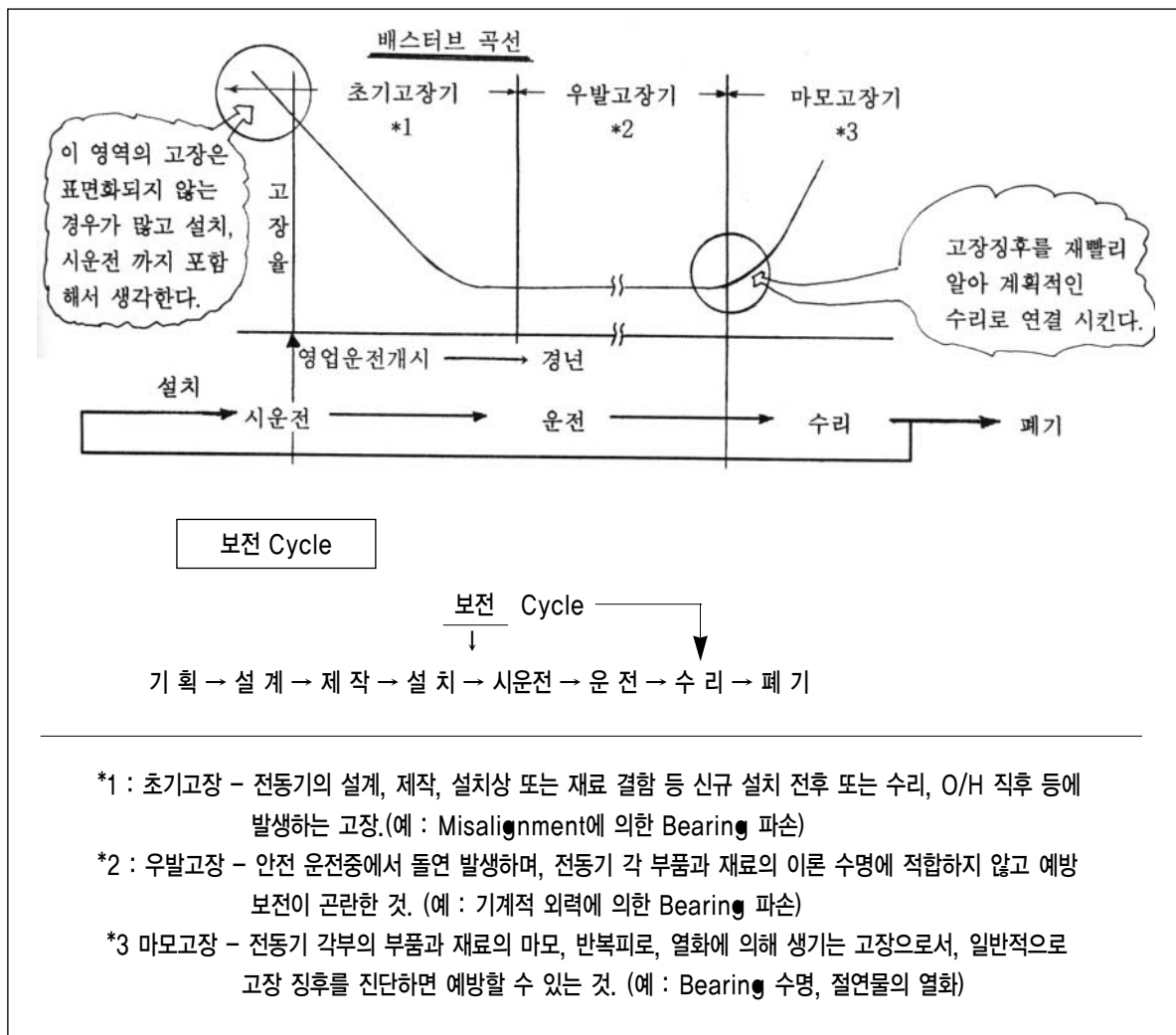
또한 Bearing의 수명은 도표에 표시한 바와 같이 생각할 수 있으며, 정격 부하에서 4년 이상이 일반적 이라고 되어 있으나 Grease의 보급 주기, 운전 조건 및 환경에 따라 그 수명은 반감된다고 볼 수 있다.

전 동 기	수 명 (시 간)
가 정 용	600 ~ 2500
소형전동기	2500 ~ 16000
중형전동기	6000 ~ 26000
대형전동기	9000 ~ 50000
차 량 용	8000 ~ 35000

아래 그림은 유도전동기의 배스터브 곡선과 Life Cycle을 나타냈다.

이 그림에서 유도전동기의 고장률은 영업운전 직후 또는 수리 후/시운전 이후 약 1년 이내에 집중적으로 발생하는 것이 많다는 것을 알 수 있다.

이것을 초기고장이라고 하며, 또 안전운전을 계속하고 있을 때 우발적으로 돌연 손상을 입는 것을 우발고장이라 하고, 전동기의 유한 수명부분의 재료에 생기는 피로, 마모 및 각종 열화 요인에 의해 발생하는 고장을 마모 고장이라고 하며, 각각 특징있는 고장형태를 가지고 있다.



〈배스터브 곡선과 전동기 Life Cycle의 관계〉

그림에서도 언급하고 있지만 유도전동기의 Maintenance에서 중요한 것은 초기 고장부분의 Maintenance 방법으로 신뢰성이 크게 바뀐다는 것이다. 영업운전 개시전의 설치, 시운전 영역 그리고 수리후의 설치, 시운전 영역에서 초기고장이 시작되고 있다는 것이다.

전동기의 고장방지 활동은 설치, 시운전 영역에서의 「공사품질 관리가 가장 효과적이다.」라고 할 수 있다.

3. 점 검

전동기의 고장을 미연에 방지하기 위해서는 정기적인 점검이 필요하다.

통상 설비의 점검으로는 일상점검(일일점검), 월간점검(정기점검), 연간점검(분해점검)으로 분류되며 점검전에는 먼저 점검시 Check List를 작성하여 점검하는 것이 효율적이며 점검 결과는 기록, 유지하여 고장 진단의 자료로 활용한다.

전동기의 종류나 점검 할 부분에 의해 점검의 시기는 달라져야 하며, 제 각각에 대해서 기준을 정해 실행해야만 한다.

점검의 중점 실시 항목을 분류하고 다음의 순서로 실시하는 것이 일반적이다.

- ① 특고기기와 발전 설비등의 전원 관계 → ② 고압 회전기 → ③ 고압 정지 기기 → ④ 제어 기기 →
- ⑤ 저압 회전기, 직류기

이어서 Overhaul 구분을 정해 점검 결과에 따라 보수를 행하며, 절연의 진단은 수시로 실시하고 있는 일이 많으며, 정밀진단은 1.5~3년 단위로 실시하는 일이 많다.

그러나 각 사의 여러가지 조건(환경, 운전방법, 중요도 등)에 따라 시기 결정은 달라져야 하며 본장에서는 일반적인 점검 사항만 간략하게 기록된 것으로 세부적인 것은 별도 자료를 참조하시기 바랍니다.

