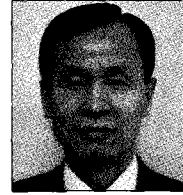
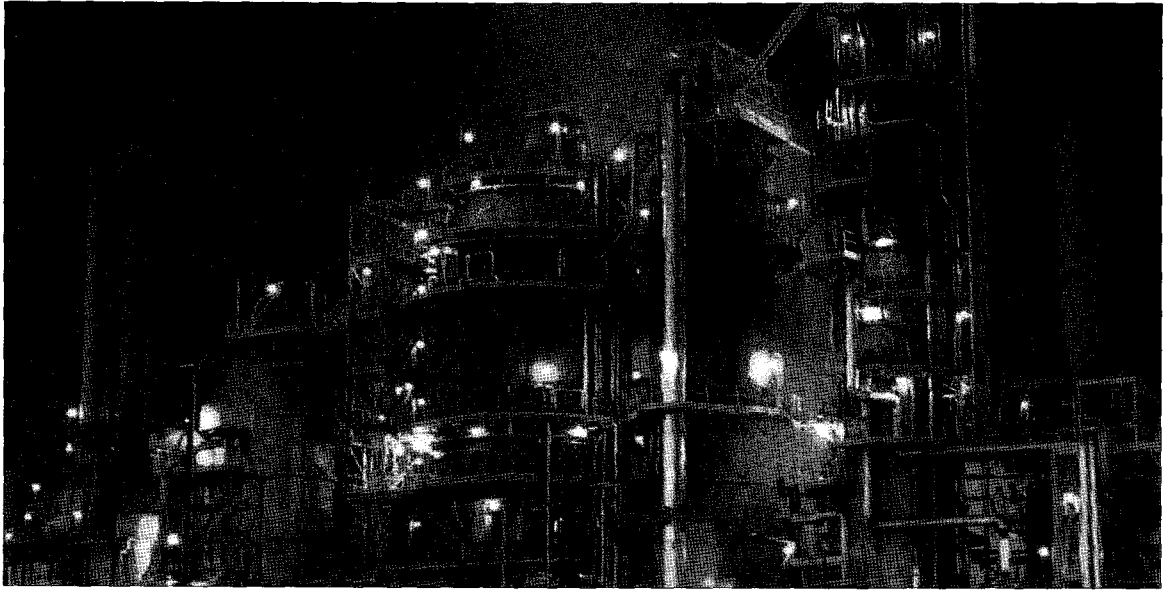


# 21세기 경영의 기본



윤 석 철 교수  
서울대학교 경영대학



세계화 시대의 경영은 과학기술의 이해에서!

세계화의 기본과제는 제품과 서비스의 수준을 세계 정상급으로 올려 놓는데 있다. 그러기 위해 경영자가 해야 할 일은 한 두 가지가 아니지만, 현대 과학과 기술의 기본을 이해하는 일은 급선무에 속한다. 우리 나라 경영자 중에는 과학과 기술의 중요성만 강조할 뿐, 그 세계를 제대로 이해하고 있는 사람은 많지 않다. 과학 기술의 속내용을 모르면서 그에 관한 논의를 하는 것은 장

님이 코끼리를 논하는 것과 같다고 할 것이다. 오늘날 세계 무대에서 경쟁할 수 있는 제품을 설계하고, 그것을 생산할 기술을 개발하는 일은 일시적 분발과 정열 만으로는 되지 않는다. 그것은 우리의 속담처럼 ‘알아야 면장(面長)을 할 수 있는 일이다. 그것은 한국인 특유의 기질이라는 ‘신바람’이나 정신적 자세를 강조하는 극기훈련만으로도 되지 않는다. 그것은 과학과 기술의 기초를 다져야 되는 일이다.

