

전기공학에서의 分子工學論的 方法論 Molecular Approach for Electrical Engineering

제 언
20~5~1

성 영 권*
(Young Kwon Sung)

우리 나라 현정부에서는 획기적으로 성공을 이룬 제 2차 경제개발 5개년계획에 이어 제 3차 경제개발 5개년계획의 전모를 제시하여 그것에 입각한 모든 시책을 추진하여 우리 나라의 경제개발을 기해 선진국에 뒤따르려 하고 있다. 이에선 필연코 산업 또는 공업의 발전을 위한 施政이 있어야 하며, 또 그 산업 발전에는 과학기술 진흥을 위한 시정이 따라야 한다. 그렇지 않으면 공업의 발전과 기술혁신이나 개발의 촉진이 있을 수 없다. 그러나 그러한 공업의 발전과 기술혁신 또는 향상은 일조일석에 이루어지는 것이 아니고 산업구조의 변혁에 따르는 장기적인 계획과 생산구조의 변혁과 기술혁신에 이바지하는 인력의 양성이 중요한 의미를 갖게 된다. 따라서 그러한 공업발전과 기술개발에 직결되는 기술교육을 담당하는 과학 교육자 또는 대학 당국자는 혁신적이며 유기적이고, 합리적인 태도와 방안을 갖추어야 한다.

1. 서 론

종래 우리 나라 기술자는 시야가 좁다는 말을 흔히 들으며, 따라서 향상 후진성을 면하지 못하는 형편이다.

오늘날에 있어서는 기술도 정책과 경영에 결부되고 기술 그 자체를 목적으로 하는 사람은 없다. 종래의 기술자는 일종의 보수성을 지니고 어떤 법칙에만 충실히 따르는 Read made식의 사고방식이었다. 물론 기술은 과학에 의거하며 그 과학은 기술 법칙을 중심으로 하기 때문에 그 법칙을 떠난 기술은 존재하지 않는다.

그러나 그러한 과학 법칙에 의거한 기술을 습득하거나 교육하는데 있어 좀 더 Order made식의 사고 방식을 취하지 않으면 외국에서부터의 기술 도입 등의 후진성을 탈피하지 못할 것이다. 따라서 우리들 대학인이나 학도들의 책임의 중요성을 충분히 인식해야 할 것이다.

가령 선진국에 있어서의 대학을 살펴 보자. 세계 최대의 공과대학 M.I.T.이라면 그 규모의 크기 및 각방면의 권위자로 구성된 교수진, 미국 대학에서는 찾아

보기 힘들게 입학 선발의 엄중성과 일종의 수재로서 유명하다. 그러나 필자의 생각에서는 가장 중요한 특색은 공과대학에서는 진기하게 우수한 물리학과 화학 등의 이학(理學) 관계의 교실을 가지고 공과의 교육과 이과의 교육이 잘 융합되어 행해지고 있다는 점이다.

그 학교의 교육 목표는 「기초 과학을 충분히 해득시키고 독창력 있는 장래의 지도적인 「엔지니어」의 양성에 있어 단순히 재래의 지식을 주입(注入)시키고 현실에 알맞고 쓰기 쉬운 「엔지니어」의 양성은 타대학에 미루면 된다는 취지로서 그 교육은 대단히 혁신적이고 기초적이며 길 안쪽 아래 있다. 가령 필자의 학생 시대에 있어서의 전기기계 강의나 실험은 직류기, 유도기, 변압실험 등으로 따로 따로 행해졌으나 M.I.T의 Bulletin에 의하면 전기 실험실에서는 일반화 기계라고 하는 일종의 학생 실험용 기계가 있어 그 결선 방법을 바꿈으로써 직류기로도 교류 정류자기로도 또는 유기로도 되게 되어 있다. 강의로도 일반화된 기계의 통일적인 이론을 충분히 해득하게 하고 그 특에로서 직류기, 유도기, 변압기 교류정류기, 자기증폭기, 등을 설명하게 되어 있어 장래 어떠한 새로운 형태의 전기기계 출현하여도 졸업생은 당황하지 않게끔 되어 있다. 이와 같은 혁신적이고 기초적인 M.I.T의 학풍에서 교수진과 학생은 전 세계에서 독특한 엘리트 형상하여 산업계나 학계에 큰 공헌을 하고 있다. 그 중에서는 필자가 학문적인 업적을 통하여 존경하고 있는 독일 태생의 「Von Hippel」 교수는 최근에 「분자공학과 분자과학」이라는 어구(語句)를 제창하고 있다.

