

회전기의 절연기술

피재년* · 김연성**

(*이천전기 회전기 부기사장 · **동사 회전기부 절연담당)

1. 서 론

절연은 회전기의 심장에 해당된다.

최근의 교류전동기, 산업용 직류기, 차륜용 전동기 등의 회전기기는 기술개발 진척에 의해 소형, 경량화가 급속히 진행되고 있다. 또 기계의 대용량화, PLANT의 대형화, 차륜의 고속화 등 용도도 다양해서 각종 환경에서 사용되어지고 있다. 이런 측면에서 회전기의 각 신뢰성평가 SYSTEM은 종래보다 LEVEL UP화 하여 엄격하게 요구되는 실정이지만 전기절연 SYSTEM은 최종적으로 그 수명과 신뢰성을 좌우하는 것으로서 특히 중요한 기능이 요구된다.

왜냐하면 회전기의 절연사고는 치명적인 것으로 발전설비, 산업용 각종기계 등 사회적, 경제적으로 큰 문제를 야기 시키므로 절연의 고신뢰성이 요구된다.

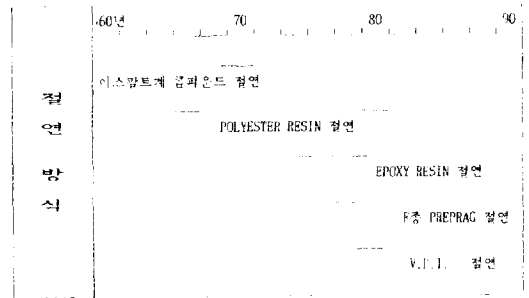
이와 같은 이유로 회전기의 운전실태, 사용조건에 의해 고성능의 평가법을 확립하여 신뢰성이 높은 신절연 SYSTEM의 개발이 필요하다.

따라서 본지(本紙)에 소개하는 자료는 회전기 절연 방식의 변천 및 비교, 진공가압함침(全含浸) SYSTEM에 대한 개요, 절연 SYSTEM의 구성과 제조방법 및 신뢰성 평가 방법에 대하여 소개하고자 한다.

2. 절연 방식의 변천 및 비교

2.1 절연 방식의 변천

고압 회전기의 절연 방식의 변천을 아래와 같이 소개한다.



2.2 절연 방식의 비교

이상과 같은 절연 방식에서 현재 가장 많이 채택 사용하고 있는 진공가압함침 방식에 대해서 소개하고자 한다.

3. VACUUM PRESSURE IMPREGNATION SYSTEM

3.1 개요

절연방식	작업 방법				
V.P.I. 방식 (VACUUM PRESSURE IMPREGNATION) (진공가압합침, 전합침)	COIL 절연 TAPING	SLOT에 삽입	결선부 및 리드선 접속	철심과 같이 진공가압합침	가열 경화
PREPRAG 방식 (가열 MOLD 식)	RESINRICH 절연재료 사용	COIL 절연 TAPING	기계적 가열 MOLD (직선부)	SLOT에 삽입	결선부 및 리드선 접속
DIPPING 방식	COIL 절연 TAPING	SLOT에 삽입	철심과 같이 합침	가열 경화	결선부 및 리드선 접속

진공가압합침(VACUUM PRESSURE IMPREGNATION)이란 현재까지 합침절연의 방법으로는 가장 좋은 방식으로 알려져 있는 것으로 성형한 코일을 DRY-TYPE 집성마이크로 테이프로 절연한 후 철심에 납입 결선하여 리드선 부착한 후 모든 절연 코일과 철심을 일체로 하여 합침 탱크에 넣어 진공탈기 및 합침 RESIN 주입후 진공탈기, 가압 합침을 행하므로써 SLOT 부는 물론 결선부에도 약점이 없는 균일한 양질의 절연층을 형성하는 것이다. 특히 코일과 SLOT간, 철심적 사이에 공기층이 완전히 제거되고 코일의 절연층에도 VOID(공극)를 열전달이 양호한 RESIN으로 진공 및 가압 처리하여 완전히 충전 시키므로써 방열성이 우수하게 되며 코일 절연의 신뢰성이 높아져 MAINTENANCE FREE의 절연 STSTEM을 보장할 수 있다.