과학과 기술의 기초를 다지는

일은 일조일석 되지도 않는다. 유럽은 과학과 기술의 발상지이고 거기에는 몇 백년의 전통을 가진 대학들이 많다. 이런 대학 중 어느 하나에 동양의 한 관광객이 들렀다 한다. 캠퍼스에 들어서면서 그는 우선 아름다운 잔디에 매료되었다. 그는 자기 집 정원에 잔디를 심고 곱게 가꾸려고 애를 써 봤지만 잘 되지 않았고 고민하던 터였다. 그때 마침 저 쪽에서 한 장년의 남자가 땀을 흘리며 잔디를 깎고 있었다. “울지, 저 정원사에게 잔디 기르는

비법을 물어 보자.” 하고 관광객은 그에게 손짓을 하여 그를 세웠다. “정원사 아저씨, 잔디를 잘 기르는 비법을 좀 가르쳐 주시오” 그런자 정원사는 “잔디 가꾸기에 무슨 비법이 있겠소?” 하고 반문하며 다시 일을 계속했다. 관광객은 작은 뇌물작전을 써야겠다고 마음먹고 10불짜리 지폐를 정원사의 주머니에 찔러 주었다. 정원사는 곧 일을 끝내고, “저기가 우리 집인데, 커피나 한잔 하시죠.”하며 자기 주머니에 꽂힌 돈을 꺼내 되돌려 주었다. “나는 이 대학 총장이요.”

이 말에 놀란 관광객은 백배 사죄하면서 그를 따라가 커피 대접을 받았다. 그리고 자기는 잔디를 이렇게 곱게 키우질 못해서 이곳의 비법을 알고 싶어 실례를 저질렀다고 용서를 빌었다. 그러자 그 총장은 눈을 깜박거리며, “가물면 물을 주고, 자주 잡초를 뽑아 주고, 가끔 비료도 주면서 500여년 가꾸면 이렇게 될 겁니다.”하고 답했다 한다. 잔디 기르기에 비법이 없듯이 과학기술의 발전에도 비법을 기대할 수는 없을 것이다. 그러나 무작정 500년을 기다릴 수도 없다. 여기에 한국 같은 과학기술 후진국의 고민이 있다. 우리는 500년을 50년으로 단축할 수 있는 지혜라도 생각해 내려고 애써야 한다.

### 전기는 현대기술의 중심에 위치

아무리 새로운 첨단 기술이 나왔다고 해도 알고 보면 그 기술은

대개 전기를 에너지로 사용한다. 이런 의미에서 전기는 현대 과학기술의 중심에 자리하고 있는 것 같다. BC 7세기에 이미 인간은 호박(琥珀; 나무의 樹脂가 땅 속에서 오랜 세월을 거치면서 형성된 보석의 일종)과 모피의 마찰에서 전기의 발생을 발견했다. 그러나 전기의 혜택이 일반 대중의 일상생활에까지 파고든 것은 19세기 후반 조명기술의 탄생부터이다.

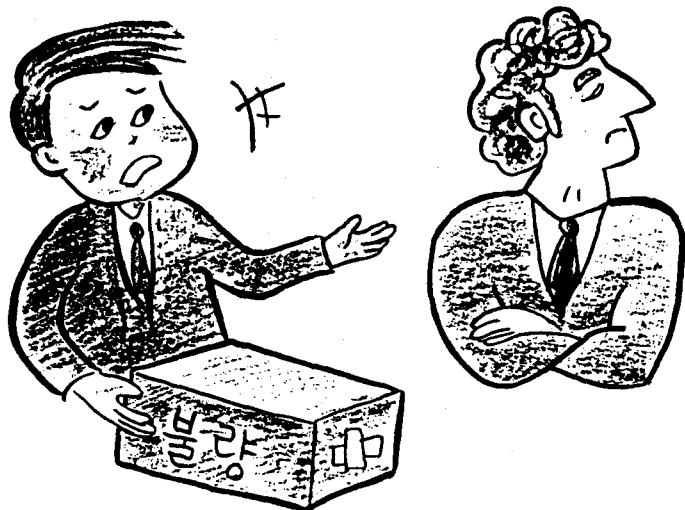
1879년에 미국의 에디슨(Edison, T.) 이 3,000여회의 탐색실험 끝에 백열등을 발명했고, 1882년에는 뉴욕시의 밤거리를 밝히기 시작했다. 이렇게 시작된 에디슨 전기회사는 오늘날 제너럴 일렉트릭(General Electric)사가 되어 조명기술 분야에서만도 매년 수십억 달러의 매출액을 과시한다.