여기서 필자는 Hippel 교수가 제창하고 있는 분자 공학론적인 사고 방식을 대학인이 빨리 흡수 소화하여 보급하므로써 급진해 가는 산업의 추세에 발맞추어 종래의 현상론적인 Ready made식 방법의 보수성에서 탈피하여 혁신적인 Order made식 방법으로 전환시키게 노력하여야 한다고 생각한다.

그러므로 우리나라 산업의 발전 촉진제로서의 조력(助力)이 되며 대학인으로서의 직무를 완수하는 것이 될 것이다. 그런 분자 공학론적 방법이란 무엇인가 설 명해 보기로 한다.

*성희원 : 고려대학교 이공대학 전기공학과 교수

2. 분자공학이란?

기술자는 그 아이디어를 실현하기 위하여서는 꼭 재료를 사용하여야 하며, 그 재료의 특성을 콘트롤 하여 소기의 장치나 기계를 만드는 것이 공학의 기본이다.

그런데 종래까지의 전기나 기계의 기술자는 기계를 설계하고 각 부분품이 갖출 특성이 정해지면 다음에는 Ready made의 재료의 특성을 일일히 조사하여 가장 요구에 알맞는 특성을 가진 재료를 선정하는 전술을 취해 왔다.

시간과 돈이 있으면 이러한 수법도 좋지만 달 로켓 트가 날르는 현대에 있어서는 시대에 어긋남과 동시에 거대국인 미국이라도 국제 경쟁에서 나오되는 것은 물론이고 소기의 목적에 가장 알맞는 재료를 발견하기에는 불가능에 가까우며 적당한 것에 타협할 수 없어 마치 Ready made 양복에 몸을 맞추기 위해 위축시키는 것과 같다. 이와 같은 상태는 기술자가 재료에 대해서 “현대론적인 지식”밖에 갖지 않는 경우에 일어난다. 가령 전기 기술자라면 모든 재료를 고유저항, 유전율, 유전손실, 투자율, 절연과파 등의 정수로서 정리하여 그 물질의 여러가지 조건(온도, 압력, 주파수) 하에서 이들의 정수를 완측(完測)해서 나온 막대한 표만 있다면 그것만으로 만족하여 왜 그 특성이 생기는가에 대해서는 무관한 태도였으며, 종래의 학교 전기 재료의 강의는 이와 같은 현상론인 것이 많았다. 그런데 물리학의 입장에서 보면 그러한 고풍적인 현상론은 과거의 것으로 되었고, 금세기 초 독일의 물리학자 Planck에 의해 시발된 전자론은 Heisenberg, Schrödinger 등의 영재(英才)에 의하여 양자역학(Quantum mechanics)에 의해 완성되어 전자나 원자 등의 미시적인 세계를 처음으로 이론적으로 취급할 수 있게 되었다.

모든 재료는 원자나 분자의 모임이기 때문에 양자역학에 의해 재료의 성질을 분자나 원자층에서 이론적으로 취급할 수 있는 길이 열렸다. 즉 새로운 양자론에 입각한 물리학이나 화학(소위 物性論)에서는 전자나 원자핵이나 원자 분자와 같은 기본 입자를 연기자(俳優)로 생각하여 물질의 성질을 이들의 특유한 개성을 지닌 다수의 연기자들이 연기하는 극이라고 생각하는 것이다. 이 경우 각 연기자는 量子力學과 統計力學이라는 일정한 규칙을 따라 행동하기 때문에 어떤 배우를 어떻게 배역시키면 어떤 극이 연출되는 가는 그 배역이 그다지 복잡하지 않은 것이라면 미리 예상된다. 다시 말하면 어떤 재료를 구성하는 분자의 배치 상태나 종류를 알면 물리적인 성질이 이론적으로 어느 정도 예측된다. 이와 같은 태도는 전술의 현상론과 정반