또한 특수 EPOXY 및 POLYESTER 계 수지를 사용함으로써 내열, 내습, 내화확성, 내코로나성이 보장되며 내전압, 절연저항, 유전체손실, 유전율 등 절연 및 기계강도가 현격히 향상된다.

3.2 장점

진공가압합침 절연방식은 다음과 같은 장점을 갖고 있으며 여러 용도의 회전기에 적합하다.

3.2.1 "F" CLASS의 내열성

내열성에 있어 F CLASS(155°C)의 실력을 갖춘 에폭시계 및 폴리에스터계 레진 절연이다.

따라서 동일 정격의 회전기 보다 소형, 경량화 할 수 있어 설치 베이스의 저감에 기여한다.

3.2.2 산포가 적은 절연특성

코일절연층은 유연성을 갖는 상태에서 철심에 삽입하는 것으로써 코일 삽입시 절연층에 무리한 힘이 걸리지 않으므로 절연특성의 산포가 매우 적고 품질이 안정된다.

3.2.3 강인한 기계특성

합침 레진에 의해 코일은 철심과 일체화가 되어 기계적으로 대단히 견고한 고정력이 생긴다. 따라서 기동 전류가 큰 전동기 등 급격한 부하변동, 고빈도의 기동 정지를 행하는 회전기에도 적합하다.

3.2.4 우수한 내환경성

내수성, 내약품성에 우수한 성능을 발휘하는 것으로 옥외용 또는 화학공장용의 회전기로도 적합하다. 또 방사선에 대하여도 안정되어 있어 원자로의 로심 주변의 회전기에도 사용할 수 있다.

3.2.5 높은 신뢰성

코일과 철심이 일체로 된 SLOT 부 및 결선부 등에 진공가압 합침하여 균일한 양질의 절연층을 형성

하므로 보다 높은 신뢰성이 보장되며 보수의 성력화에도 기여한다.

4. 絶縁 SYSTEM의 구성과 제조방법

여기서는 고정자 코일의 구성과 제조방법에 대해 간략히 설명하고자 한다.

4.1 고정자(STATOR) 절연 SYSTEM

4.1.1 구성

교류 고압회전기기의 전기적으로 제일 중요한 고정자 코일 슬롯내 절연 구성은 <그림 4.1>과 같은

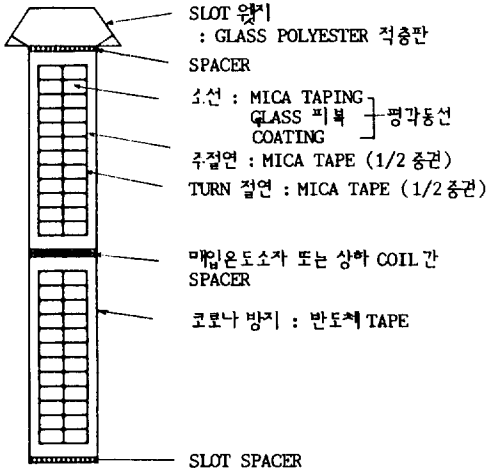


그림 4.1 STATOR COIL 구성

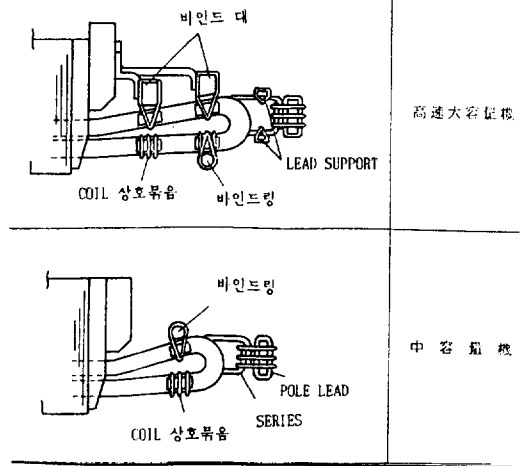


그림 4.2 COIL END 부 고정방법의 예

구성으로 되어 있다.

슬롯외의 코일엔드루프(COIL END LOOP)부에는, 특히 기계적인 고정이 중요하므로 <그림 4.2>와 같은 예로 묶음고정을 실시한다. 적용에 대해서는 코일 엔드에 발생하는 응력, 코일엔드 길이, 기동조건(기동시간, 기동빈도)을 검토하여 코일엔드부 고정방법을 선정한다.

