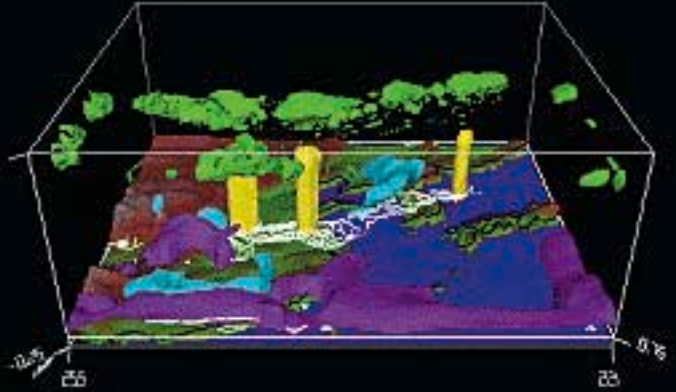


첨단과학기술의 총합체, 기상예보



글_ 신경섭 기상청 예보국장 ksshin@kma.go.kr

인류는 35년 전, 1969년에 인간을 달에 보냈다. 당시 과학을 통한 인간의 능력에 경외감을 느끼며, 앞으로 전개될 과학기술의 세계를 흥분 속에 그려보았던 기억이 생생하다. 올해는 최첨단 탐사장비를 화성에 보내 과거 생명체의 존재를 조심스럽게 분석하고 있다. 실로 과학의 엄청난 개가가 아닐 수 없다. 이런 외형적 성취 속에서도 아직 인류가 해결해야 할, 어쩌면 영원히 해결이 불가능한 과학의 문제는 더 많다.

지구의 문제로 눈을 돌리자. ‘언제 어디에 지진이 일어날 것인가?’를 예측하는 문제는 많은 노력에도 불구하고 아직 희망 사항일 뿐이다. 슈퍼컴퓨터를 통해 내일 닥쳐올 기상을 미리 정확히 시뮬레이션하는 문제도 기대치에 좌우되는 상대적인 문제다. 태풍의 정확한 진로예보는 오차의 허용 기대치가 얼마인가의 문제이고, 집중호우시 지역별로 강수량을 예측하는 문제도 마찬가지다. 실로 기상예보는 첨단탐사장비를 화성에 보내는 것보다 더 어려운 일이라 할 수 있다.

올해는 1904년 일본에 의해 이 땅에 근대기상업무가 시작된 지 100년이 되는 해이다. 그 동안 과학기술로서 발전해 온 기상예보의 문제를 정리하며, 우리나라에서의 발전 과정도 함께 알아본다.

통신이 기상예보의 계기를 제공

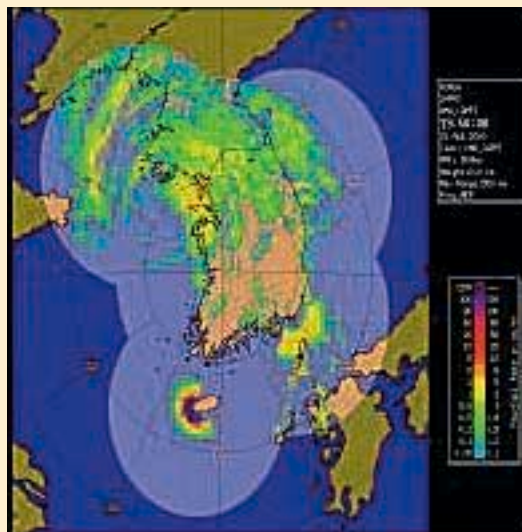
인류가 지구상에서 활동을 시작한 이후 아마도 내일의 날씨

는 초미의 관심사였을 것이다. 내일의 날씨를 예측하기 위하여 경험, 주술 등 가능한 방법이 총 동원되었을 것이다. 하지만 과학적인 방법에 의한 공식적인 기상예보는 1850년에 시작되었으니, 왜 절대적인 필요에도 불구하고 19세기 중엽까지 기상예보가 미루어지게 되었는지 생각해 볼 필요가 있다. 필자는 학문으로서의 기상학과 기술로서의 기상예보를 구분하고자 한다.

특히 기상예보는 기상학의 발전과 같은 배를 타면서도, 타 과학기술분야에서의 돌파구 마련에 힘입어 발전해온 종합 학문이라는 점을 강조하고자 한다.

1643년 이탈리아의 토리첼리가 기압의 개념을 실험으로 증명한 사건은 기상학(meteorology)이 과학으로 자리매김하게 된 계기로 평가되고 있다. 이는 자연현상인 기압의 변화를 수학으로 표현되는 전기가 마련되었다는 의미에서다. 거의 비슷한 시기에 온도계, 풍향·풍속계 등이 고안되어 대기에 대한 정량적 관측이 시작되고 자료가 축적되기 시작했다.