3.1. 점검시기 결정시 고려사항

전동기의 고장율은 통계적으로 볼 때 일반 전기 기계의 고장과 같이 Bath-Tub 곡선 Pattern이므로 점검 item별 점검주기를 결정시에는 다음과 같은 사항을 고려 하여야 한다.

- (1) 사용환경
- (2) 운전조건(기동빈도, 운전시간, 부하율 등)
- (3) 기계의 중요성
 - 1) 공공성
 - 2) 공장 내에서의 중요도
 - 3) 비교적 용량이 큰 기계
 - 4) 고속기
 - 5) 설비의 이력

3.2. 일상점검(일일점검)

일정한 시간마다 또는 매일 실시하는 점검으로 운전중에 오감(五感)에 의해 점검을 한다.

일상점검의 요령 및 기준서

점 검 부	점검요령	점 검 내 용	점 검 방 법
1. Bearing	음 향	이 상 음	- 청진봉 또는 청각으로 진단
	온 도	온도 측정	- 온도계의 지시에 의하여 평상시와 비교한다. - 온도계가 부착되어 있지 않은 경우에는 촉감에 의해 감지 한다.
	급 유	유량, Oil Ring 회전	- 유면계로 유량의 확인 - 점검창에서 확인
	누 유	Bearing 각부	- 육안 검사
2. 고정자	온 도	철심, 코일	- 매입 온도계가 있는 것은 그 온도계의 지시를 본다. - 온도계가 부착되어 있지 않는 것은 촉감 또는 온도계를 부착하여 측정한다. - 온도계를 직접 철심 코일에 부착할 수 없는 경우에는 외곽 온도를 측정한다. 이 경우 촉감으로 가장 온도가 높다고 느껴지는 위치에 부착하면 된다.
		흡기, 배기	- 온도계의 지시를 본다. - 온도계가 부착되어 있지 않는 것은 촉감 또는 온도계에 의하여 측정한다. - 측정위치를 항상 동일한 장소에서 측정하는 것이 매우 중요하다. - 온도의 측정과 동시에 이상 냄새의 유무에 대해서도 조사한다.
	부 하	전압, 전류	- 전압계, 전류계의 지시를 본다. - 매일 수회 일정한 시간마다 기록한다.
3. Air Filter	집진상태	막 힘	- 육안 검사에 의존한다.
4. 부하기와 결합부	B e l t	Belt 장력	- 촉감에 의하여 Belt의 장력을 진단한다. - 운전중의 상태를 눈검사에 의하여 조사한다.
		손상 유무	- 표면 고무의 마모상태를 조사
5. Slip Ring 및 정류자	集 電 面	마 모	- 정지시, 눈으로 또는 촉감으로 조사
		상 태	- 육안검사에 의하여 광택의 정도를 조사
		불꽃 여부	- 육안검사에 의하여 불꽃 호수를 조사
6. Brush	접촉상태	진 동	- 육안검사 또는 촉감에 의하여 운전중의 브러시 움직임으로 조사
	연 결 성 온 도	Brush 고착 변 색	- Brush의 Pigtail을 잡고 상·하로 당겨 움직임 조사 - Pigtail Cooking부의 색을 본다
7. 진동 및 소음	진 동	진동의 크기 진동의 변화	- 감촉에 의하여 진단하며 큰 경우에는 진동계로 측정한다
	소 음	이 상 음	- 청각 또는 청음봉으로 진단하며 마찰음 발생 유무의 확인이 중요하다.

3.3. 월간점검(정기점검)

매월 실시하는 점검으로 주로 정지중에 실시한다.

대형 전동기의 경우는 End Cover를 분해하여 Coil 돌레 및 Sleeve Bearing 등을 중점 점검한다.

월간점검의 요령 및 기준서

점 검 부	점검 요령	점 검 내 용	점 검 방 법
1. Bearing	급 유	Oil의 오염	- 기름을 소량 채취하여 변색, 침전물 속의 이물의 유무를 조사한다.
		Grease	- 전회의 보급일, 보급내용의 확인, 급유 명판 (사양)의 기재사항과 대조
	축 절 연	절연저항의 측정	- 축전류 방지용 절연의 절연저항을 측정한다. - 100V Megger에 의하여 축과 대지간의 절연 저항을 측정한다.
	Pedestal	Pedestal의 이동	- 육안검사에 의하여 Pedestal의 이동 유무를 조사 한다.
2. 고정자 및 회전자	Air Gap	고정자와 회전자의 Gap	- Gap Gauge에 의하여 상·하 및 좌·우의 Air Gap을 측정한다.
	절연저항	고정자 Coil 회전자 Coil	- Coil 대지간의 절연저항을 측정
	외 관	Bolt의 이완, 접지단자의 이완	- 육안검사와 촉감에 의한다.
	단 자	입력단자, 접지단자의 이완	- 손의 감각에 의존한다.
3. 부하기와 의 결합부	Coupling	Bolt의 이완, 손상마모, 변형 Alignment	- 눈과 손의 감각에 의한 점검, 조임 - Dial Gauge로 측정하여 기존 Data와 비교
	Belt	Belt의 장력	- 손의 감각, Spring Balance에 의하여 조사
4. Slip Ring 및 정류자	집 전 면	이상 마모, 진원도, 국부적인 변색, 불꽃 흔적의 정도	- 눈과 촉감에 의한 조사 - Dial Gauge에 의한 진원도의 측정
	지지대의 절연Stud	Carbon Dust의 부착정도	- 절연 부분에 Carbon Dust의 부착 정도 및 눈, 손의 감각에 의하여 조사한다.
5. Brush	Carbon부	마모, 파손, 균열, 접촉상태, Holder 내에서의 고정상태	- 눈과 촉감에 의한 조사 - 운전시간에 대한 마모량 측정
	Figtail	단선, 단자부의 이완	- 눈과 촉감에 의한 조사
6. Brush Holder	Spring	Spring의 파손, 압력	- 눈과 촉감에 의한 조사 - Spring Balance에 의한 측정

3.4. 연간점검(분해점검)

매년 실시하는 점검으로 특히 1~수년마다 분해하여 세밀한 점검을 한다.

전동기의 본체에서 Rotor를 분해하여 세부 점검을 한다.

