

# 人類의 代理者를 찾아서



(하)

공학박사 강영채

과학평론가

## □ 제어 루프의 완성

근접신관과 레이더, 전기기계식 계산장치 등은 새로운 세대의 고사포에 필수적이었다. 그러나 이 개개의 장치들을 합쳐 하나의 가공할 무기로 만들 수 있었던 것은 소위 서보메커니즘(servomechanism) 이론의 급속한 발전 덕분이었다. 서보메커니즘(노예를 뜻하는 라틴어 servus에서 유래)이란 어떤 공정의 일정 단계에서 얻은 정보를 그 사이클의 앞 단계로 피드백시켜 시스템의 각도를 조절하는 장치를 말한다. 고사포 시스템에서는 전위차계와 피드백 증폭기, 모터로 구성된 이 서보메커니즘이 각 루프의 요소소에서 적절한 기능을 발휘했다. 예컨대, 전위차계(파킨슨의 꿈에 나타난 것보다 훨씬 컸다)는 포의 실제 움직임, 즉 축의 회전량을 측정하여 그 값을 전압으로 바꾼 후 이것을 포조준기에서 지시한 값(일정한 양각까지 포신을 올리라는 따위)과 비교하여 모터를 돌리는 데 필요한 제어전압을 보정해 줌으로써 축을 정확하게 회전하도록 해주었다. 매번 보정 때마다 포가 적절한 위치를 잡을 때까지 이 과정이 신속하게 반복되었다.

엔지니어들은 측정, 비교, 보정, 재측정이라는 이 피드백 사이클을 오래전부터 피상적으로는 알고 있었으나 전시연구를 통해 보다 깊은 이해를 갖게 된다. 당시 이 분야에 대해 로봇들은 주어진 명령을 정확히

수행해 내기 위해 데이터의 흐름을 연속적으로 이어주는 피드백 시스템을 이용한다.

피드백 제어 루프의 기본구조는 기계장치(Mechanism)와 그 장치가 활동하는 환경(Environment)으로 구성되어 있다. 간단한 피드백 루프의 실례로 가령 온도조절기를 보자. 온도조절기에서는 내부의 바이메탈이 온도에 따라 상태를 바꿔가며 전열기구의 개폐를 조절한다. 피드백 제어 루프에는 컴퓨터화된 제어기가 세번째 요소로 추가되어 있다. 이 경우에는 제어기가 명령을 발해야 제어 루프가 움직이기 시작한다. 명령은 대개 디지털 형태로 로봇의 기계장치에 보내진다. 기계장치가 관절을 회전시키거나 급속이음매를 용접하는 등의 물리적인 반응을 보이면 피드백 루프 안팎의 환경에 변화가 가해진다. 그러면 감지기가 이 변화를 관찰, 측정해 제어기에 보고한다. 제어기는 표준값과 보고 받은 값의 차이를 계산한 뒤에 다시 기계장치에 수정명령을 보내 제어 루프를 마무리짓는다.

단순한 온도조절기와는 달리 제어기가 피드백 제어에 다양한 반응을 보이도록 프로그래밍할 수도 있다. 예컨대 표준값과 보고받은 값 사이의 사소한 오차는 무시하되, 그 오차가 누적되어 아주 큰 오차가 발생할 경우에만 감독자에게 이 사실을 보고하도록 조정할 수 있다. 가장 활발한 연구가 진행된 곳이 매사추세츠 공대(MIT)였다.

이곳에서는 몇몇 그룹이 대공사격관제 시스템과 관련된 또 다른 면들을 연구하고 있었다. 그중 MIT 복사(輻射)연구소는 특수 제작된 출력용 전위차계를 이용해 벨 연구소의 M-9 포조준기와 연결이 가능한 SCR 584라는 레이더 시스템을 설계했다. 또 이 대학 전기공학과 부설연구기관으로 1940년에 세워진 그릴트한 이름의 서보메커니즘 연구소는 40mm포뿐만 아니라 항공기나 함정용 레이더와 대공화기에도 이용 가능한 원격제어 시스템을 개발하고 있었다.