이 글에서는 우리 나라의 울진 원자력발전소에서 일어난(원자력 관련이 아닌 터빈 계통)고장사고 케이스를 분석하면서, (1) 과학과 기술의 내면 세계가 어떤 것인가를 이해하고, (2) 선진국의 기술 소유자들의 황포가 어떤 것인가를 살펴 보며, (3) 앞으로도 계속 선진 기술을 도입하고 소화해야 할 우리 경영자들의 각오와 준비를 새롭게 하고자 한다.

모든 기술이 다 그렇지만 발전의 기본원리도 자연 법칙 속에서 발견되었다. 자석사이에서 코일을 회전시키면 코일에 전류가 유도되어 나온다는 사실을 1831년

영국의 파라데이(Faraday)가 실험도중 발견했다. 이 원리를 이용하여 실용적인 발전기를 고안한 사람은 독일의 엔지니어인 지멘스(Siemens, W.)이다. 그는 1869년경 대규모의 발전기 제작에 성공했다. 에디슨의 백열등 발명으로 19세기 후반부터 전력의 수요가 늘자 이곳 저곳에 지멘스의 발전기를 사용한 발전소가 건설되기 시작했다. 에디슨도 1882년에 발전소를 건설하여 뉴욕에 전력 공급을 시작했다. 이때 에디슨은 전력 수요를 신장시켜 “규모의 경제”를 실현하기 위해 전구를 소비자에게 무상으로 나누어 주었다하니 그의 기업가적 재능도 탁월했던 것 같다.

발전기로부터 전류를 얻어내기 위해서는 자석 사이에서 코일을 계속 회전시켜야 한다. 그러면 이 코일을 회전시킬 에너지는 어디서 오는가? 높은 곳에 있는 물이 흘러내리면서 터빈의 회전날개를 돌려 전기를 생산해 낼 수 있다. 이것이 수력발전의 원리이다. 화력발전소에서는 연료를 태서 물로부터 수증기를 얻는다. 물이 수증기가 되면 약 1,700배의 부피로 팽창한다. 수증기의 이러한 팽창이 압력을 만들고, 압력이 노즐을 통해 분출되면서 발전기의 터빈을 돌린다. 자연 속에 존재하는 원소중 우라늄처럼 무겁고 불안정한 원소는 그 핵을 분열시켜 좀더 안정된 원소로 변해가려는 특성을 가진다. 이때 질량결손이 일어나고, 결손된 질



의 기술진이 프랑스로 출장하여 GEC-Alsthom사와 대책회의를 가져, 결론이 터빈의 설계 미흡 쪽으로 기울었으나, Alsthom의 이해관계로 인하여 Alsthom에서는 공식적인 고장 원인을 밝히기를 거부했다.

기술 소유자들의 횡포는 '안 가진자'에 대한 '가진 자'의 횡포의 한 전형이다. 이와 관련하여 1969년에 완공된 인천화력발전소의 예를 들어보자. 현재에도 경인지역에 전력을 공급하고 있는 인천화력은 1969년의 시운전 중에 1m크기의 회전날개 (blade) 하나가 파손되어 떨어지 나간 사고가 있었다. 당시는 우리나라의 전력공급이 수요에 미치지 못해 발전소에 과부하가 걸리던 시절이다. 전력의 수요가 발전의 공급능력을 초과하여 과부하가 걸리면 전류의 주파수가 감소한다. 그래서 인천화력발전소의 시운전 기간동안 주파수가 60에서 58.5 수준으로 10여 차례나 하강한 일이 있었다.

인천화력의 터빈 제작사인 일본의 도시바(東芝)사에서는 “과부하로 인하여 주파수가 하강한 것이 회전날개의 파손의 원인”이라고 주장하면서 자기들이 책임질 일이 아니라고 책임을 한전측에 전가해 왔다.

그런데 한전의 한 엔지니어가 일본에서 발간된 전기공학 책으로부터 “58.5 cycle 수준으로 주파수가 하강해도 터빈의 회전날개 파손에까지는 이르지 않는

량이 에너지로 전환되는 것도 자연법칙의 하나이다. 이 에너지로 물을 끓여 전기를 얻는 방법이 원자력 발전이다.