연간점검의 요령 및 기준서

점 검 부	점검 요령	점 검 내 용	점 검 방 법
1. Bearing	급 유	Oil의 오염, 열화	- 육안검사, 필요에 따라 분석
		Grease에 이물 혼입	- 육안검사와 촉감으로 조사
	Slide Bearing	벗어짐, 균열, 금속접속	- 육안검사
		Clearance	- Micro Meter로 측정
	Oil Ring	변형, 마모	- 육안검사
	Labyrinth	변형, 마모	- 육안검사 및 촉감
	Journal부	파손, 줄무늬흔적 등	- 육안검사 및 촉감
2. 고정자	Coil	오염, 손상상태	- 육안검사
	Core Duct	오염, 이탈여부	- 육안검사
	Bolt류	Bolt의 조임상태	- 촉감, Spanner로 점검
3. 회전자	Coil	오염, 손상상태	- 육안검사
	Rotor Bar와 End Ring	용접부 균열, 오손, 박리, 절단	- 육안검사, Color Check
	Bind	Bind Wire또는 Tape의 이완	- 눈과 Test Hammer에 의한 조사
	Core	Core의 이완	- 눈과 Test Hammer에 의한 조사
4. 기 초	Level	Level 이상	- Level Gauge에 의한 측정
	Bolt	조임상태	- Test Hammer, Torque Wrench로 조사
5. 절 연	절연 저항	절연저항 측정	- 모든 도전부에 대하여 절연저항계로 측정을 한다.

※ 특기사항

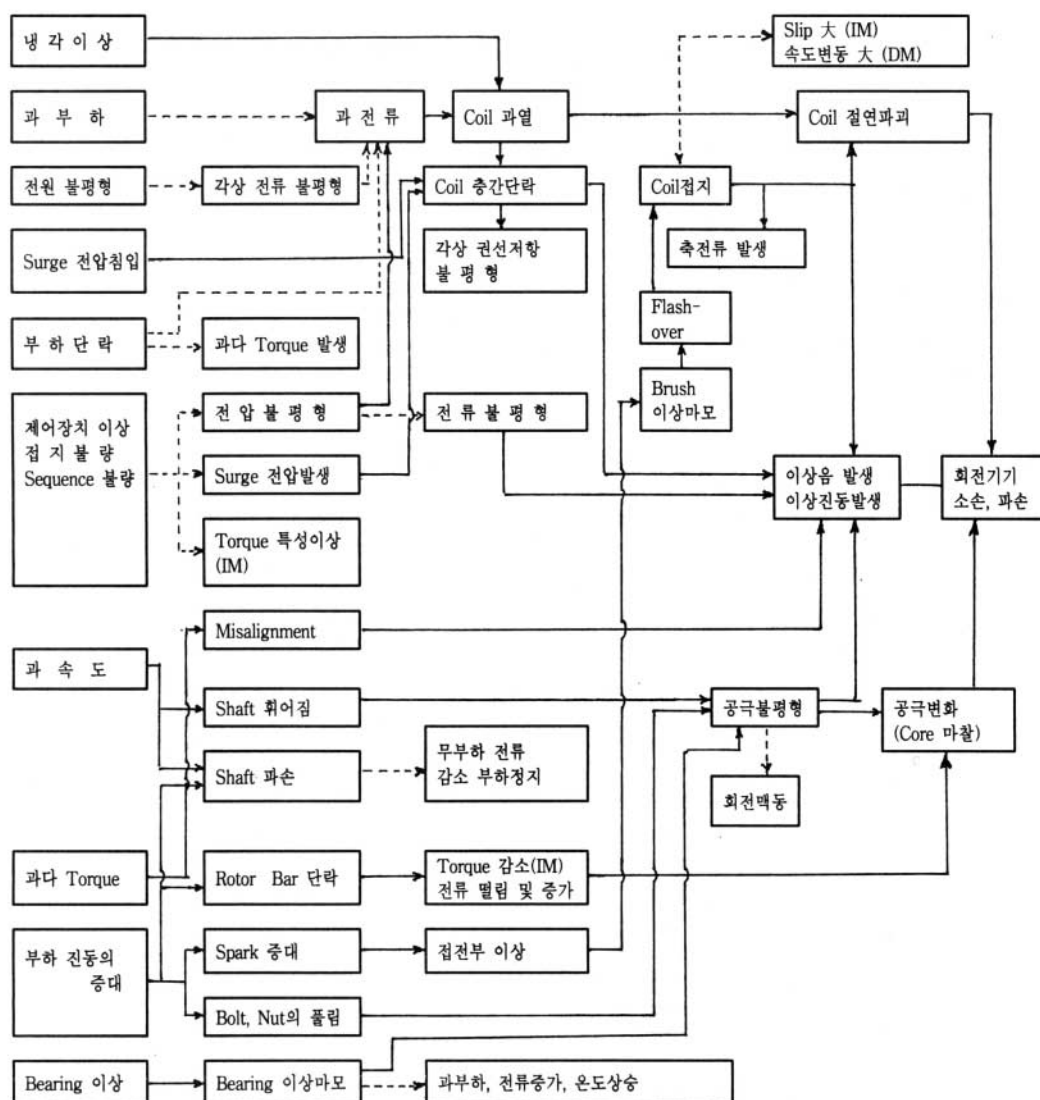
운전중, 정지중 및 특별 점검시의 세부사항은 별도자료를 참조 하시기 바랍니다.

4. 고장 발견과 진단

전동기의 고장은 장기간의 사용에 의한 열화 및 보수의 불성실, 과부하 등의 외적인 요인에 의해 일어나고 그 원인에 따라 현상을 유발한다.

따라서 운전 상태의 이상과 고장 상태의 관계를 도표화 시켜 초기 고장의 정확한 원인 추정에도움이 되고자 한다.