이 서보메커니즘 연구소의 책임자는 당시로서는 드물게 자유로운 연구 분위기를 강조한 고든 브라운 교수였다. 그는 전시 과학연구를 위해 여러 분야의 연구원들이 한데 모여 그 능력을 발휘하게 된 것을 대단히 의미있게 받아들였다.

그는 이렇게 말했다. “과학과 공학분야의 전문가들이 처음으로 대화를 나누게 되었습니다.

기계공학자들은 통신공학자들에게서 회로이론(Circuit Theory)을 빌려 왔고, 공학자나 실험과학자들과 함께 일하는 수학자들은 잊혀진 이론들에서 전혀 예기치 못한 이용방법을 찾아 내게 되었습니다.”

이같은 활발한 협조체제하에서 결과적으로 뒷날 산업용 로봇을 설계하는 로봇 과학자들이 이용하게 되는 수 많은 기술들이 탄생한다. 또, 수학자들은 모터와 증폭기, 유압전달장치 등을 적절히 배열하는 방법을 개발함으로써 과학자들이 제어 시스템을 실현시킬 수 있는 이론적 기틀을 마련해 주었다. 그 결과를 브라운은 1952년에 한 책에서 이렇게 말했다. “이로써 전해 새로운 개념의 제어 시스템을 만드는 것이 가능해졌습니다.”

## □ 한 천재의 출현

브라운이 지지하는 협동연구방식을 높이 평가한 한 수학자가 있었다. 생물학, 신경생리학, 전기공학은 물론 새로운 분야인 디지털 계산학에 이르기까지 다방면에 걸쳐 연구를 해 온 대천재, MIT의 노버트 위너(Norvert Wiener) 교수였다. 그는 자신의 폭넓은 관심을 종합하여 인간과 기계의 결합이라는 새로운 분야를 개척하고자 한 사람이었다. 거의 반세기가

지난 오늘날, 그의 개념은 로봇 공학의 최전선에서 실시되는 연구에 그대로 반영되고 있다.

위너는 1894년에 미주리주 컬럼비아에서 태어나 뉴잉글랜드에서 성장했다. 하버드 대학의 슬라브어 교수였던 그의 아버지는 자녀들이 어릴적부터 상당한 수준의 지적 성취를 이루기를 바랐다. 세 살에 이미 글을 깨운 소년 위너는 여덟 살에 벌써 심한 근시가 되어 한때 6개월간 독서를 중지하고 아버지가 읽어 주는 것만을 들으며 공부하기도 했다. 위너는 11세에 퍼트츠 대학에 입학해서 18세가 되던 1913년에 하버드에서 수리철학에 관한 논문으로 박사학위를 받는다. 그리고 졸업 후 몇년 동안 다른 사람의 글을 대신 써준다는가 메릴랜드의 육군 예비단 무기시험장에서 인간 컴퓨터로 탄도표계산에 필요한 방정식을 푸는 등 대수롭지 않은 일을 하며 시간을 보냈다. 그러다가 1919년, 위너는 MIT의 수학파로 가게 된다. 위너는 원래 이 일을 별로 탐탁치 않게 여겼는데, 이는 당시 MIT의 수학과가 규모도 작았을 뿐 아니라 분과(分科)도 되지 않은 상태에서 단순히 공학도에게 수학을 가르칠 목적으로 만들어졌기 때문이다. 그러나 그후 40년 동안 위너와 함께 MIT의 수학과는 눈부신 성장을 하게 된다.

1940년, MIT의 공대학장을 역임하고 국가방위연구위원회 새 의장으로 임명된 배너버부시(Vannevar Bush)는 그의 동료들에게 만약 미국이 참전할 경우 과학자들을 가장 효율적으로 동원할 수 있는 방법을 물었다. 위너는 두가지 제안을 했다. 비록 부시가 그의 견해를 받아들이지는 않았으나 그 제안은 그가 공동연구를 지향했음을 보여주는 실례였다. 첫번째 제안은 각기 다른 분야의 과학자들을 모아 작은 그룹을 만들고 힘을 합쳐 문제를 집중공략하자는 것이었다. 그리고 그는 이 모임이 “과학자들이 독창성과 개인의 책임을 최대한 활용할 수 있도록 자발적인 성격의 것이 되어야 한다.”고 주장했다.

