



# 공학의 모태는 군사과학

홍 순 찬  
(前 회장, 단국대 교수)

## 1. 서 언

현실적인 면에서 공학을 이야기할 때 빼놓을 수 없는 것이 경제성이다. 자본주의 사회에서 경제성이 없는 다시 말해, 이익이 창출되지 않는 공학연구를 하기는 어렵다. 최소한 이익 창출이 기대되어야만 공학연구가 이루어진다. 그렇다고 처음부터 이익이 보장되는 공학연구가 얼마나 되겠는가? 그러나 군사과학은 다르다. 당장 적과의 싸움에서 진다면 국가의 보존이 어려운 마당에 경제성을 따질 수는 없는 것이다. 성능만 좋다면 개발비가 얼마이든 국가가 감당할 수 있는 범위 내에서 충력을 기울이게 된다. 또한 연구인력들도 최선을 다해 연구에 임하므로 효율성이 높아진다. 이렇게 개발된 기술이 세월이 흐름에 따라 경제성을 수반하게 되면 일반 민간사회를 위한 공학으로 탈바꿈하게 된다. 이와 같이 공학은 군사과학을 모태로 하여 발전하여 왔다.

다음 절에서 알 수 있듯이 일반사회에서의 공학 역사가 200년이 되지 않는다. 본 원고에서는 레이더를 중심으로 하여 군사과학이 일반사회의 공학으로 발전되어가는 과정을 살펴보기로 한다.

## 2. 발명을 촉진하는 전쟁

유사 이래 전문기술은 전쟁 무기를 공급하고 또한 이에 대항하는 방어 수단을 공급해왔다. 원래 군사과학은 기술을 집약한 유일한 분야이었으며, Leonardo da Vinci, Michelangelo와 같은 사람들에 의해 실현되어 왔다. 1818년에 군대가 아닌 일반인 사회를 위해 기술을 지원하려고 처음으로 기술자들이 조직화되었을 때 그들은 자신들을 군사 분야의 기술자와 구분하기 위해 민간기술자라고 불렀다. 전기공학이 체계화된 이래 전쟁을 준비하고 전쟁을 수행하고 전쟁을

방어하고 전쟁을 방지하기 위한 수단을 찾는 것이 전기기술자들의 주된 임무가 되어 왔다.

Edwin H. Armstrong의 위대한 발명품인 고감도 수신장치(superheterodyne)는 수십 억 대의 라디오 수신기와 텔레비전 수신기의 기본이 되는 회로인데, 그는 이 장치를 제1차 세계대전 중에 파리에 있는 Signal사에 근무하면서 보다 감도가 좋은 수신장치로 개발하였다. 최초의 전자식 컴퓨터인 COLOSSUS와 ENIAC은 제2차 세계대전 중에 만들어졌는데, 하나는 적의 통신코드를 해석하기 위한 것이었고 다른 하나는 대포의 탄도를 계산하기 위한 것이었다. 정보이론 분야의 세 위인인 Shannon, Weiner와 von Neumann은 전시의 어려운 상황 하에서 연구할 때 세롭고 중요한 연구 결실을 많이 거두었다. 이 전쟁 도중에 Purdue 대학의 Lark-Horovitz와 그의 제자들은 반도체 전자공학의 발전에 크게 기여하였다.

전사(戰史)에 따르면 제2차 세계대전의 승리에는 탁월한 전자시스템이 크게 기여하였다. 이러한 교훈은 전쟁을 대비해야 하는 사람들에게는 잊을 수 있는 일이 아니었다. 이에 따라 미국 국방부 예산의 거의 절반이 전자 무기와 컴퓨터 시스템을 연구하고 설계하며 조달하는데 사용되고 있는 것으로 추정된다.

지금부터 군사용으로 발명하였지만 소나, 전자항법, 이동통신과 같이 군사과학과 민간 공학 사이에 시너지 효과를 일으킨 레이더 시스템을 살펴보기로 한다.

## 3. Hertz로부터 시작된 레이더

'radar' 라는 단어는 1941년 미국 해군에서 radio detection and ranging의 약자로서 사용되기 시작했다. 전파는 주위의 물체와 전기적인 특성이 다른 물체에 의해 반사되

며, 이 반사된 전파를 탐지할 수 있다. 이 전기적인 차이는 매우 섬세해서 상용 항공기에 장착된 레이더는 고요한 대기와 불안정한 대기를 구분할 수 있을 정도이며 조종사가 위험한 항로를 피해갈 수 있도록 해준다.