한국은 1978년 고리 1호기의 가동에 들어감으로써 세계에서 22번째의 원전 보유국으로 등장했다. 그 뒤 1, 2차 석유파동을 겪으면서 탈석유 정책의 일환으로 원자력발전 설비를 확충하여 한국은 설비용량면에서 세계 10위권으로 발돋움하고 있다. 지금 우리가 사용하고 있는 전력의 약 반은 원자력 발전에서 온다. 석유나 석탄 등의 자원 고갈과 환경오염을 생각할 때, 원자력에 의존하는 일은 현재로선 불가피하다.

**선진국의 기술 횡포**

1989년부터 가동되기 시작한 울진원자력발전소의 터빈 1, 2호기가 모두 시운전에서부터 고장나기 시작했다. 2호기의 시운전 중 출력 48% 수준에서 고압터빈

의 회전날개와 고정날개가 접촉되는 큰 고장이 발생하였고, 다시 저압터빈에서도 고압터빈에서와 같은 고장이 재발했다. 곧 이어 1호기에서도 2호기와 같은 유형의 고장이 발생하였다. 이렇게 1, 2호기의 고압, 저압 터빈에서 연속적으로 같은 유형의 고장이 발생함에 따라 한전에서는 고장의 원인을 밝혀내고 복구작업의 추진을 협의하기 위하여 “울진 2호기 고장정지 조사위원회”를 구성하고, 자체 조사를 진행하는 한편 터빈 제작사인 불란서의 GEC-Alsthom사에 통보했다. GEC-Alsthom사에서도 현장에 기술자를 파견하여 조사에 착수하였다.

그러나 Alsthom 조사단은 고장의 원인을 터빈의 설계 잘못이 아니라, 터빈의 운전미숙으로 인한 수증기 속의 수분 유입 때문이라고 주장하게 되었고, 이 주장은 한전측이 제시한 터빈 및 증기조절 밸브의 설계 잘못이라는 주장과 대립하게 되었다. 결국 한전

다”는 일본의 경험을 읽은 적이 있었다. 그래서 도시바 측에 그 책을 제시하며 이 사고는 제작사의 설계 잘못에 원인이 있다고 항의하였다.

도시바는 결국 이에 승복했고 예의 사고를 그들의 비용으로 수리해 주었다. 이처럼 사소한 지식이나 정보 하나가 때로는 몇 10만달러의 외화를 절약해 줄 수 있는 것이다.

선진국의 기술자들은 자신없고 불확실한 기술을 후진국에서 실험해 보려는 경향도 가지고 있다.

울진원자력의 경우 1800RPM, 60 cycle의 터빈은 Alsthom이 만든 첫 제품이었다. 유럽지역은 50사이클의 전류를 쓰고 있기 때문이다.

그들은 60사이클 터빈의 귀중한 시행착오를 울진원자력에서 한 것이다. 이런 의미에서 Alsthom은 장사도 하고, 시행착오 경험도 축적하여 소위 핼떡고 알먹고 한 것이다.

### 기술 속에 내재하는 과학의 세계

한전은 울진 원자력발전소 터빈고장이 원인을 규명하기 위해 한국과학기술원(KAIST)과 공동 연구를 펼치는 한편, 미국의 원자력기술 용역회사인 뉴테크(Nutech)사에도 원인조사를 의뢰하였다. 이들이 제출한 연구보고서에서 표면에 드러난 고장의 양상은 모두 파악되었으나 정작 고장의 원인에 대하여는 각 기술팀의 의견이 달랐다. 여기서 고

장의 원인과 관련하여 우리의 관심을 끄는 것은 이들 고장이 출력상승 시험중 출력의 어느 특정 범위에서 일어났다는 사실이다. 이 사실에 관련하여 자연의 존재 법칙 하나를 살펴보자.