대의 물성론인 또는 분자론적인 태도이다. 만일에 기술자가 상술의 새로운 분자론적인 사고 방식을 획득함으로써 재료의 성질을 “설계”하여 그 재료를 조립시킨 장치내에서 일어나는 현상을 자유로 제어할 수 있다면 기술자는 참다운 창조자가 될 것이다. 이와 같은 공학을 Von Hippel 교수는 「분자공학」이라고 정의하였다

장래의 분자 공학적 기술자는 기계를 설계하여 어떤 성질의 재료가 필요하다고 하면 물성론의 지식에 의해 마치 장기의 알처럼 분자나 원자를 잘 배치시켜서 요망되는 성질을 가진 새로운 재료를 창조할 것이다. 물론 이에는 물리화학 관계의 과학자, 전기, 기계, 화학, 야금 등의 기술자가 종래의 여러 가지 장벽이나 쇄국(鎖國)적인 사상을 버려서 참다운 유기적인 결합체로서 협력하는 것이 필요하다. 더욱 물성론의 이론 면도 여러 가지 경우를 취급할 수 있게 하여야 한다. 이와 같은 분자공학이 장래 완성한다면 재료는 Ready made 시대에서 Order made시대로 변천해 나갈 것이다. 이의 실현에는 공과계의 학교 교육을 개혁하고 이과와 공과의 연구자나 학자간에 존재하고 있는 장벽을 없앨 것과 동시에 재래 기술자의 재교육을 필요로 하며 더욱 물성 물리나 화학의 비약적인 진보가 요망된다.

3. 분자공학은 왜 필요한가?

특히중에는 현재까지 분자공학이라는 기이한 것을 유타리 생각하지 않더라도 충분히 전기나 기계 등의 기술이 진보해 왔는데 왜 새삼스럽게 방식을 바꾸워야 하는가라는 의문이 생길지 모른다. 따라서 좀 구체적으로 두가지 예를 들어서 그 필요성을 강조하기로 한다.

우선 첫째로 최근에 고속도로 발달된 비행기나 미사일의 문제를 생각해 보자. 대개 대기 속에서 비행 물체의 Speed가 증가함에 따라 공기와의 마찰 열 때문에 비행 물체의 표면 온도는 Mach수(그 물체의 속도와 음속의 비)의 증가와 더불어 대체로 비례해서 증가하여 장래 비행 물체의 표면 온도를 600도 F에서 100도 F 정도까지 될 경우가 생기게 될 것이 예상 된다. 이렇게 되면 오늘날 비행기에 사용되고 있는 전기 부품은 거의 사용하지 못하게 된다.

예를 들면 유기 절연물은 용해해서 탄화해 버리며 반도체 정류기나 트랜지스터는 그 기능을 잃어 버린다 따라서 이와 같은 고온에 견딜 수 있는 재료나 장치가 문제로 되나 재래의 「브로드저 전술」로서 Ready made의 재료를 조사해도 무리한 이야기다. 또 미사일이나 인공위성이 높은 창공을 비행할 때 강한 방사선으로 인해 부품이나 재료가 spoil 되는 경우에도 충분히 고려해야 한다. 이와 같이 날로 전기 재료에 대한 요구는 엄

증하게 되고 이상적으로 될 뿐이며 이제는 과거의 경험만에 의존할 수 없게 되고 아무래도 분자 공학적인 방법을 채용하여 새로운 재료를 과학자나 여러 전문의 기술자가 협력하여 창조하지 않으면 안되게 되었다.

두번째의 예로서 Transistor 탄생과 그 발달을 들어 보자. 1948년 Bell 전화회사 연구소에서 수명의 물리학자(Bardeen 등)는 Germanium 결정의 표면 현상의 연구중에 기판(基板) 전극의 반대 쪽에 두개의 침전극을 세워서 그 한쪽에 신호를 보내면 다른 쪽에서 증폭된 신호가 나오는 것을 발견하여 그를 Transistor라고 이름 붙였다. 그 후 Transistor는 10여년 사이에 Bell 연구소를 중심으로 비약적 진보를 이루어 드디어 진공관에 대치하는 위치에 까지 와 있음은 독자 여러분이 잘 아시는 바이다.