## □ 위너의 계속되는 연구

위너는 공동연구를 위해 대단히 진지하고도 헌신적인 노력을 기울였음에도 불구하고 공동연구는 열

등감을 감추려는 그의 경쟁심리 때문에 지장을 받곤 했다. 심한 근시인데 다 뚱뚱했던 그는 다른 사람이 말을 하는 도중 잘 졸기로 유명했다. 1946년에 처음 만날 때부터 위너에게 이같은 불쾌한 대접을 받았던 한 신경의학자는 그의 이러한 행동을 “경쟁자에 대한 습관적 방어행위”라고 주장했다. 얼마 지나 두 사람이 친구가 된 후, 이 신경의학자는 실제로 위너의 뇌파를 측정하고는 이렇게 말했다. “그의 방어 기제인 졸음은, 몇초 동안 진짜 깊은 수면상태에 빠져들었다가도 자신의 이름이 불리거나 흥미를 끄는 주제가 나오면 곧 깨어나는 묘한 것이었습니다.”

위너의 두번째 제안은, 다른 분야에도 필요하지만 특히 정확한 대공사격관제에 필수요소인 미분방정식을 계산할 수 있는 전자식 디지털 계산기 개발에 노력을 집중해야 한다는 내용이었다. 실제로 전쟁이 시작되기 전 몇년 동안 그는 전기회로의 연구에 전념했다. 심지어 기계식 릴레이 대신 전기식 릴레이를 이용해 아날로그 컴퓨터의 처리속도를 높일 수 있는 가능성을 알아보기 위해 중국에 가 있던 친구를 수 소문하여 함께 연구할 정도였다. 그러나 한 컴퓨터 연구자가 말했듯이 “당시 그들은 피드백 원리를 제대로 이해하지 못했기 때문에 좀처럼 성공을 거둘 수가 없었다”고 한다.

부시 자신도 아날로그 계산기에 대해서는 지속적인 관심을 갖고 있었다. 1930년, 그는 최초로 복잡한 미분방정식을 풀 수 있는 기계식 아날로그 컴퓨터인 미분해석기를 완성하고, 그중 한 대를 애버딘 무기 시험장에서 탄도표를 계산하는 데 활용했다. 그러나 디지털 기계에 관한 한 당시 제작기술이 신통찮아 전쟁에 활용하기 힘들다고 판단한 부시는 위너에게 한동안 그 계획을 접어두라고 지시하였다.

위너는 오랫동안 중요하게 여겨오던 자신의 전시 프로젝트가 거부당하자 크게 실망했으나, 곧 동료들이 연구하던 고사포 제어 시스템 개선계획에 참여하게 된다. 그러나 다른 연구원들이 포 조준기의 명령을 번역하여 자동으로 실행해 주는 보다 진보된 서보 시스템을 개발하는 동안, 위너는 그보다도 조준기가 보다 효율적인 명령을 도출해 내는 방법을 개선하는 문제에 매료돼 버렸다. 이 과제야말로 위너에게는

안성맞춤이었다. 그는 이 문제를 풀기 위해 수학과 공학뿐 아니라 심지어 인체생리학에 이르기까지 자기가 관심을 가졌던 모든 지식을 동원했다. 결국 연구는 전혀 예상치 못한 방향으로 전개되어 나갔다.

위너는 그때의 상황을 이렇게 기록했다. “일종의 사정거리표 역할을 하는 기계장치를 고사포 제어 시스템 내부에 설치해야 했습니다. 그렇게 해야 자동으로 항공기의 진로를 잡아, 그 앞쪽으로 포를 쏘아 항공기를 명중시킬 수 있었거든요. 사실 이것은 단순한 기하학상의 문제였지만 이 기술을 보다 확실하게 개발하기 위해서는 먼저 항공기 진로 측정법이 개선되어야 했습니다” 물론 ‘확실한 기술개발’을 위해서는 조종사가 취하는 돌발적인 행위도 고려해야 했다.