레이더에 대한 기초 연구는 오래 전에 이루어졌다. 1887년에 Heinrich Hertz는 전파가 존재하며 전파가 반사됨을 증명하였다. 그는 '여러 형태의 방사 전자기 에너지가 있으며 빛은 그 중의 하나'라는 Maxwell의 가설을 시험하기 위하여 연구실에 실험장치를 설치하였다. Hertz는 전기 스파크가 갭을 가로질러 가며, 그와 동시에 연구실의 반대편 끝에 있는 구리 링의 작은 갭 사이에서 약한 스파크가 발생함을 발견하였다. 그는 또한 갭 사이에 금속판을 놓으면 이 효과를 차단할 수 있으며 차단경로의 금속판이 전파를 반사함을 알았다. Hertz는 파장이 66cm에서 수 미터에 이르는 전파를 사용하였다. 그러나 반 세기가 더 지난 제2차 세계대전이 발발하고서야 이러한 반사파가 레이더에 사용되었다.

1902년 Kennelly와 Heaviside는 대기의 상층부가 이온화되어 있으며 전기적으로 충전된 고밀도 입자로 채워져 있다는 가설을 내놓았다. 1901년에 행해진 Marconi의 대서양 횡단 전파시험과 같이 무선 신호가 수평선 너머로 전달되는 것은 이러한 전리층에서의 반사로 설명될 수 있었다(Oliver Heaviside와 함께 전리층을 발견한 Arthur Kennelly는 한동안 수학에 약한 Thomas Edison의 조수로 일하면서 수학적 문제를 해결하였으며 1902년에 Harvard 대학의 교수가 되었다). 1924년 영국의 Appleton과 Barnett은 전파를 전리층에서 반사시킴으로써 이러한 층의 존재를 입증하였다. 그들은 가변 주파수의 전파를 사용하였으며, 반사파가 지상으로 돌아올 때까지 송신주파수를 변화시켰다. 두 신호의 주파수 차이로 시간차를 계산할 수 있었으며, 알려진 전파 속도(약  $3 \times 10^8$  m/sec 또는 186,000 mile/sec)를 이용하여 반사층의 높이를 계산할 수 있었다.

1925년 워싱턴에 있는 Carnegie 연구소의 Breit와 Tuve는 짧은 펄스 형태의 전파에너지를 공중으로 송신하고 반사 신호가 지상으로 되돌아오는 데 소요되는 시간을 측정함으로써 이 방법을 개선하였다. 이 기법에 의해 전리층이 이온화 정도가 계절과 일자에 따라 변하는 여러 개의 층으로 구성되어 있음을 알게 되었다. 이러한 정보는 현재 단파통신에서 최적의 파장을 선정하는데 사용되고 있다.

보다 비밀스러운 레이더 개발은 1922년에 시작되었는데, Anacostia에 있는 미국 해군연구소의 A. Hoyt Taylor와 L. C. Young이 5m 파장의 전파를 송신하면 Anacostia강 근처에 있는 해군 선박의 움직임에 의해 영향을 받는다고 보고하면서부터이다. 또한 그들은 이러한 신호의 변동으로 선박의 움직임을 감지할 수 있음을 시사하였다. 1930년에 이 작업에 복귀한 Taylor박사는 5m 파장의 반사파로 항공기의 움직임

을 탐지하는 장비를 설계하는 데 성공하였다.

1932년 해군장관은 Taylor의 발견을 육군의 대공무기에 응용할 것을 육군장관에게 요청하였다. 이 비밀 작업은 Signal사의 연구소에서 계속되었으며, 1934년 10cm 파장의 0.5W 전원으로 Taylor의 연구결과를 확인하였다. 1934년 7월에 Signal사 연구소의 Blair는 Breit와 Tuve의 연구결과를 검토하고 "목표물을 향해 끊어졌다 이어졌다 하는 단속발진파를 연속적으로 발사하고 단속발진파를 발사하는 사이의 시간 동안에 반사파를 탐지하는 구조"를 제안하였다. 이것이 미국에서의 첫 번째 펄스파 레이더이다.

1936년에 Signal사는 육군의 대공 레이더인 SCR 268에 관한 작업을 시작하여 1937년 5월에 시제품을 육군장관에게 실험하여 보였다. 당시 이 레이더는 3m 파장의 전파를 사용하였으나 후에는 1.5m 파장의 전파를 사용하였다. 해군에서 설계한 선박 탐지용 레이더는 50cm 파장의 전파를 사용하다가 후에 20cm 파장의 전파를 사용하였는데, 파장을 짧게 함으로써 방향탐지 정밀도를 개선하였다.