운전중의 이상



(주) ————— : 회전기 이상 상태 - - - - - : 운전 상태 변화를 나타냄
IM : 유도기 DM : 직류기를 나타냄

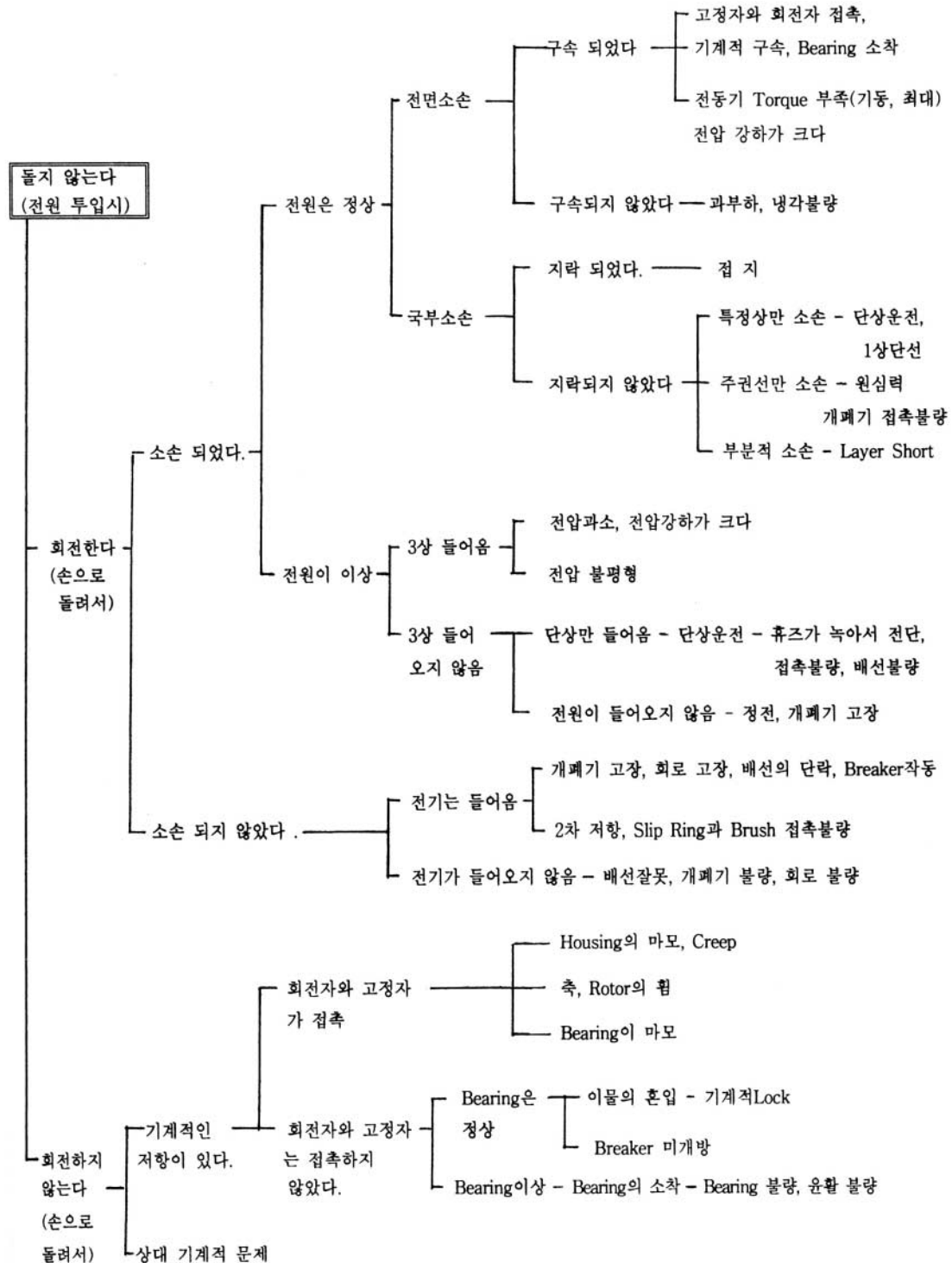
전동기의 주요부위 진단(주요부위 열화요인, 진단법 및 예방보전)

구분	주요부품·부위	보수 관리 항목	진 단 방 법	열 화 요 인	예방 보전 방법
고정자	고정자 코일	절연 열화	절연진단, 육안점검	운전시간, 시동빈도	잉여수명평가 Coil교체
		지지부 이완	타음검사, 육안점검	온도누적, 진동	Space, 지지강화 Ring추가 설치
		절연층 표면상황	절연진단, 육안점검	오손, 습윤, 흡습, 결로	세척, 절연보강
	Wedge	Wedge 이완	타음검사, 육안점검	온도누적, 진동	니스고착, 웨지교체
	Lead 선	절연 열화	치수검사, 육안점검	온도누적, 오손(유분)	Lead선 교체
	고정자 철심	철심이완, 변형	치수검사, 육안점검	시동빈도, 온도누적 진동	Varnish 고착
		Duct편 이완, 변형	치수검사, 타음검사 육안점검		Space 추가설치 고정강화
회전자	회전자 도체봉	도체봉 이완	타음검사, 육안점검	시동빈도, 온도누적	Varnish 충전고착
		납땜 종단부 균열	염색침투검사 초음파 탐상검사		납땜보수 회전자 도체교체
	단 락 환	Support의 틈새	치수검사	시동빈도	Support 교체
	지 지 환	응력, 부식, 균열	염색침투검사 초음파 탐상검사	습 기	균열삭제, 교체
	회전자 철심	철심 이완, 변형	치수검사, 육안점검	시동빈도, 온도누적	Varnish 충전고착
		Duct편 이완, 변형	치수검사, 타음검사 육안점검		용접보강, 고정강화
베어링	Sleeve Bearing	Babbitt 마모, 박리	치수검사 염색침투검사	운전시간, 시동빈도 진동	보수, Metal교체 Rebabbitting
		Slinger 마모	치수검사		Slinger 톱니 교환 Slinger 교체
	축 절연	절연열화	타음검사, 육안점검	운전시간, 진동	보수, 교체
주축	Coupling 교합부	마모, 변형	치수검사, 육안점검	Torque맥동, 진동	주축 보수 Coupling 교체

5. 고장 현상 및 대책

현상	원인	대책
휴즈의 용단(溶斷) Motor Breaker나 배선용 차단기의 동작	- 정격전류의 선정 잘못 - 정격의 과소 - 전동기 내부단락, 층간단락 (Layer Short) - 과부하, 구속, Bearing 고착	- 정격 전류의 재선정(검토) - 정격 용량의 재선정(검토) - 전동기의 점검, 수리 - 부하 혹은 전동기 정격의 적정화
기동 불량 기동시간이 길다	- 기동 방법의 부적합 - 기동 Torque가 부족 - 기동시 전압 강하가 크다 - 입력 전압이 낮다 - 회로가 불량	- 기동 방법의 검토, Tap 재 선정 - 출력의 검토, 전동기 Torque의 검토 - 배선을 굵게, 선로 길이의 검토 수정 - 입력전압의 수정, 변압기 Tap 변경 확인후 수정
기동 불량 기동이 어렵다	- 권선의 단선 혹은 단락 - 개폐기의 접촉 불량 - 접속 잘못 - 부하의 과대 - GD²의 과대 - Belt의 Slip - 기동 Torque가 작다 - 전압 강하가 크다 - 단상 운전	- 전동기의 점검, 수리 - 개폐기의 점검, 수리, 교체 - 단자 Mark, 배선의 확인·수정 - 전동기 정격의 수정, 부하의 수정 - 전동기 정격의 수정, 부하의 수정 - Belt 장력 조정, Wax의 도포 - 기동방법 검토, 고 기동회전력 전동기 선정 - 배선의 수정, 배선 굵기와 길이 검토 - 원인조사 및 보완
전동기의 과열 연기 냄새 소음	- 과부하 - 냉각 통풍회로의 저해 - 냉각 흡기온도가 높다 - 단상 운전 - 층간단락 - 전원전압의 현저한 높음 혹은 낮음 - 전압의 불평형 - 고빈도의 기동·정지 - 고빈도의 Braking - 중 관성 부하 기동 - 고정자와 회전자의 접촉 - 기동 S/W의 불량	- 부하를 줄인다, 전동기 용량 검토 - 먼지, 이물의 제거, 통풍로의 확보 - 냉각공기 흡입법의 변경 - 연결불량의 배제, 배선의 단선 - 접촉불량, Bolt의 풀림등 점검 - 전동기의 수리 - 변압기 Tap의 선정등 검토 - 불평형요인, 과대한 단상 부하의 배제 - 기동회수 검토, 전용 전동기로 교체 - 기동회수 검토, 전용 전동기로 교체 - 적정 GD²의 고 회전력 전동기로 교체 - 분해수리, Slide Br_g은 검토 교체, 정밀점검 - 수리
축의 휨	- Center 높지 불일치 - Set Bolt의 풀림 - Belt의 장력 과대 - Over-Hang Load	- 조정, Flexible Coupling으로 교체 - 흔들림이 없도록 고정한다 - Belt의 장력 적정하게 조절 - Over-Hang Load의 배제
진동이 높다 진동, 소음이 높다	- Air Gap에 이물의 유입 - Air Gap의 접촉 - Bearing의 불량 - Air Gap의 Unbalance - 부하 직결의 불량 - 단상 운전 - 불평형 전압 운전 - End-Play가 크다 - 부하기계계의 Unbalance - 고정부의 이완 - 기초의 연약	- 분해점검 - 분해수리, 고정자나 축의 휨 점검 - Bearing 교체 - 조정, Bearing보수, 축 휨 수정 - 확인후 수정 - 원인제거 - 원인제거 - 조정 Washer등에 의해 조정 - 부하기계계의 Balance, Field Balance - 확인후 조립 - 기초의 보강
Bearing의 고착 과열	- 축의 휨 - Belt 장력의 과대 - Belt의 Slip - 외부로 부터의 열전달 - Over Greasing - Grease의 노화 - 윤활 불량 - Thrust, Ridial하중이 크다 - Bearing의 파손 - Oil의 점도, Grease의 부적절 - Bearing의 마모	- 휨의 수정, 회전자의 교환 - 직결불량, Belt 장력의 적정화 - Belt 장력의 적정화 - Pulley Dia를 크게, Wax도포확인, 장력 - 멀리 이격 혹은 냉각방법 변경 - Grease의 주입량을 줄인다 - Bearing의 분해 세척, Grease 교체 - Bearing의 분해 세척, Grease 교체 - 부하와 연결방법의 검토 개선 - 교 체 - 적절한 Oil, Grease로 교체 - Bearing의 교체, 축의 치수 확인