기압계 발명을 계기로 기압관측을 통해 고기압, 저기압의 개념이 생기고, 이에 따른 날씨변화를 감지하게 되면서 기상예보의 가능성이 많은 학자들에 의해 제시되었다. 즉 기압 관측치를 실시간으로 동시에 상호 교환할 수 있다면, 고기압과 저기압의 이동을 분석하여 기상예보가 가능할 것이라는 제안이었다.



고층관측(좌), 레이더 관측(우)

하지만 당시로서는 통신 수단이 없었기 때문에 실시간 자료 교환은 희망사항일 뿐이었다. 실시간 통신은 1845년 미국의 벨(Bell)이 전신기를 발명하면서부터 가능해졌고, 그 동안 꿈에 그리던 기상예보를 시험하게 되었다. 유럽의 국가들이 모여 실시간 자료교환을 위한 표준을 정하고 자료교환이 시작되면서 1850년 영국 왕립기상대의 출범을 계기로 1851년에는 많은 국가가 경쟁적으로 기상대를 조직하고 공식적인 기상예보를 시작하였다. 실로 통신의 개막이 기상예보의 꿈을 실현시키는 계기가 되었고, 기상예보의 역사는 이제 150년이 조금 넘는 시기에 와 있다.

1930년대까지 기상관측은 지상에 한정되었다. 예측을 위한 단서가 고층의 대기상태에 있음을 이론적으로 인지하였으나, 당시로서는 고층의 기상상태를 정기적으로 관측할 방법이 없었다. 1932년 풍선에 관측센서와 송신기를 싣고 고층으로 올라가며 대기상태를 관측하고 이를 지상으로 라디오주파수로 송신하는 라디오존데(radiosonde)가 러시아 과학자에 의해 처음 고안된 뒤 30년대 후반부터 일반화되기 시작하였다.

컴퓨터의 출현—수치예보의 시작

기상레이더의 실용화는 전쟁중인 1942년에 시작되었다. 2차 대전 중 비행기의 움직임을 감시하던 군사목적의 레이더 운영 경험으로, 더 짧은 주파수를 사용하면 빔방울의 움직임을 감시

할 수 있는 기상레이더의 출현이 예고되었다. 1942년 최초의 기상레이더가 출현되어 강수지역의 관측은 물론, 강수과정의 발달과정, 강수를 내리는 기상현상의 구조 등이 밝혀지면서 기상학 및 기상예보의 도약을 이끄는 계기가 되었다.

또 하나 기상예보의 커다란 도약을 이끈 관측 혁명이 인공위성의 출현으로 이루어졌다. 1957년 소련의 최초 인공위성 스푸트닉(Sputnik) 1호의 궤도 진입 성공에 자극받은 미국은 1958년 익스플로러(Explorer) 1호를 궤도에 성공적으로 발사하였다. 연이어 1960년 최초의 기상관측전용 위성인 타이로스(TIROS) 1호를 성공적으로 궤도에 진입시키면서, 우주에서 지구를 관측하는 신기원을 열었다.

1904년 스웨덴의 기상학자 비야크네스(Bjerknes)는 유체역학의 법칙을 기상역학에 응용하여, 7개의 비선형 미분방정식을 제시하고 계산에 의한 예보 가능성을 이론으로 제안하였다. 하지만 당시로는 계산 방법이 없어 일기도에서 그래픽 분석에 의해 방정식의 해를 구하는 방법으로 적용되었고, 이 방법은 1950년대까지 많은 학자에 의해 응용 발전되었다.

1945년 폰 노이만이 세계 최초로 에니악이란 컴퓨터를 만들었다. 진공관을 이용한 컴퓨터지만 PC 초기단계에도 미치지 못하는 수준이었으나, 당시로는 획기적인 계산수단이었다. 폰 노이만은 이 컴퓨터의 활용도를 높이기 위하여 당대의 유명한 기상학자들과 함께 기상예보에 응용하는 연구를 시작하

였다. 가장 간단한 방정식을 이용하여 대기 중층의 기압패턴 변화를 계산하는데 성공한 것이 1950년으로 이 해를 수치예보의 원년으로 꼽는다. 수치예보의 역사는 이제 50년이 조금 넘는 나이이다.