위너는 의욕적으로 일을 시작했으나 곧 암초에 걸리고 말았다. 그는 다시 이렇게 기록하고 있다. “언뜻 보기에 예상항로를 쉽게 제시해줄 것 같던 수학적 처리과정이 사실상 실행 불가능한 것으로 드러났습니다. 왜냐하면 수학적 처리는 예상항로에 대한 기존의 정보를 전제로 해야 했기 때문입니다.” 그러나 얼마 후, 그는 다시 예상항로 측정이 훨씬 용이한 통계학적 방법을 찾아내게 되었다. 또 이때 즈음에는 그의 발상의 타당성이 인정되어 NDRC에 의해 채택됨으로써 IBM 출신의 젊은 공학자인 줄리언 비글로(Julian Bigelow)라는 조수까지 얻게 된다.

## □ 상호 보완적인 재능의 결합

마침내 풍성한 수학이 기대되는 기나긴 공동연구가 시작되었다. 위너는 그의 조수 비글로를 이렇게 평했다. “그는 매우 과묵한 성격의 전형적인 뉴잉글랜드인이었습니다. 그에게 과학자로서 결합이 있다면 그것은 단지 과도한 과학적 정열을 가졌다는 점뿐이었습니다. 완벽주의자인 그는 스스로의 연구에 만족해본 적이 없었거든요.” 또 위너에 의하면, 비글로는 보통 운전자라면 벌써 고물상에 갖다 버렸을 고물차를 수집하는 취미가 있었으며, 그런 차를 수리하는 데는 전문가나 다름없었다. 따라서 기계를 만지는 비글로의 재주와 위너의 수학적 재능이 참으로 이

상적으로 결합된 셈이었다.

수개월 동안 위너와 비글로는 고사포 제어 시스템 속에 고사포 사수와 항공기 조종사의 심리변화 요인을 반영시키는 문제로 씨름했다. 처음 연구를 시작할 당시는 아직 레이더가 온전치 못한 때였으나 곧 항공기 추적장치가 자동화됨으로써 전체 고사포 제어 시스템에서 사수의 반응은 고려할 필요가 없어졌다. 그러나 비행사의 불규칙한 반응에 의한 효과를 제거할 도리는 없었다. 따라서 발사과정에서 일어날 수 있는 모든 문제에 대한 수학적 통계를 기초로 해 포조준기를 만들려던 위너와 비글로는 먼저 사수와 조종사의 행동과 심리를 모사하는 기계장치를 제작하기로 했다.

이를 위해 그들은 두 가지 실험장치를 만들었다. 그 중 위너가 전에 알아냈던 통계학에 기초한 방정식에 의해 제어되는 한 장치는 마치 파리의 그림자처럼 천장에서 춤을 추는 한 줄기 광선을 만들어 포화속에서 불규칙하게 움직이는 항공기를 모사했다. 그리고 사수를 모사한 두번째 장치는 사람이 직접 거울의 손잡이를 돌림으로써 또다른 광원에서 오는 빛을 반사시켜 항공기를 모사한 광선을 추적하게 되어 있었다. 위너와 비글로는 두번째 장치를 고의적으로 복잡하고 다루기 어렵게 만들었다. 그럼으로써 그 장치를 움직이는 사람으로부터 각기 다른 반응을 얻어낼 수 있었기 때문이다. 결국 두 과학자는 이 장치를 이용해 기계의 일반적 성질뿐 아니라 사람들의 평균 능력까지도 분석할 수 있었다.

두 사람이 발견한 것은 사람들이 자신의 행위가 잘못됐다는 것을 깨달은 후에야 그 행위를 수정한다는 사실이었다. 예컨대, 손잡이를 너무 오른쪽으로 돌려 놓고는 그것이 지나쳤다는 사실을 깨닫고 나서야 그 영향을 줄이려 시도한다. 이러한 제어방식(네거티브 피드백)은 이미 전기회로와 다양한 자동 제어 시스템에 적용되고 있었다. 위너와 비글로는 인간의 네거티브 피드백을 보다 정확히 이해하려는 방책으로 마침내 인체생리학 이론을 도입했다. 인체 조직이나 기관의 병리현상을 연구함으로써 그 정상 상태를 알게 된다는 이론이었다. 서보메커니즘의 경우에는 예컨대 헌팅(Hunting)이라는 이상현상이 발