6. 고장 원인조사 FLOW CHART



7. 진동과 소음

회전기는 정상상태 운전일지라도 어느정도의 진동이나 소리를 발생한다.

이상 운전시에는 평상과 다른 진동(이상 진동이나 이상음)을 발생한다.

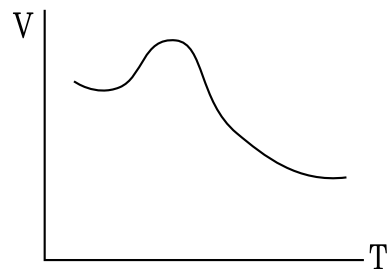
전동기를 포함한 회전기의 운전상태 판정은 진동과 음으로 가능하다고 해도 과언이 아니다.

아래의 Table은 범용적인 전동기의 진동과 소음의 발생원인과 주파수를 나타내었다.

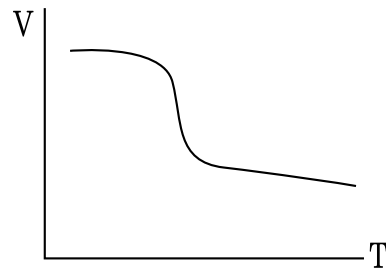
전동기의 운전 개·폐기를 열었을 때 순시에 이상 진동이나 소리가 줄어들면 그것은 전기적인 원인으로 발생하고 있고, 그 주파수를 분석하는 일에 의해 원인을 추정 할 수가 있으나 기계적인 요인에 의해 전기적 불평형을 일으켜 이상진동이나 소리를 유발시키는 복합적 요인에 의한 원인이 대부분을 차지하므로 전문가에게 자문을 구하는 것이 필요하다고 생각된다. 우측의 특성곡선은 일반적 진동 특성을 나타낸다.

이상 진동은 회전기의 자체 문제뿐만 아니라 여러 고장 원인에도 영향을 주어 가속적으로 회전기 이상을 진행 시키므로 중요한 설비에서는 진동이나 소음의 상시 감시가 바람직 하다고 볼 수 있다.

(IRD Chart 기준 별첨)

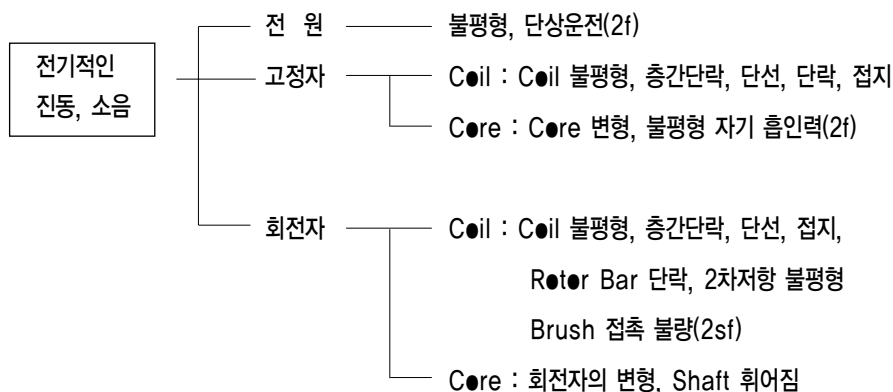


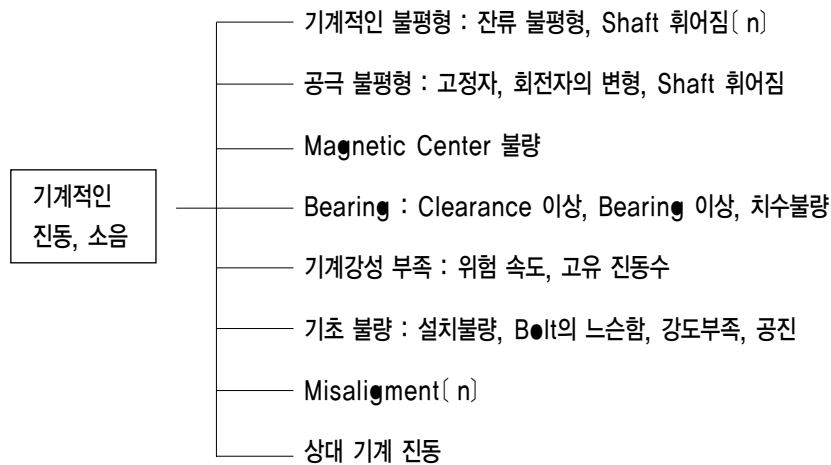
기계적 요인에 의한 정지 특성



전기적 요인에 의한 정지 특성

- 유도기의 진동 발생 요인 -





여기서 () 내는 발생 주파수를 나타낸다.

f : 전원 주파수[Hz], s : SLIP, n : 회전 속도(r/s)

이상과 같이 전동기의 고장 및 초기 사고 원인에 대한 내용을 기술하였다.