이 Transtor의 진보 과정은 항상 Schockley와 같은 영재(英才)의 지도하에 있는 물리학자, 화학자와 전기 기술자가 완전한 Team-work를 유지하면서 우선 소위 분자공학적인 기초 연구가 선행하여 진 다음에 이를 실용화 장치까지 이루게 하는 작업의 연속이었다.

이와 같은 분자공학적인 방법이 취해졌기 때문에 Transistor의 반도체 공업의 진보 속도는 공업사의 미증유(未曾有)의 것으로 되었다.

오늘날 반도체 공업의 관계자로서는 아무래도 이와 같은 방법의 유연성을 의심하는 사람은 없을 뿐만 아니라 이를 채용하지 않는 Cut and try법에 의지한다는 것은 완전히 기술정경에 낙오하는 것임을 알고 있다.

이후의 분자공학의 보급과 확립에 있어서 Transistor의 발전 과정은 model case로서 유익할 것이다.

4. 분자 공학의 방법

A. 기초 연구의 중시와 각 전문분야 사이에 융합과 협력을 필요로 한다.

분자공학 방법의 특징은 우선 물성론에 의거한 기초적 연구를 중시하는 것이다.

Transistor 공업의 시조인 Schokley는 그의 반 고전적인 저서인 『반도체 속의 전자(電子)와 정공(正孔)』에서 그가 Transistor의 개발에 있어서 채용한 방법은 「우선 당면한 현상을 기초적으로 이해하는 것에 연구를 집중시켜 동시에 항상 머릿속에서 그 현상의 응용법에도 유의하고 있다」는 것이라고 말하고 있다.

Schokley에 의하면 어떠한 현상이 기초적으로 이해되고 있다는 것은 다음의 네가지 질문에 응답할 수 있는 것이라고 한다. 즉,

- 1) 그 물질은 어떤 원자가 어떻게 배열되어 있는가
- 2) 그와 같은 원자 배열은 왜 일어나는가?

3) 그 원자 배열하에서는 전자나 이온은 어떤 거동이 물성론적으로 기대 되는가?

4) 그와 같은 전자나 원자 등의 각자의 거동(舉動)이 어떻게 구성 되어서 문제로 삼고 있는 복잡한 거시적(macro) 현상이 생기는가?

물음 1)은 X선이나 전자선에 의한 결정구조 분석과 화학적, 물리적 분석으로부터 알게 되고 2)는 화학 결정을 이론적으로 이해하는 것 즉, 양자역학에 의거한 화학 결정론의 영역이며 3)은 고체론이나 액체론이라고 불리는 물리학의 일 분야로서 앞에 말한 양자역학과 그 위에 많은 전자나 원자의 집단으로서 거동을 취급하는 통계역학에 의해 해결 된다. 예를 들면 원자의 종류와 배열을 알면 그 물질이 도체인가 절연체인가를 이론적으로 예언할 수가 있다.

이상과 같은 사고 방식은 표현이 다른 뿐 Hippel 교수의 「분자공학(Molecular Engineering)」을 물리학자의 입장에서 바라본 것이다.

분자 공학의 제 2의 특징은 물리, 화학, 전기, 기계 야금 등의 전문가 사이의 유기적인 협력을 필요로 하는 것이다.

가령 물리학자가 원자를 어떤 상태로 배열하면 필요로 하는 성질이 얻어지는 것을 알고 있어도 실제로 그와 같은 물질을 만드는 단계에서는 꼭 화학자나 야금가의 힘을 빌리지 않을 수 없다. 그렇다고 종래와 같이 화학자에게 전적으로 맡길 수가 없다. 예를 들면 Transistor 등의 반도체 공업에 사용되는 Germanium이나 Silicon의 순도는 불순물의 배열이 10의 9승 분의 1 정도라는 대단히 적은 것이다. 처음에는 Germanium이나 Silicon 원료는 화학자의 손으로 화학적으로 어느 정도(10의 4승)까지 정제(精製)되고 다음에 물리학자나 야금가에 의해 소위 「Zone Refining」이라는 방법으로 10의 9승 정도까지 순화(純化) 된다. 이와 같이 해서 만들어진 시료의 순도는 화학 분석이나 물리적인 「스펙트럼」 분석에 체크하지 못할 정도로 좋기 때문에 이번에는 전기 전문가가 그 시료의 고유 저항을 측정하고 물성론에서의 계산과 비교하여 그 순도에 대한 척도를 알게 된다.