일찍이 영국 국립물리연구소의 Robert Watson-Watt경은 미국과는 별도로 유사한 연구를 수행하였으며, 1935년에 항공기를 추적하는 데 성공하였다. 전쟁 발발의 위기를 느낀 영국은 12m 파장의 펄스파를 이용한 조기경보 레이더에 대한 연구를 시작하였으며, 첫 결실로 1937년에 Thames강 어귀를 따라 레이더 기지국을 줄지어 설치하였다. 1938년 11월 독일이 Czechoslovakia를 점령했을 때 이 기지국의 레이더와 여타의 레이더가 투입되었으며, 전쟁기간동안 내내 지속적으로 감시하였다. 영국의 육상 레이더는 700여 대의 영국 전투기를 관제하여 영국을 내습하는 2,000여 대의 독일 비행기를 방어하였다. 이렇게 레이더를 사용한 전투기 관제가 독일이 영국과의 전쟁에서 패배하는 데 결정적인 역할을 한 것으로 평가되고 있다.

#### 4. 마이크로파 레이더

좁은 에너지 빔을 얻으려면 레이더의 안테나는 전파의 파장보다 그 크기가 더 커야 한다. 초기 레이더에 사용된 전파의 파장은 매우 길어서 레이더를 항공기에 탑재할 수 없었지만 항공기에 레이더를 탑재할 필요가 절실하였다. 만일 전투기 조종사가 적기가 시야에 들어오기 전에 적기를 탐지할 수 있다면 타이밍과 기동성 면에서의 이점을 가지고 적을 제압할 수 있다. 폭격을 할 때에는 항공기에 탑재된 레이더가 폭격기가 목표물의 위치를 찾도록 도와줄 수 있다.

이를 위해서는 근본적으로 고출력 송신관이 필요하였는데 파장이 10cm 이하의 전파로 100,000W 이상의 펄스 출력을 낼 수 있어야 했다. 이러한 출력이 필요한 이유는 이 정도의 출력이 아니면 멀리 떨어져 있는 목표물로부터 레이더 수신

기로 반사되는 약한 신호를 감지할 수 없었기 때문이다.

이러한 문제에 대한 해답이 1940년 영국에서 발견되었는데, 그것은 새로운 형태의 진공관인 공동자전관(cavity magnetron)이다. 공동자전관에서는 밀집한 전자 구름이 자장 내에서 소용돌이치다가 구리 링 절단면의 구멍을 통과한다. 이 전기적 효과는 병 입구를 가로질러 바람이 불 때의 음향효과와 매우 유사하다. 공동을 가로질러 형성되는 전기 발진은 매우 짧은 파장의 강력한 전파를 발생시킨다. 이 공동자전관은 Birmingham 대학에서 발명되었으며, 1940년 7월에 영국의 General Electric사가 제품을 설계하였다.

Winston Churchill 수상은 기술고문들은 마이크로파 레이더를 제대로 개발하여 광범위한 레이더 방어망을 설치하기에는 인력과 물자가 매우 부족하다는 문제에 직면하였다. 기술고문들은 Churchill에게 그 때까지 전쟁에 참전하지 않고 있던 미국에게 새로운 자전관을 보여주고 이것을 마이크로파 레이더 시스템을 개발하는 데 사용할 것을 요청하라고 제안하였다.

이에 따라 미국인들은 이 문제를 다룰 조직을 구성하였다. 1940년 6월 Vannevar Bush 박사는 대통령에게 국방연구위원회(National Defense Research Committee : NDRC)의 설립 허가를 요청하였다. 그는 NDRC 설립을 허가받으는 다섯 개의 부서를 만들었으며, 그 중 탐지와 관련된 부서를 MIT 대학 총장인 Karl T. Compton이 책임지도록 하였다. 과학에 대한 감각이 있는 자본가인 Alfred Loomis는 마이크로파 위원회(Microwave Committee)를 이끌게 되었다. 1940년 8월에 이 위원회는 공동자전관 샘플을 가지고 있는 영국 대표들을 만났다.

미국인들은 대단한 반응을 보였으며, 마이크로파 레이더를 연구하고 개발하기 위해 MIT 방사연구센터를 새로 설립하고 Rochester 대학의 물리학과 학과장인 Lee Dubridge 박사를 책임자로 임명하였다. 동시에 Bell 연구소에서 영국이 개발한 자전관의 모조품을 만들었으며 생산이 가능하다고 판단하였다.

그 당시 마이크로파 기술은 걸음마 단계였으며, 기본적인 수식을 하드웨어화한 것도 별로 없고 이 분야에 종사하는 공학자도 별로 없었다. 이 분야의 기존 가용 인력들을 MIT 방사연구센터에 합류시켰지만, 실제 연구센터의 주된 인력은 대학에서 연구를 지향하는 물리학자들이었다. 대학 연구소로부터 충원된 사람들은 빠른 시간내에 이론을 가지고 시제 장비를 만드는 능력을 가지고 있었다. 연구센터에 충원된 사람들 중에 I. I. Rabi, E. M. Purcell, L. W. Alvarez 세 사람이 있었는데 이들은 후에 노벨 물리학상을 받았다.