전동기를 유지 보수하는데는 더많은 이론과 현장 경험이 필요하다고 생각되어지나 본 내용에서는 현장에서 즉각적 대응을 할 수 있는 내용으로 기술하였고 좀 더 자세한 내용은 전문가와 협의, 대책을 수립하는 것이 필요하다고 본다. 또한 여기서 현장의 유지, 보수 및 점검의 부족에 의한 갑작스런 고장으로 인한 생산 중단, 납기 불량 등의 경제적 손실 및 기계 고장에 의한 손실, 인명 피해 등을 사전에 예방키 위한, 예측 설비보존기술 등 구체적 보수 점검 사항을 기술코져 하였으나, 현장에서의 대책 수립보다는 전문가와의 상담을 통한 대응이 효과적일 것이라고 판단되어, 그 내용을 기술하지 않았으며, 더 세부적으로 절연 System, 열화 진단 및 Bearing Trouble, 예측 설비보존기술, Flash Over현상 등 세부적 사항은 각 항목에 맞추어 구체적이고 현실적인 내용을 보완 기술코져 한다.

※ 진동은 최근들어 진동 공학으로 까지 발전되는바 별도의 자료를 참조 하시기 바랍니다.

8. 회전기기의 주요 사고 원인

대부분의 경우 Motor 사고는 실제로 사고를 촉진시키는 다른 요인들과 관련되어 전기적 절연사고 및 기계적 사고로 나타난다. 사고가 있을 때는 주 사고원인이 됐던 요인과 또 다른 요인들이 있는지 철저하게 Motor를 조사하고 확인해야 한다. 만약 그렇게 하지 않거나, 실 원인을 해결하지 않은 채, Motor를 수리 또는 점검했다고 하여 다시 돌릴 경우에는 제2의 사고가 발생하게 된다.

대부분의 AC Motor 사고는 5개의 주 그룹으로 나뉜다.

8.1. 기계적 원인

- (1) 피로현상에 의한
- (2) 오염에 의한
- (3) Bearing의 Race와 Ball 사이의 압축(눌림)에 의한
- (4) 축방향 하중에 의한
- (5) Misalignment에 의한
- (6) Shaft Current(축전류)에 의한
- (7) 윤활불량에 의한
- (8) 과대전동에 의한

8.2. 환경적 원인

- (1) 주위온도에 의한
- (2) 습기에 의한
- (3) 화학물질에 의한
- (4) 연마제 물질의 흡입에 의한

8.3. 전기적 System에 의한 원인

- (1) 단상전원에 의한
- (2) 개·폐 Surge에 의한

8.4. 운전조건에 의한 원인

- (1) 잦은 기동과 정지에 의한
- (2) Type 선정 잘못에 의한

8.5. 절연불량에 의한 원인

- (1) 소선 절연 불량에 의한
- (2) Turn간 절연불량에 의한

(3) 대지간 절연(주 절연)불량에 의한

상기 각 사항에 대해 다음과 같이 설명할 수 있다.

《1》 기계적 원인

이것은 기계의 부분이나 부품들이 깨지고 부서지거나 닳는 것을 말하며, 권선 사고는 그 후에 일어날 수가 있다.

가장 흔히 겪게되는 기계적인 문제점은 Bearing이며, Bearing에는 2가지의 기본형이 있는데, Ball/Roller와 Slide Type이 있다.

Ball/Roller Bearing 사고는 피로, 오염, Brinnelling, False Brinnelling, 과도한 Thrust, Misalignment, 전기 Arc, 윤활불량, 그리고 또 다른 원인들에 의해 일어난다.

Bearing을 적절히 조작하는 것이 Motor에는 필수적이므로 위의 문제들과 원인들을 간단히 언급한다.

〈1.1〉 피로 사고

모든 Bearing은 하중과 속도에 따라 평균수명이 결정된다.

하중은 작동시의 Stress양에 영향을 주는 반면에, 속도는 Ball과 Roller와 Ring 재질의 마찰빈도에 영향을 미친다. 그러므로, 정상적으로 운전을 하면 Bearing의 정상수명을 유지할 수가 있다.

만약 Bearing이 피로로 인해 일찍 사고를 일으킨다면, 아마 축 방향이나 축의 수직방향으로의 과부하 때문 일것이다.

또한 과부하는 Housing과 Shaft Fits가 부적절할때, Housing 내경이 맞지 않을 경우, End Play나 팽창한도 (Expansion Allowance)부족에 의해 유발될 수 있다.

〈1.2〉 오 염

오염이 많은 Bearing 사고를 일으킬 수 있다.

Bearing 구조중 Ball과 Race사이의 공차는 중요한 의미가 있는데 더러운 작업여건이 문제가 되어 먼지와 같은 작은 입자나 연마제는 Race나 Ball 표면을 손상시킬 수 있다.

습기나 화학물질도 Bearing과 Housing 표면에 녹을 형성하여 고장을 일으킬 수 있다.

〈1.3〉 Brinnelling

이런 형태의 사고는 Race나 Ball/Roller상의 조그마한 손상으로 나타난다.

이것은 또한 Shaft에 Bearing을 설치하고 분리할 때의 과도한 Radial이나 Thrust 하중으로 인해 생길 수도 있다.

Shaft가 회전하지 않는 동안 Bearing이나 Housing에 외부에서 충격을 가할 경우 또는 과도한 진동으로 인해 Radial Shock Loads가 발생한다.

〈 1.4〉 False Brinnelling

이 형태는 그 영향이 좀더 광범위하다는 것을 제외하면 위의 것(Brinnelling)과 유사하다. 이것은 Bearing이 정지해있는 동안 Race사이에 Rall/Roller의 진동으로 인해 생긴다.
설치는 했으나 잠그지 않은 채 Bearing을 운반하는 것도 한 원인이 된다.
또 하나는 Unit가 Down 되었을 때 기계를 접촉하면서 생기는 진동이다.

〈 1.5〉 비정상적인 떠밀림(Thrust Failures)

이 사고는 Bearing 설계치를 초과하는 과대 Thrust 하중 때문이다.
어떤 Bearing은 축방향 하중만 지지할 수 있도록 설계되어 있는데, 만약 두 방향의 하중을 주게 되면 사고가 일어난다.

〈 1.6〉 오정렬(Misalignment)

이것은 Bearing Race중 하나가 다른 것에 대해 Misalignment되게 한다.
Misalignment는 높은 압력(Extra Pressure)을 유발시키며, 지나친 고열을 야기 시키기도 한다. 흔한 원인은 Shaft Misalignment, Housing Misalignment 또는 Shaft가 휘는 것 등이며, 과부하의 한 형태이다.

〈1.7〉 축 전류에 의한 것

전류가 Bearing을 통해 흐를때 Race와 Ball/Roller사이에서 Arc가 발생하며, 이것은 Pitting과 Bearing 사고를 일으킨다.
축전류는 충전회로나 Rotor (Armature)의 절연 부족에서 나오는 누설전류와 Motor의 고유 설계에서 발생할 수도있다.
Bearing에 흐르는 전류를 막을 수 있는 한가지 방법은 Bearing을 Housing으로 부터 절연하거나 Bearing Pedestal과 Pedestal에 연결된 모든 배관을 Mounting Base로부터 절연하는 것이다.