여기서 일예를 들어 달한 것처럼 현재의 반도체 공업에서는 화학 물리 야금 전기 등의 전문가가 유기적으로 협력해서 일하고 있다.

B. 분자공학에서는 원자의 미시적인 배열법을 바꿈으로서 재료의 성질을 자유로 제어할 수 있게 된다.

현재는 물성론에서 원자나 분자의 배열에서도 그 특성이 이론적으로 상세히 예언할 수 있는 것은 규칙 정연한 구조를 가진 결정의 경우에 한정되고 있다. 따라

서 분자공학적으로 재료의 성질을 제어하려면 결정을 사용하던 된다. 그 의미에서 최근의 반도체 공업이 발전한 제 1의 이유는 대단히 순도가 높고 완전히 규칙 정연한 원자 배열을 가진 Germium이나 Silicon의 단결정을 만드는 기술을 확립한 것에 있다고 하여도 과언이 아니다. 이와 같은 완전 결정은 어디서 누가 어떤 재료로 언제 만들어도 이론적으로 예언되는 바와 같은 일정한 특성을 지니고 있기 때문이다.

그러므로 먼저 이와 같은 완전 결정을 만들어 놓고 나중에 비소나 Indium과 같은 불순물을 인공적으로 넣어서 불순물의 양이나 종류에 의해 생각하는 바와 같은 특성을 지니게 할 수가 있다.

즉 현재 우리들은 분자적 척도로서 재료를 제어하는 것에 성공을 기한 셈이다.

옛날과 같이 천연 Silicon을 사용하여 광석 검파기를 만들고 있으면 각 Silicon마다 포함되고 있는 불순물이나 결정의 난잡성의 종류나 양이 균일하지 않기 때문에 일정한 성능의 제품을 양산하는 것은 도저히 무리였다. 그러나 오늘날에 있어서는 천연의 Silicon을 한번 정제해서 규칙 정연한 완전 결정에 가깝게 만들어 놓고 계획적으로 불순물을 넣는다는 방법을 취해 왔기에 뜻하는 바의 특성의 제품이 안정하게 얻어지고 제품마다 특성이 달라진다는 재래의 재료공업의 대약점을 정복하였다.

여러 가지 얼굴을 하고 있는 자연의 인간을 한번 정형수술로서 단결정이라는 완전 미인으로 만들어 놓고 다음에 불순물을 넣는 세공 등을 해서 조금 코를 천정으로 향하게 하든지 눈섭을 올리든지 여러 가지 자기들의 취미에 알맞는 개성미로 만들어 낸다는 것이 분자공학의 특징중의 하나이다. 너무나 잘난 척하는 완전 미인으로서는 접촉하기도 어렵고 아무런 맛도 없다 따라서 각각 어떤 목적에 적응한 개성미를 가지게 하는 것이 좋다.

그 예로 BaTiO₃와 같은 고(高) 유전율을 가진 Condenser 재료 Forite와 같은 강자성 재료의 제조나 성질의 이해에는 오늘날 거의 분자공학적 방법이 취해져 여러 가지 성질을 제법 제어할 수 있게 되고 있다.

5. 결 론

이상 분자공학적 방법론에 대해서 해설해 왔으나 분자공학은 결코 완성된 것이 아니라 겨우 단서(端緒)에 달한 것 뿐이다.

우리들 세대의 학자나 연구자 기술자 신진 학도들이 이 새로운 사고방식에 흥미를 가지며 재래의 인습적인 재료에의 관점에서 부터 탈피함과 동시에 기초 연구의 중요성을 인식함이 장래의 독창적인 한국기술의 발달에 크게 기여할 것이라고 믿는 바이다.