이후 미국, 스웨덴, 일본 등 많은 나라가 수치예보의 가능성에 투자하였고, 1960년대 후반에는 실용적인 단계에 이르렀다. 1980년대 초반 당시로서는 슈퍼컴퓨터인 Cray-1이 출현하면서 수치예보는 속달된 예보관의 수준을 넘는 단계에 이르렀다.

기상예보는 기상학에 기초하여 꾸준히 발전되어 왔다. 때로는 잠재력을 축적하며 기다리다 레이더, 위성, 컴퓨터 등 과학기술분야에서 돌파구가 마련되면 비약적인 도약을 하였다. 1960년대까지 경험적 수준의 기상예보는 60년대 70년대의 컴퓨터의 발달로 정량적이고 객관적인 수치예보로 전환했다. 이후 현재까지 수치예보는 확고한 기상예보의 방향으로 정착하였고, 향후 확실한 대안으로 자리매김하기에 이르렀다.

완벽한 기상현상 재현은 아직 불가능

수치예보의 계산은 초기치의 문제이다. 앞으로 전개될 기상현상은 현재의 기상상태에서 수치적분으로 계산된다. 따라서 초기치에 오차가 포함되면 이 오차는 적분과정에서 계속 증폭되어 현실과 상이한 예측을 생산한다. 결국 수치예보의 핵심은 초기 기상상태가 얼마나 정확히 세팅되었는가가 관건 중의 하나이다.

수치적분의 초기값을 결정하기 위하여 통상 모델이 전 시간에 계산한 현재시간의 초기추정치에 실제로 관측된 자료로 보정하여 결정한다. 관측은 세계기상기구가 정한 표준에 따라 전 세계가 동시에 관측하고 자료를 상호 공유한다. 하지만 관측에는 아직도 많은 공백이 있다. 특히 해상에서의 관측은 제한되어 있고, 고층관측 또한 많은 공백이 존재한다. 또 작은 규모의 기상현상을 정확히 관측하는데 문제가 있다.

이러한 관측의 한계를 보완하고자 많은 보완 및 노력이 시도되고 있으나, 본질적인 자료 부족을 메우기에는 아직 역부족이다. 정확한 초기치의 설정은 당분간 요원한 문제로 남을 것이다.

이상적으로 초기값이 완벽하게 세팅되었다고 가정하자. 다

음 문제는 수치예보모델이 앞으로 일어날 기상현상을 정확히 재현해 낼 수 있을까 하는 문제다. 수치예보의 계산은 정해진 격자점에서만 계산된다. 따라서 격자점의 간격이 얼마인가에 따라 결과가 다르게 계산된다. 또 복잡한 대기의 상호작용 과정을 아직도 정확히 이해하지 못하고 있다. 더 나아가 대기를 지배하는 방정식은 비선형 방정식계로 필연적으로 혼돈(chaos)의 문제가 수반된다. 즉 조그만 초기값의 차이가 서로 다른 예측을 낳게 한다.

인간이 보이지 않는 기상현상의 과정을 정확히 이해하고, 이 과정을 컴퓨터 프로그램에 의해 정확히 재현하는 것은 영원히 한계로 남아있을 것이다. 현재 수준의 수치예보모델은 현상을 비슷하게 예측하는 수준이고, 기술력의 차이는 누가 좀 더 근사하게 계산하는가의 문제이다.

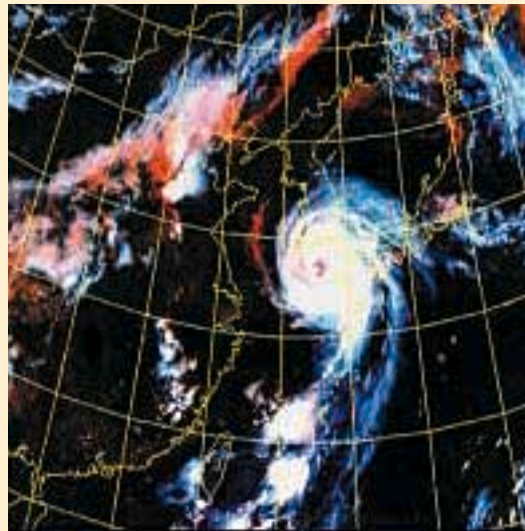
슈퍼컴퓨터는 계산을 빨리하기 때문에 붙은 이름이지, 자체가 슈퍼가 아니다. 수치예보모델의 막대한 계산을 정해진 시간 내에 끝내도록 해 주는 도구일 뿐이다. 정해진 예보 발표시간 전에 결과가 나와야 예보로서 반영되기 때문이다. 통상 수치예보모델의 격자점을 50km에서 절반인 25km로 줄이면 계산은 정확해지지만 시간은 16배가 더 소요된다. 이 경우 정해진 예보 발표 시간에 계산이 끝나지 않아 예보로서 반영될 수 없다. 모든 나라의 수치예보모델 계산에 소요되는 시간은 그들이 보유한 슈퍼컴퓨터의 계산 능력을 감안하여 정확도를 타협하며 운영되고 있다는 점을 이해해야 한다.