1942년 최대 펄스전력이 2백만 와트인 공동자전관이 개발되었다. 적의 항공기를 추적하고 아군 비행기를 기지로 유도하기 위한 지상 레이더인 SCR 584 모델을 초기에 개발하였

다. 이 레이더는 10cm의 파장을 사용하였는데, Ivan Getting 박사가 이끄는 팀이 설계하였다. 3cm 및 1cm 파장의 전파를 사용하는 보다 소형이고 가벼운 레이더가 폭격기가 지상 목표물의 위치를 찾아내는 데 바로 적용되었으며, 임박한 적의 공격을 초기에 경보하기 위한 지상 레이더가 개발되었다.

## 5. 대응책

레이더 반사파는 매우 약하기 때문에 같은 파장으로 송신된 강력한 신호에 의해 쉽게 제거된다. Jamming이라고 하는 이러한 의도적인 간섭은 다른 형태의 송신도 방해할 수 있다. 적이 레이더를 제대로 사용하지 못하도록 하는 이러한 분야의 연구를 대응책(countermeasure)이라고 하는데 Harvard 대학의 전파연구소에서 F. E. Terman 박사의 책임하에 수행되었다. 이 연구는 여러 형태의 무선신호의 jamming에 대한 취약점을 파악하고 적 송신의 약점을 활용하는 매우 높은 출력의 송신기 설계쪽으로 가닥을 잡았다. 적의 대응책으로부터 자신의 신호를 보호하는 대응책대비(countermeasure) 역시 NDRC에 임무가 주어졌다.

먼저 레이더와 야전통신에서 사용하는 전파의 파장을 신속하게 바꾸는 방법이 대응책으로 채택되었다. 다른 것으로는 chaff로 알려진 수동적인 방어방법이었다. 이 방법은 적의 신호를 방해하기에 적합한 길이의 얇은 금속편을 대량으로 뿌리는 것이다. 이 금속편은 비행기에 의해 뿌려지며 적의 레이더 스크린에 엉뚱한 반사파가 나타나도록 하였다. 오늘날에는 군함에서도 chaff를 사용하여 군함에 접근하는 레이더 유도 미사일을 혼란시키고 있다.

Jamming은 아직도 단파방송 방해에 사용되고 있으며, 적의 역정보와 정치선전에 대항하는 차단막으로 사용되고 있다.

## 6. 결론

전쟁이 끝날 때까지 방사연구소에는 과학자, 공학자 및 지원인력 등 삼천 여명의 매우 유능한 인력이 근무하고 있었다. 개발된 군사기술들은 전쟁중에 철저히 비밀로 취급되었고 종전 후에도 군부에서는 이를 비밀로 하고 싶어했다. 그러나 평화시 산업계에서의 기술 욕구가 대단히 강렬해서 전쟁 수행 중 새로이 개발된 기술들은 종전 후에 산업계로 이전되었다.

현대사회에서 가장 관심의 대상이 되는 기술 중의 하나가 IT이다. 본문에서 기술한 레이더는 무선통신기술의 활용 예이다. 무선통신기술은 현재의 이동통신의 기반이 되었으며, 이동통신이 불가능한 IT는 상상할 수조차 없다. 이러한 IT제품 중에서도 일반인들이 실감하고 있는 것이 휴대전화이다.

2005년 1월 중순에 모 일간신문을 읽다보니 '휴대전화는 IT 종합선물세트'라는 문구가 눈에 띄었다. 이 종합선물세트가 느닷없이 생겨난 것이 아니고 초기 군사과학을 기반으로 하여 발전된 결과물이라는 점을 몇 사람이나 알고 있을까 싶다.

학회로부터 에세이 원고를 청탁받았을 때에는 가벼운 마음으로 이를 수락하였다. 그러나 연말 연시에 장인상을 당해 미국에 다녀오고 대학에서 공과대학 신규교원 4명을 선발하는 학장면접 시행 등 이런저런 일로 시간에 쫓기다보니 원고 마감이 압박하였다. 일단은 가닥을 잡았는데 마감일에 쫓기고 나니 만족할 만한 원고가 되지 못하였다. 회원 여러분의 양해를 구한다.

## 〈 저 자 소 개 〉



### 홍순찬(洪淳瓚)

1973년 서울대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1975년~1978년 해군 사관학교 교수부 전기공학과 전임강사. 1978년~현재 단국대 전기전자컴퓨터공학부 교수.

1986년~1987년 미국 텍사스 A&M 대학교 방문교수. 1997년~2000년 대한전기학회 이사. 2002년 당 학회 회장 역임. 2002년~현재 단국대 공과대학 학장.