4.1.2 제조방법

<그림 4.3>에 고정자 코일의 제작공정을 소개하고 전함침 절연의 제조공정 및 품질관리 항목은 <그림 4.4>에 종합하였다.

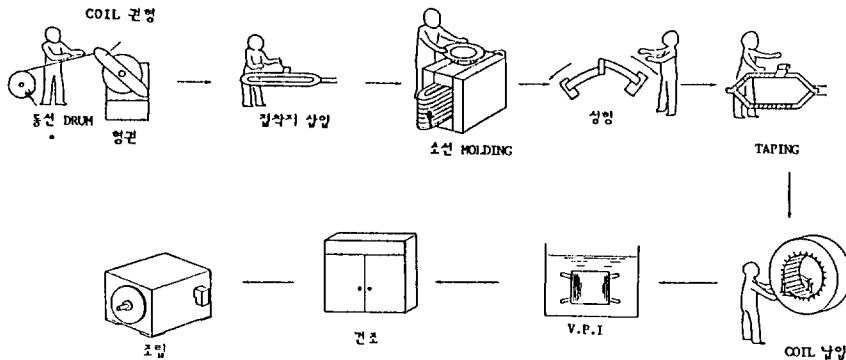


그림 4.3 STATOR COIL 제작공정도

(1) COIL 소선(素線)

코일소선은 종래에 GLASS 피복 평각동선을 사용하였지만 COATING 평각동선 및 함침성이 우수한 MICA TAPING 평각동선을 개발하여 주로 교류고압 회전기에 사용하고 있다. 이러한 개발의 효과로

TURN 절연공정을 줄여 COIL 전체의 절연 두께를 최적화 시켜 회전기의 소형 경량화에 기여하였다.

(2) 주절연(主絶縁)

주절연에는, 절연파괴전압의 산포가 적은 집성(集成) MICA TAPE를 사용하고 있다.