〈 1.8〉 윤활불량(Lubrication Failures)

윤활불량으로 인해 흔히 일어나는 사고이다. 만약 Grease가 더러워지면 Grit(가루, 석질 먼지 등)가 연마제 역할을 하게된다. 흔히 과도한 윤활을 하는 실수가 발생하는데 이런 경우에는 Reservoir(윤활제가 저장 되는 곳) 내에서의 과도한 마찰, Grease의 과열 및 누유가 일어난다.
반면, Grease가 부족하면 표면 전체를 덮을 수 없게 되고, 윤활제를 섞어 쓰게 되면 Bearing 수명을 단축 시키게 된다.

※ Slide Bearing(미끄럼 베어링)

대부분의 Slide Bearing은 자기 급유식과 강제 급유식이 있다. Slide Bearing은 Shaft의 Bearing Journal과의 접촉면이 Ball 또는 Roller Bearing에 비해 더 넓기 때문에 무겁고 저속인 부하에 일반적으로 사용된다.

Ball/Roller Bearing과 마찬가지로 Slide Bearing사고 원인에도 몇 가지가 있다.

이들 중 많은 것은 오염, 이상 Thrust, Misalignment, 전기Arc, 윤활불량등 구름 Bearing 사고 원인과 비슷하며 마찬가지로 확인과 주의가 요구된다.

Bearing의 급유 방식이 자기 급유식이든 강제 급유식이든 간에 Bearing 내부의 Babbitt에 유막을 형성하여 금속 서로간의 접촉을 방지해야 한다. 만약 Bearing을 Rebabbling한다면 원래의 흠을 이중으로 해주어야 한다.

자기 급유식 Bearing(Ring Lubricated Bearing)에서는 Oil Ring이 축 위에서 회전 하기에 충분하게 동근지, 표면은 울퉁불퉁하지 않는지, 동심인지를 반드시 확인해야 한다. 윤활유 저장 탱크(Reservoir)에서 기름을 올려 회전하면서 축에 기름을 묻히는 역할을 Oil Ring이 하고 있기 때문이다.

Bearing 내부의 홈(Grooves)이 Journal 전체에 기름을 퍼뜨려 금속간의 접촉을 막아 준다.

만약 Oil Ring이 축과 함께 돌지 못하면, 윤활유 부족으로 윤활이 나빠져 Bearing 사고가 일어난다. 이것은 또 한 축에도 손상을 가져올 수 있다.

- 강제 급유식에 있어서는 대개 Oil Line에 Bearing으로 윤활유를 공급하는 입구가 있다.
이 입구들은 분당 최소량의 기름이 Bearing에 닿을 수 있는 크기로 맞춰져 있으며,
이 비율은 윤활유 공급 System에서 적정량의 유압을 유지하도록 하는데 근거한다.
Bearing 사고외에 또 직면하게 되는 기계적인 문제점들에는 다음과 같은 것들이 있다.

느슨해지거나 깨진 Fan, 축상에서 느슨해진 Rotor Core, Frame내에 갈라진 Core 용접, 유도전동기나 동기전동기에서 갈라지거나 절단된 Rotor Bar, 평평하지 않은 Motor Feet 등이 Frame 내부에 Stress를 유발시킬 수 있다.

Frame의 Bracket Fit가 낡거나 닳게 되면 공차가 일정치 않게 되고 Misalignment가 생기며, 축이 휘는 현상도 발견하게 된다.

Unbalance때문에 생긴 진동은 Coil이 Slot내에 꼭 끼이지 못할때 Coil 자체에 떨림이 발생하여 절연물을 손상시켜 절연사고를 일으킨다.

《2》 환경적 원인

이것은 기기의 설치장소가 사고를 일으키는 환경문제에 대한 것이다.

기기의 설치장소에서 주의해야 할 환경적인 것이 몇 가지 있는데 주로 다음과 같다.

〈2.1〉 주위 온도

Motor에 있는 모든 절연체는 주위온도(40℃이하)를 넘어 온도가 상승함에 따라 등급이 매겨진다.

만약 Motor가 부하에 매우 근접하여 사용되고, 주위온도가 40℃를 초과할 경우, 비록 정격전류를 초과하지 않더라도 Motor의 총 온도는 허용온도를 초과하여 Motor의 절연물이 소손되는 영향을 받는다.

강제 냉각 Motor에서 Motor를 냉각시키는 환기 System은 가동되지 않은 채 Motor가 계속 작동 될 경우, 냉각에 필요한 공기를 Motor에 충분히 공급하지 못하여 사고를 유발 하게 한다.

〈2.2〉 습 기

Motor가 작동되지 않고 멈춰있을 경우에 흔히 발생하는 사고원인이 된다.

습기는 다른 불순물과 결합하여 절연체 위에 응축되거나 Motor에 전력을 공급할 때 권선에서 대지까지 Creeping Path를 형성할 것이다. 권선은 오래 사용하면 절연체 위에 균열을 형성하는 경향이 있으므로 낡은 권선은 습기의 영향을 받기가 쉽다.

이런 문제를 피하기 위해서는, Motor가 작동되지 않을 때는 Frame내에 Heater를 설치하여 가동시키면 된다.

그러면 Motor온도가 주위 공기온도보다 높아져서 응축(Condensation)을 막을 수 있다.

〈2.3〉 화학 물질

Motor를 냉각시키는 공기중에는 유해한 화학물질이 포함되어 있을 수도 있다.

만약 이것들이 습기와 결합하여 절연체 위에 쌓이게 되면 권선에서 대지까지 Conductive Path(전도성 통로, 도전성 통로)를 형성하여 고장을 일으킬 수 있다.

어떤 경우에는 외부에서 끌어들인 공기로 Motor를 냉각함으로써 이런 문제를 피하거나 최소화하기도 하는데, 이를 강제냉각이라 부른다.

〈2.4〉 연 마 제

냉각공기와 함께 Motor내에 연마제 물질이 주입될 수도 있다. 이런 입자들은 Core 절연, 특히 권선 끝부분의 절연물을 상하게 할 것이다.

이런 상태가 있다면 이런 입자들의 해로운 영향을 최소화하기 위해 연마제 저항 물질로 권선을 처리할 수 있다.

습기, 화학물질, 연마제 등이 부품과 Motor의 윤활 System에 해를 끼칠 수 있음을 명심해야 한다.

《3》 전기적 System의 문제에 의한 원인

이것은 Motor에 전력을 공급하는 Electrical System에 절연사고와 열화를 일으키는 문제들이다.