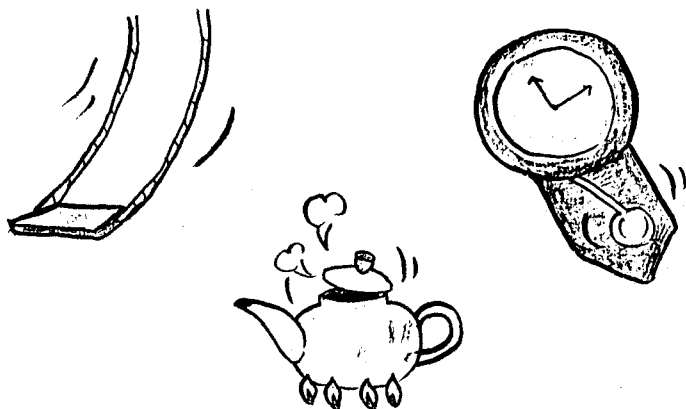
‘세모시 옥색 치마 금박물린 저 댕기가 / 창공을 차고 나가 구름속에 나부끼다 / 제비도 놀란 양 나래 쉬고 보더라’ / 김말봉씨의 시에 금수현수가 곡을 붙인 한국 가곡 ‘그네’의 일절이다. 한국의 명절 단오날 뛰는 그네는 등시성 왕복운동을 한다. 시계의 추도 같은 원리의 운동을 한다. 이들이 단위시간당 가지는 왕복운동의 수를 고유 진동수라 한다. 이 진동수는 그네나 추의 길이 같은 그들 고유의 특성에 의해 결정된다. 시계의 추는 태양의 힘에 의해 에너지를 얻지만 그네는 사람이 규칙적으로 발을 굴러서 에너지를 공급한다. 이처럼 고유진동을 하는 물체에 외부에서 규칙적으로 가해지는 운동을

강제진동이라 한다.

그네를 잘 타는 사람은 그네의 고유 진동수에 자기의 강제 진동수를 잘 일치시킬 수 있는 사람이다. 진동하는 물체의 고유진동수와 외부에서 가해지는 강제 진동수가 일치하는 현상을 공명이라 한다. 공명이 일어나면 그 물체의 운동은 증폭된다.

그래서 고유진동수와 강제진동수의 일치가 큰 사고를 불러 일으키기도 한다. 1993년 10월에 있었던 한국 서해안의 위도 앞바다 웨리호 참사도 배가 고유진동수를 가지고 뒤통거릴 때, 파도의 강제진동수가 겹쳐지면서 배가 전복됐을 가능성도 있다. 달리는 자동차에도 여기 저기서 고유진동이 나타난다.

회전하는 바퀴는 타이어의 고유특성과 회전속도에 따라 고유진동수를 만들고, 엔진은 엔진대로, 차체는 차체대로 그들의 고유 조건에 따라 고유진동수를 만들어 낸다. 그러다가 어느 특정 속



도에서 어느 부분의 고유진동수와 다른 부분의 고유진동수가 공명을 일으키면 진동이 증폭되어 차가 몹시 흔들린다. 차가 그 특정의 속도범위를 벗어나면 공명영역을 벗어나기 때문에 공명이 사라질 수도 있다. 고속으로 회전하는 물체에서 공명진동을 회피하는 일은 중요한 노하우(Know-how)가 된다.

공명현상이 발전소의 터빈에서 일어나면 터빈의 증폭된 진동이 고장을 유발하는 것이다.

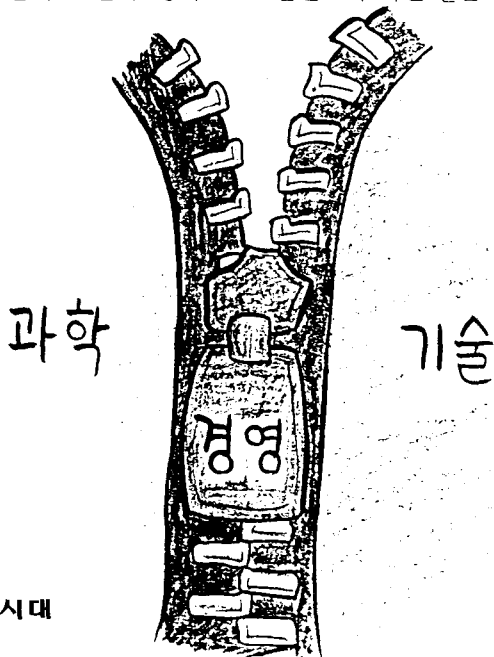
주전자에 물을 끓이면 수증기가 주전자 뚜껑을 규칙적으로 진동시킨다. 이와같이 터빈 속으로 유입하는 증기는 압력과 유입속도에 따라 증기유입부에 고유진동을 일으킨다. 한편, 회전하는 터빈은 터빈의 고유조건에 따라 고유진동수를 만들어 낸다. 그러다가 터빈의 진동수와 증기유입부에서 오는 진동수가 공명을 일으켜 진동이 증폭되면 용접이 취약했던 부분에 균열이 생기고