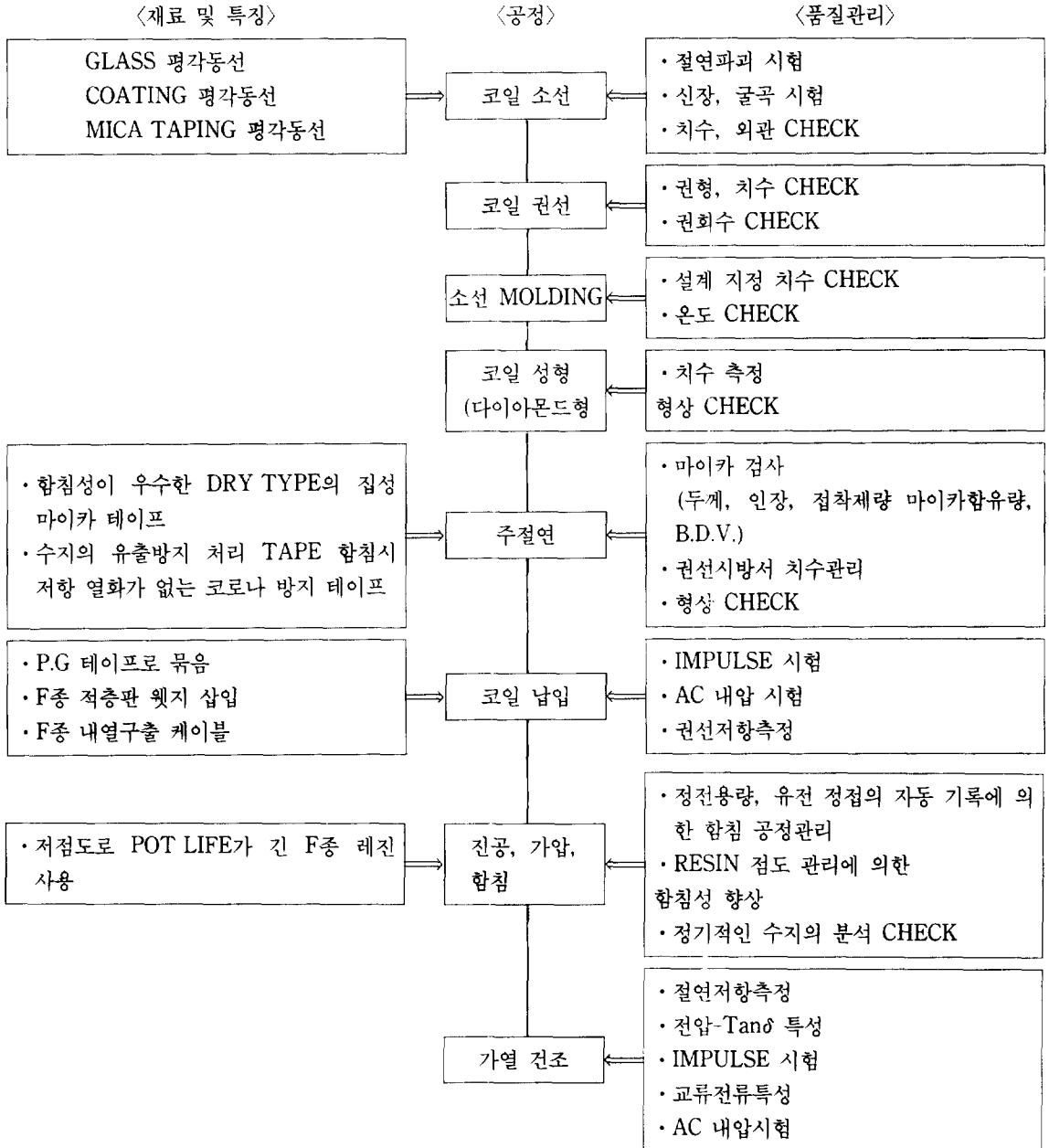


그림 4.4 고정자코일 진공가압 함침과 품질관리

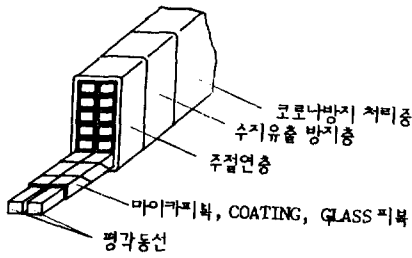


그림 4.5 V.P.I 절연 SYSTEM(교압 STATOR COIL)

이 MICA TAPE는 특히 내코로나성, 수지 함침성, TAPING 작업성이 좋으므로 균일한 두께의 절연층을 형성할 수 있는 장점이 있다. 코일표면과 구출부에는 함침후의 수지 유출을 방지하기 위한 처리를 하고 있다. <그림 4.5>와 같이 SLOT內 코일을 입체적으로 표시하였다.

코로나 방지가 필요한 전압 CLASS의 코일절연 최외층(표면)에는, 전계를 완화하여 코로나 발생을 억제하기 위한, 코로나 방지 처리를 실시하고 있다.

(3) 코일납입

철심 SLOT에 납입하는 코일은, 함침전 코일절연이 손상되기 쉬운 결점이 있으므로 작업시에 숙련된

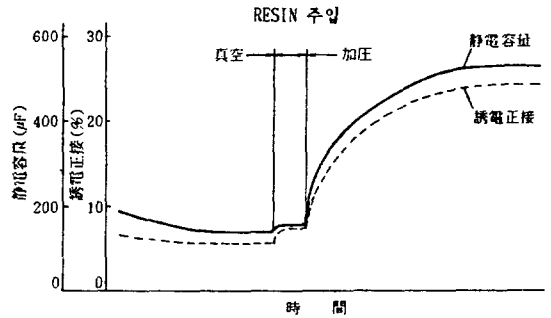


그림 4.7 함침공정중의 절연층의 정전용량 및 유전정접의 변화

작업자가 납입해야 한다. 함침전 상태에서 SLOT에 납입하기 위해, 납입시 절연층에 기계적 응력은 증가하지만, 접속후 수습하므로 전체가 결점이 없는 절연층으로 되고, 특성 산포가 적은 절연을 구축할 수 있다.

(4) 진공가압함침

코일이 납입되어 일체가된 철심은 <그림 4.6>의 대형함침 장치에서 처리된다.

함침용의 RESIN은 저장수명이 길고, 상온에서도 저점도로 함침성이 뛰어나다.