〈3.1〉 낮은 전압으로 기동, 단상운전

대부분의 Motor들은 $\pm 10\%$ 의 전압변화에도 사용할 수 있게 설계되어 있는데, 전압이 비정상적이거나 이 값을 초과할때 Motor의 회전력(Torque)이 영향을 받게 된다. 회전력은 정격전압에 대한 인가전압의 비율의 제곱에 따라 변하므로, 인가 전압이 10% 하강하면 회전력은 81%만 된다. 이것은 Motor 기동력에 영향을 줄 뿐 아니라, 특히 긴급전선(Feeder)에 영향을 줄 수 있다.

만약, Motor가 작동되고 있는 상태에서 3상 전원공급중 한 상이 Open되어 있다면, Motor는 계속 가동 될 것이지만 두 상의 전류는 1.73배까지 증가하고, 만약 과부하 계전기가 전원 차단기를 동작시켜 전원을 차단하지 않는다면 Motor는 결국 사고를 일으킬 것이다. 만약 그런 단상운전 때문에 사고가 일어날 경우 권선을 조사해 보면, Star(Y) 결선 Motor는 두개의 Leg이 타버렸고, Delta(Δ)결선 Motor는 한개의 Leg이 타버린 것을 보게 될 것이다.

〈3.2〉 개·폐 Surge

전원 System의 전압 Surge는 Motor의 절연을 파괴시키며 사고를 일으킨다.

Lightning은 Surge의 한 형태이지만, 더 일반적인 것은 Switching에서 오는 Surge 이다.

이것은 Coil 절연체를 못쓰게 만들고, 접지에서나 Coil의 Turn사이에서 사고를 일으킬 수 있는

High Voltage Peak를 발생시킬 수 있다. 만약 이런 사고가 발행 한다면 그것은 전원 Lead에 연결된 첫 몇 개의 Coil 에서 절연이 파괴되어 소손 될 것이다.

전원 Lead에 Surge Absorber를 연결함으로써 대형 Motor에서의 사고를 최소화 할 수도 있다.

Surge Absorber는 충격파의 순도를 낮추어 평평한 파형으로 하여 절연파괴 등의 피해를 저감시키는 작용을 하며, 또 한 그 값이 너무 높을 경우에는 피뢰기(Lightning Arrester)와 유사하게 Surge를 없앨 것이다.

《4》 운전조건에 의한 원인

이 사고는 Motor 외부 요인에 의해 발생하는 것을 말한다.

〈4.1〉 잦은 기동과 정지에 의한 것

과부하 계전기는 부하의 양과 크기에 따라 작동될 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. Motor의 잦은 기동은 때 이른(조기의)사고를 일으킨다.

유도전동기에서 기동시 유입되는 전류는 전부하 전류의 5~6배이다.

Motor의 가열(발열)은 전류의 제곱에 따라 변하므로 기동시기에는 정격 운전중 보다 가열(발열)열량이 25~36 배가 될 수도 있다.

대부분의 산업용 대형 Motor는 원래 주위온도 조건일 때, 최대 연속 2회 기동 으로 제한되어 있거나, Motor의 온도가 초기의 가동온도(Operating Temperature)를 초과하지 않을 때는 한번 재시동으로 제한 되어있다.

일반적으로 전동기 명판에 기동허가 횟수를 표기하게 되어 있다.

〈4.2〉 Type 선정 잘못에 의한 것

높은 기동회전력이 요구되는 부하기계에 표준회전력 Motor를 사용하는 것, Drip Proof Frame(방적형 프레임)이 사용 되어야 하는데 Open Frame Motor를 사용하는 것, Motor의 지나친 Cycling 등 이다. 이 문제는 사용자가 전동기를 구입시 부하의 종류, 사용 및 운전조건등 제반조건을 제작사에 통보함으로써 사고를 줄일 수 있다.

《5》 절연 잘못에 의한 원인

이것은 설계나 재료의 결함, 운전잘못 등으로 인해 절연 System에서 일어나는 사고 이다. 권선에는 일반적으로 3가지 형태의 절연이 있다.

〈5.1〉 소선(Strand)과 Individual Wire의 절연

Random Wound Motor(환선 사용 전동기)에서는 대부분의 소선 절연물은 Varnish와 수지(Resin)이다. Form Wound Coils(각동선)는 일반적으로 수지 위에 유리합섬이나 Nomex Tape를 사용하고 고압용에는 Mica Tape를 주로 사용한다.

〈5.2〉 Turn 절연

Wound Motor에 있어 소선이 또한 Turn이므로 소선과 Turn절연물은 일반적으로 Varnish와 수지로 되어있으며 같은 Turn에서의 두 소선 사이의 전압은 대부분 5V이하 이기 때문에 소선들 사이의 Short는 극소량이다.

Form Wound Coil에 있어서는 Turn과 Coil Slot의 Space Limitation 사이의 전압에 따라 유리나 Nomex 또는 Mica Tape등이 Turn절연물로 주로 사용된다.

〈5.3〉 접지절연(Ground Insulation)

이것은 권선 전체를 둘러싸고 있는 절연이다. Random Wound Motor는 Cell Liner를 Stator Slot안에 넣으며, Form Wound Coil에서는 Nomex나 여러가지 Tape 들로 감싼다. 내부 절연체를 더 강력하게 하고 물리적인 해로부터 보호하기 위해 Wrapper나 Tape은 일반적으로 유리 Tape Layer로 덮여 있다. 대형 고압기기에 있어서 소선 절연은 중요한데, 소선들 사이에 적은 전압(대부분 20V이하)이 존재하고 소선들 사이의 Short가 Unit의 손실을 증가시킬 수 있기 때문이다. Turn절연은 Random Wound나 Formed Coil 어느것 이든 모든 Unit에서 매우 중요 하다.

만약 Short가 발생한다면 Turn 사이의 전압은 큰 순환전류를 일으키기에 충분 할 정도로 커지므로 결국에는 권선이 타버리고 접지사고가 야기될 수 있다.

외형이 양호하게 보이는 곳에서 일단의 타버린 권선들이 발견된다면 일반적으로 Turn 절연사고라 할 수 있다. 접지절연 사고는 Coil 접지사고이다. 어떤 경우에는 Turn에서 Turn으로 사고가 시작되다가 결국 접지사고를 초래하게 된다.

접지사고는 대개 Turn사고보다 더 해롭다. Power System으로부터 나온 Energy는 권선에서 Stator Core나 다른 Grounded Surface(접지된 표면)으로 흐르거나 심각한 연소(Burning)를 유발시킨다.

절연사고는 대개 조작기술, 권선 훼손 또는 Winding 과정에서의 손상에 의해 발생 된다. Damage가 일어나지 않았음을 확인하기 위해서는 Winding이 완성되고 난 뒤 High Potential Test(고전위 시험)를 한다. 만약 문제가 있다면 대부분은 그때 발견 된다.

Motor 사고가 발생하는 것에는 많은 이유들이 있다. 더 일반적인(흔한) 원인들은 이미 언급되었으며, 다른 원인들의 가능성 여부를 배제하기 위해 사용환경이나 사고전의 상태에 대한 철저한 조사가 없이 Winding이 잘못되었다고 단정해버려서는 안된다.