정밀을 요하는 접촉 부위에 뒤틀림이 생기고, 재질이 약한 부위에 파열이 생긴다. 공명에 의한 고진동을 고치려면 어느 부분의 설계를 변경하여 그 부분의 고유진동수를 변화시켜야 한다. 그러나 울진 원자력의 경우처럼 이미 설치된 기계에서는 이 일이 복잡하다. 한전에서는 발전소의 운휴에서 오는 경제적 손실을 줄이기 위해, 터빈의 회전날개를 100개에서 8개를 떼어내 92개로 줄여 공명을 막았다. 그러나 이런 변경은 다른 부분과 균형을 깨뜨릴 수 있으므로 최초의 설계가 중요한 것이다. 그러면 최초의 설계가 어려운 것은 왜인가를 살펴보자.

현재 우리나라에서도 발전소의 터빈을 제작은 한다. 단 제품의 설계도면을 외국에서 들여와 그 도면이 지시하는 소재를 구해서, 도면에 나타난대로 부품을 깎고 조립하는 수준이다. 울진 원자력 발전소의 터빈 같은 대형 제품의

설계도면을 작성하는 일은 아직 엄두도 못낸다. 그러면 왜 설계도면을 만드는 기술이 그렇게도 어려운가? 터빈의 회전날개의 예를 가지고 이 문제를 살펴보자. 회전날개를 설계하려면 날개의 소재를 무엇으로 나느냐, 규격의 정밀도는 얼마로 하느냐가 우선 문제된다. 사용한 소재가 300℃ 이상의 수증기 속에서 얼마나(몇 천분의 몇 mm)팽창할 것이냐, 이 팽창을 고려하여 조립용 핀(pin)의 직경과 그 핀을 꽂을 구멍의 내경 사이에 공차(vacancy)를 얼마로(역시 몇 천분의 몇 mm)할 것이냐가 문제 된다.

핀의 소재가 합금일 경우에는 합금의 구성이 균일하여 열팽창이 균일하게 일어나야 한다. 앞의 울진 원자력발전소 케이스에서는 조립에 쓰인 핀이 팽창하여 핀 구멍에 생긴 응력으로 구멍 주위에 금(crack)이 생겼고, 이 금이 고진동 상황에서 파열의 원인이 되어 회전날개가 떨어져 나간 것이었다. 설계시에 핀의 외경과 핀을 꽂을 구멍의 내경 사이에 공차가 너무 크면 고진동시에 핀이 움직이게 되고, 이 움직임이 핀의 내경을 마모시키면서 다시 진동을 일으켜 고장을 유발할 수도 있다. 그러므로 핀의 외경과 핀 구멍의 내경의 정밀한 치수를 정하는 계산의 문제, 또 조립할 때 핀의 나사를 조이는 강도의 계산 등 모두가 어렵고 중요하다. 나사를 너무 세게 조이면 고온에



서 금(crack)이 생길 위험이 있고, 너무 약하게 조이면 고진동에서 흔들릴 염려가 있다.

소재나 원료 메이커에게는 원료나 소재의 품질과 성능을 개선하는 문제가 제품기술의 문제가 된다.

원료나 소재는 화학공정을 통하여 생산되는 경우가 많으므로 화학적 제품에서는 설계라는 표현보다는 배합이라는 말이 더 적절할 것이다. 그러나 설계나 배합은 그것이 물리적이냐 화학적이냐의 차이가 있을뿐 본질적으로는 같다.