당사에서는, 함침을 완전히 처리하기 위해 전압계

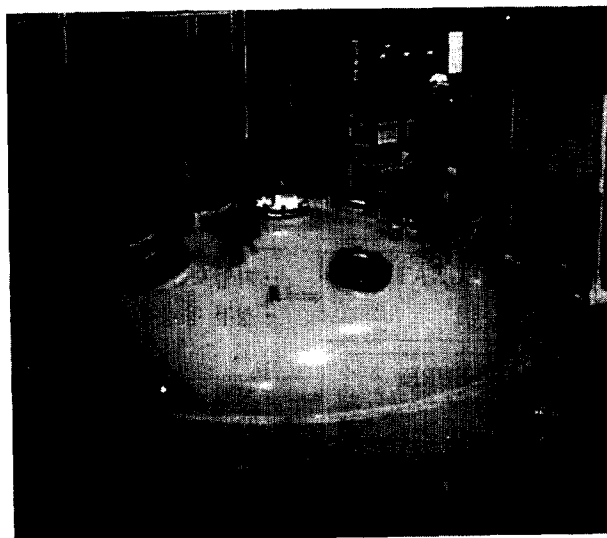


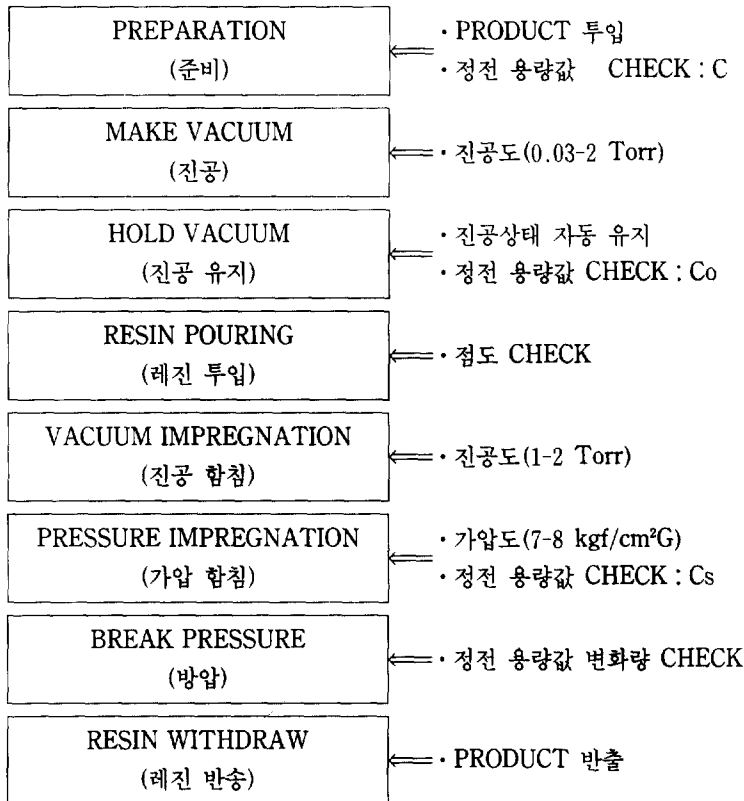
그림 4.6 V.P.I TANK

급에 따라 진공시간, 가압시간, 수지점도를 조정하여 최적인 함침조건을 설정하여 작업하고 있다. 함침공정에 따른 품질관리는 함침이 정상으로 되는지를 정량적으로 CHECK 하기위해 <그림 4.7>과 같이 정전용량(靜電容量), 유전정접(誘電正接) 등의 변화를 LCR METER로 자동적으로 검출, 기록하는 SYSTEM을 채용하고 있다.

(5) 가열건조

함침종료 후, 설정된 온도-시간 PROCESS에 의해 가열경화하여, STATOR 절연 SYSTEM을 완성한다.

4.1.3 V.PI(全含浸) SYSTEM PROCESS



· 진공도 가압도는 사용절연물 및 제조방법 함침설비에 따라 변할 수 있다.

5. 신뢰성 평가 방법(信賴性 評價 方法)

5.1 신뢰성 평가의 목적

회전기 절연의 신뢰성평가를 실시하는 목적은, 회전기 절연의 수명을 추정하여, 사용자가 보수관리를 하기위한 기준을 작성하도록 하는 동시에, 절연의 개선, 新절연의 개발에 유용하게 함에 있다.

회전기 절연의 수명은 보통 절연파괴를 실시하여 판단한다. 절연파괴 강도는 사용재료, 제조기술등을 요인(要因)으로하는 산포에 의해 초기의 수준이 결정된다. 그후 운전조건에 따라 절연이 열화하므로 절연파괴강도나 기계적 강도는 저하 하고, 보수점검시 CHECK 전압 또는 개폐 SURGE의 과도적(過渡的)인 이상 전압과 기동시 또는 순간적인 과부하에 의한 전자응력 등에 의해 절연이 운전에 견딜수 없는 정도까지를 수명으로 한다.