생해서 피드백 제어 시스템의 장애를 초래하곤 했다. 과도한 피드백으로 기계가 계속해서 제 위치를 벗어나 앞뒤로 거칠게 흔들리면서 설정된 값을 수렴하지 못하는 현상이었다. 이에 대해 위너는 이렇게 말했다. “만약 그러한 사실이 확인된다면 우리는 인간의 행동도 피드백 장치의 한 부분으로 간주해 제어계통 안에서 통제할 수 있게 될 것이다.”

두 사람은 위너의 오랜 멕시코인 친구로서 하버드의 대의 교수인 아르투로 로젠블루에트 박사에게 조언을 구했다. 로젠블루에트는 곧 인간에게도 유사한 행위를 유발하는 병리현상이 있음을 확인해 주었다. 그것은 수의성진전(隨意性震顫)이라는 현상으로, 뇌의 손상이나 이상과 관련된 증세였다. 로젠블루에트의 답은 인체기관도 서보메커니즘과 마찬가지로 네거티브 피드백에 의해 움직인다는 가설을 입증해 주는 것이었다. 작은 발견이었지만 지대한 영향력을 가진 중요한 발견이었다.

## □ 상식의 한계를 뛰어넘어

위너와 비글로는 곧 그들의 발견내용을 발표했고, 그 결과 보다 많은 연구원들이 이 연구에 투입되었다. 위너는 무엇보다도 자신의 궁극적인 관심사로 되돌아온 사실이 기뻐다. 즉, 서보메커니즘이나 공학에서만 다루어지던 피드백 개념을 인체생리학에 적용하고, 반대로 ‘정보’나 ‘메시지’ 등 인체생리학 개념을 공학이나 계산장치에 이용하는 것이었다.

1948년, 위너는 인간의 행동과 기계의 동작에 관한 그의 피드백 이론을 핵심으로 하는 기념비적인 책을 펴냈다. 그는 도서명을 「사이버네틱스」(Cybernetics; 키잡이라는 뜻의 희랍어에서 따옴)라 붙임으로써 과학의 새로운 한 영역을 열어 놓았다. 그는 자신의 책에 대해 이렇게 말했다. “이것은 막연하게 사고과정으로 기술되는 인간의 상황판단 영역과 제어와 통신으로 알려진 공학의 영역을 하나의 이름 아래 결합시킨 것입니다”. 놀랍게도 「사이버네틱스(인공두뇌학)」는 베스트셀러 과학서적이 되었다. 이 책은 컴퓨터 입문서가 되었으며, ‘지능기계’(언젠가는 인간처럼 지식을 습득하고 의식소통을 할 수 있는

능력을 가지게 될 기계)에 대한 관심을 크게 증대시켜 주었다. 또 이 책의 발간은 인간과 기계의 관계를 다방면으로 연구해 보려는 새로운 세대의 과학자들을 탄생시키는 계기가 되었다.

1960년대 중반이 되자 이 새로운 세대의 과학자들은 이른바 기계지능 또는 인공지능(AI: Artificial Intelligence)이라 불리는 분야의 전문연구소를 설립하게 된다. 이 분야의 연구원들은 미국 도처에서 논리, 추론, 학습 등과 같은 인간의 지능을 모사하는 문제에 도전하여 온갖 성공과 실패를 경험하게 된다. 그중 톱다운(Top-Down) 방식에서는 서양 장기놀이 프로그램으로 연구가 시작되더니 곧이어 인간의 언어를 번역하는 프로그램에 노력이 집중되었다. 또 얼마 후에는 이른바 전문가 시스템(Expertsystem), 즉 전문가로부터 얻은 지식과 논리체계를 프로그램 속에 결합시켜 넣는 시스템의 개발로 연구가 발전되었다. 그리고 오늘날에는 로봇 과학자들이 우주정거장 로봇과 자율해저차량에 이 전문가 시스템을 도입하려 하고 있다.