제품의 설계나 배합에서의 이런 복잡한 문제들이 선진국에서도 깨끗하게 이론적으로 풀리는 경우는 드물다. 대부분의 경우 탐색실험에 의한 적정해로 해결되고 있다. 그러나 (최적해도 아닌) 적정해를 얻어 내는 일도 쉽지는 않다.

터빈에는 고온 고압의 수증기를 유입시켜야 하므로 터빈을 둘러싼 강철 표피(casing)는 약 15cm의 두께이다.

이렇게 두꺼운 케이싱 내부의 여러 위치에서 압력과 온도의 변화가 어떻게 일어나며, 이들 압력과 온도가 각 회전날개에 어떤 응력을 미치는지를 측정하는 일이 쉽지 않다.

앞에 언급한 바와 같이 Alsthom도 1800 RPM, 60 cycle의 터빈은 울진 원자력에서 첫 시행착오를 한 것이다. 이처럼 기술선진국은 그들의 독점적

위치를 이용하여 장사도 하고 시행착오 경험도 동시에 한다.

#### 기술 프로젝트는 어떻게 관리하나?

울진 원자력발전소 케이스를 통하여 과학과 기술의 내부 세계가 얼마나 넓고 복잡하게 얽혀 있는 지를 살펴보았다. 이와같이, 기술의 실제 세계는 여러 계보의 과학과 기술이 하나로 결합하여 인간이 정립한 목표를 수행하는 현장이다. 그러므로 기술의 관리에서는 계보를 달리하는 한편 기술간의 관계를 이해하는 일이 중요하다.

여러 부분 체계가 결합하여 상호작용을 통해 전체적 목표를 달성하려는 유기적 조직체계를 우리는 시스템(system)이라 부른다.

원자력발전소도 하나의 기술시스템이다. 그것은 원자력, 열역학, 유체역학, 기계공학, 전기공학, ... 그리고 공명현상 같은 역학적 체계를 부분 체계로 포함한 전체적 체계이다.

원자력 발전시스템이 이렇게 크고 복잡하기 때문에 그 속에서 조그만 사고 하나만 나도 그 원인을 명확히 가리기가 어렵다.

기술의 실제 세계가 이처럼 여러 부분체계의 유기적 결합이기 때문에 기술발전을 도모하는 일은 시스템적 접근법의 문제이기도 하다.

시스템적 접근법이란 전체 체계의 목표를 정립하고 각 부분체계 사이의 관계 및 전체와 부분

간의 관계를 규명함으로써 문제를 해결하려는 사고방식이다.

기술문제는 어느 부분 체계에서만 치우치지 말고 전체 체계의 관점에서 접근해야 한다. 우리가 음악을 듣고 오디오 시스템도 음반, 턴 테이블, 앰프, 스피커 등 여러 부분시스템(component)들이 결합하여, 원음의 재생이라는 목표를 갖는 전체 시스템을 형성한다. 이들 부분시스템 중 어느 하나의 성능이 원음을 70% 재생하지 못하면, 다른 부분의 성능이 아무리 좋아도 전체시스템의 성능은 70% 재생수준에서 머물고 만다. 최하위 성능을 가진 부분시스템의 성능에 의해 전체시스템의 성능이 좌우된다. 그러므로 기술의 발전을 도모하는 일은 결국 취약한 부분 시스템을 발견하여 그 부분을 보강, 개선하는 노력에서 출발해야 한다.

슈페터는 '이노베이션이란 체계의 균형점을 이동시키는 것'이라고 했다. 슈페터가 말한 체계의 균형점이란 기술시스템 사이의 균형점을 의미하는 것으로 해석할 수 있다. 이노베이션에 대한 필요의 인식과 그 필요를 충족할 수 있는 목표체계의 정립, 그리고 그 체계 속에서 각 부분시스템 간의 새로운 균형점을 모색하는 일이 기술체계의 발전과 정일 것이다.

- 참고문헌 : 필자 저  
"과학과 기술의 경영학"  
"프린시피아 메네지먼트"