5.2 신뢰성 평가 방법

신뢰성 평가 방법에 대해서 다음과 같이 간단히 소개코져 한다.

5.2.1 전기적 특성 시험방법

- 1) 유전율 측정법
- 2) 성극지수 측정법
- 3) A.C 절연파괴 전압법
- 4) V-TAN δ 측정법
- 5) 임펄스 절연파괴 전압 측정법
- 6) 코로나 특성법
- 7) 교류전압 전류 특성법

5.2.2 열적 특성 시험방법

- 1) 온도-TAN δ 특성
- 2) 온도-절연저항
- 3) 온도-절연파괴
- 4) 열통과율, 열전도율
- 5) 온도-강성

5.2.3 기계적 특성

- 1) 굽힘강도
- 2) 정하중-왜곡특성
- 3) 모타 기동시 코일 변위특성
- 4) 내 마손성
- 5) 고착력(코일 SLOT 인발강도)

5.2.4 수명 특성 시험방법

- 1) V-T 특성
- 2) 반복찌지 전압인가 시험
- 3) 반복응력 하중-절연파괴
- 4) 내열수명 시험

5.2.5 내환경성 시험방법

- 1) 내약품성
- 2) 내용제성
- 3) 내습성
- 4) 내수성
- 5) 내오손, 내고습성

6. 결론

이상 회전기의 절연 SYSTEM에 대해 소개한 바와 같이 고압 절연 처리에 관해서는 절연재료 및 합침설비, 그것에 대한 기초 이론적 해석과 이것의 응용 및 경험을 바탕으로 한 경험치의 제조기술 및 공법의 KNOW HOW에 따라 성공 여부가 결정 된다고 할 수 있겠다.

그러나, 합침설비 및 절연재료가 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이므로, 이러한 관련품에 대한 국내 산업체를 보호 육성하여 하루 빨리 국산화 해야 할 실정이다. 즉, 기초 소재의 개발(특히 유기화학산업)이 우선 확립 되어야 하며 관련 설비에 대한 SYSTEM적인 ENGINEERING의 LEVEL도 가일층 높여야 한다.

당사는 이런점에 대응하여 절연제조와 신뢰성 평가 기술의 개발을 계속적으로 추진한 결과 1970년대 6KV, 1980년대 11KV 급의 절연을 실용화 했으며 1986년 30MW 급의 대형 회전기의 절연 처리가 가능한 초대형 V.P.I(全舍浸) SYSTEM을 도입, 그것을 주체로 한 교류 고압회전기 절연 SYSTEM을 실용화하여 1989년 TORISHIMA사로 부터 수주한 POSCO 열병합 발전설비용인 BOILER FEED WATER PUMP용 2P-3050KW(2대)를 성공적으로 제작, 1990년 6P-5000HP과 2P-4500HP, 2P-3500HP 등 11대 대용량 고속전동기를 제작하는데 성공하여 많은 사용자 측으로부터 호평을 받고 있다.

끝으로, 폐사는 국내 중전기 업계의 산실로서 끊임없는 절연특성 및 제조기술을 개발하여 절연 SYSTEM의 고신뢰성을 구축하는데 부단한 노력을 계속하므로서 국내 중전기 업계의 발전에 이바지 할 뿐만아니라 대외적인 품질 경쟁을 추구할 것이다.

덧붙여, 절연 SYSTEM 개발에 대한 PROJECT는 관련 학계와 산업계, 연구소 등 범국가적인 차원에서 결집하여 관련 정보의 교환 및 기술 교류 등을 통해 질적 향상을 기하고 고품질의 회전기기를 생산하여 사회적, 경제적 발전에 기여하기를 바란다.



피재년(皮在年)

1951.4.30

1977년 한양대 공대 전기공학과 졸
1976년 이천전기공업(주) 회전기설계
입사

현재 이천전기공업(주) 회전기 부기부장



김연성(金鍊成)

1959.9.26

1983년 한양대 공대 전기공학과 졸
1985년 이천전기공업(주) 중앙연구소
입사

현재 이천전기공업(주) 회전기부 절연 담당