과학기술이 기상예보 발전 이끌어

우리 나라는 1441년 측우기를 발명하여 강수라는 자연현상을 세계 최초로 수치적으로 기록할 수 있는 과학적 기반을 마련하였다. 하지만 다른 관측기기의 발전과 이어지지 못하여 관측의 단계에 머물고 마는 아쉬움이 남는다.

우리 나라에서 근대적인 기상업무의 시작은 1904년 부산, 목포, 인천, 용암포, 원산 등 5곳에 관측업무가 시작되면서부터다. 비록 일제가 대륙침략의 수단으로 시작된 것이 아쉽지만 근대적인 관측의 시작으로 그 기록이 현재까지 남아있다. 1908년부터 기상예보업무가 시작되었으며, 1939년부터 라디오존데에 의한 고층기상관측이 시작되었다.

해방 후 1945년 9월 미 군정청 문교부 산하 중앙관상대로 재



슈퍼컴(좌), 위성관측(우)

편하여, 1963년 고층관측을 다시 시작하였고, 1968년 관악산에 레이더를 설치하며 레이더 관측을 시작했으며, 1980년 기상위성자료를 수신하기 시작하였다.

1980년에는 통계목적으로 기상청에 최초의 컴퓨터 PDP가 도입되었고, 1985년에는 통신용컴퓨터 TANDEM이 도입 운영되었으며, 1988년에는 중형컴퓨터인 Cyber 932가 도입되어 KAIST 시스템공학센터의 슈퍼컴퓨터 Cray-2S와 연결하여 예보자동화 및 수치예보업무 개발과 운영기반이 조성되었다.

1990년에는 기상청으로 승격되며 수치예보과가 신설되어 공식적인 수치예보업무가 시작되었다. 선진국에 비해 30~40년 늦게 수치예보를 시작하였으나, 이후 빠르게 발전하여 1999년에는 기상전용 슈퍼컴퓨터(NEC SX-5)가 도입되고 세계적으로 전지구예보모델을 자체적으로 운영하는 15개국 중 하나로 당당히 자리매김하게 되었다.

한 국가의 기상예보 수준은 그 국가의 국력에 비례한다. 우리나라의 경우도 60년대 70년대 개발 단계에서 잠재력만 키우다 1988년 올림픽을 계기로 90년대 국력 신장과 함께 기상예보의 획기적인 발전을 이룬 것으로 평가된다. 특히 최근 IT 강국으로의 우리나라가 기상예보 선진국으로 전환하는데 크게 기여한 것으로 평가된다.

기상예보는 단순한 기상학의 문제가 아닌, 첨단 관측 및 통

신장비 그리고 슈퍼컴퓨터를 기반으로 하는 과학기술의 문제다. 기상예보가 발전하는 과정에서 기상학 자체보다 첨단 기술들이 발전의 돌파구를 열어 주었다는 점을 강조하고자 한다. 기상예보의 핵심인 수치예보 기술도 최근 컴퓨터의 계산속도 향상과 맥을 같이하며 발전해 왔으며, 앞으로도 새로운 돌파구가 마련되는 대로 더욱 큰 도약을 할 것이다.

태풍, 집중호우, 폭설 등 악기상으로 큰 피해가 있었을 때 강수량 등 재해와 직접 관련된 예보의 양적인 문제가 크게 대두된다. 하지만 예보의 문제에는 한계가 있다는 점을 이해하여야 한다. 정확하다는 정도는 국민의 기대치가 어느 수준인가의 상대적인 문제이지 결코 절대적인 문제로 평가할 수 없다는 점을 말하고자 한다. 기상청의 예보도 최근 선진국형 체계로 전환하여 많은 발전이 이루어졌다. 아직 선진국과 차이가 있는 것은 사실이지만 차이를 좁히기 위해 노력하고 있으며 또 좁혀지고 있다고 자신한다. 무작정 우리의 예보 수준이 외국에 비해 떨어진다는 생각에서, 우리의 기대치가 외국에 비해 너무 높지나 않은가 다시 생각해 보는 기회가 되었으면 한다. ㉮



글쓴이는 서울대 기상학과를 졸업, 미국 Texas A&M University에서 이학박사 학위를 받은 후 기상청 수치예보과장, 기상청 기후국장 등을 거쳤다.