한편, 초기 AI 연구에는 소위 보텀업(Bottom-Up)이라는 또다른 접근방식이 있었다. 이 분야의 과학자들은 신경조직과 유사한 전자회로를 구성하여 시각과 언어를 모방함으로써 이 문제를 공략해 들어가자 했다. 1958년, 코넬 항공연구소의 심리학자 프랭크 로젠블랫은 IBM 704 컴퓨터로 퍼셉트론(Perceptron)이라 명명한 일종의 전자두뇌를 고안해 냈다. 그리고는 자신이 일년 안에 물체를 시각적으로 인지할 수 있는 장치의 시제품을 만들어낼 것이라고 장담했다. 한술 더 떠 로젠블랫은 이 퍼셉트론이 결국에 가서는 읽고 듣는 능력을 갖추어 언어를 번역하고 통역하는 일까지도 하게 될 것이라고 떠벌였다. 그러나 1960년 6월, 마침내의 최초의 모델이 공개되었을 때, 처음 약속은 온데간데없이 사라져 버리고 다만 여러 줄로 배열된 광전지들과 그 사이를 연결하는 너저분한 배선 다발만이 보일 뿐이었다.

## □ 끝없는 지평선을 향하여

과대 포장된 퍼셉트론 사건 후에도 보텀업 방식

연구는 계속되었고, 오늘날 많은 과학자들은 이 방식이야말로 진정한 기계지능을 실현시켜 줄 최선의 방법이라고 굳게 믿고 있다. 특히 전자기기의 소형화 추세는 이들 보텀업 방식 연구원들뿐만 아니라 톱다운 방식 연구원들에게 까지도 그들의 꿈을 성취할 수 있으리라는 희망을 불어넣어 주고 있다. 실제로 소형화기술의 발달로 오늘날에는 컴퓨터를 유도탄이나 우주탐사선, 무인 트럭 등에 직접 탑재할 수 있게 되었다. 그런 감각과 사고력을 지닌 로봇을 만드는 기술은 아직까지도 잘 봐주어야 점음마단계에 머물러 있다. 예를 들어 로봇 비전(Vision) 시스템은 환경이 철저히 통제된 공장내에서도 정해진 선까지 병이 채워졌느냐를 확인하는 정도의 단순검사를 하고 있을 뿐이다. 즉, 기계로 하여금 효과적으로 물체를 감지하도록 해주는(환경의 통제가 다소 완화된 조건하에서도 물체를 인식하고 식별할 수 있는) 프로그램은 손에 잡힐 듯하면서도 잡히지 않은 채 연구원들의 애만 태우고 있다.

아무튼, 이러한 기술의 연구개발작업이 쇠퇴할 가능성은 전혀 없다. 비록 엄청난 기술개발비가 들고 대단히 복잡한 프로그래밍 작업을 필요로 하겠지만 시각이나 촉각과 같은 감각능력은 결국 로봇의 피드백 제어 루프 기능과 더불어 아주 중요한 역할을 맡게 될 것이다. 그러나 노버트 위너는 이처럼 고도의 능력을 지닌 기계의 유용성과 앞으로 일어날지도 모를 이 기계의 남용사태에 대해 결코 낙관적이지 않다. 그는 자동화라는 제2의 산업혁명이 조심스레 통제되어야 한다고 강조하면서, 만약 그렇게 되지 않을 경우 “적어도 단순하고 일상적인 결정을 내리는 데 있어 인간의 두뇌가 재평가될 우려가 있다”고 경고한다. 하지만 위너는 지금까지 사람들이 해오던 노동의 상당 부분(부품을 다른 곳으로 옮기거나 조립하는 일 따위)은 기계에 훨씬 잘 어울리는 일이라고 주장한다. 실제로 오늘날 세계 각처의 공장에서는 위너와 그 밖의 다른 사람들이 2차 세계대전중에 연구한 바 있는 피드백 제어 원리를 이용한 로봇들이 잡다한 일거리들로부터 인간을 해방시켜 주고 있다. 마침내 인류는 지난 수세기 동안 기다려 온 대리자를 찾아낸 것이다.