

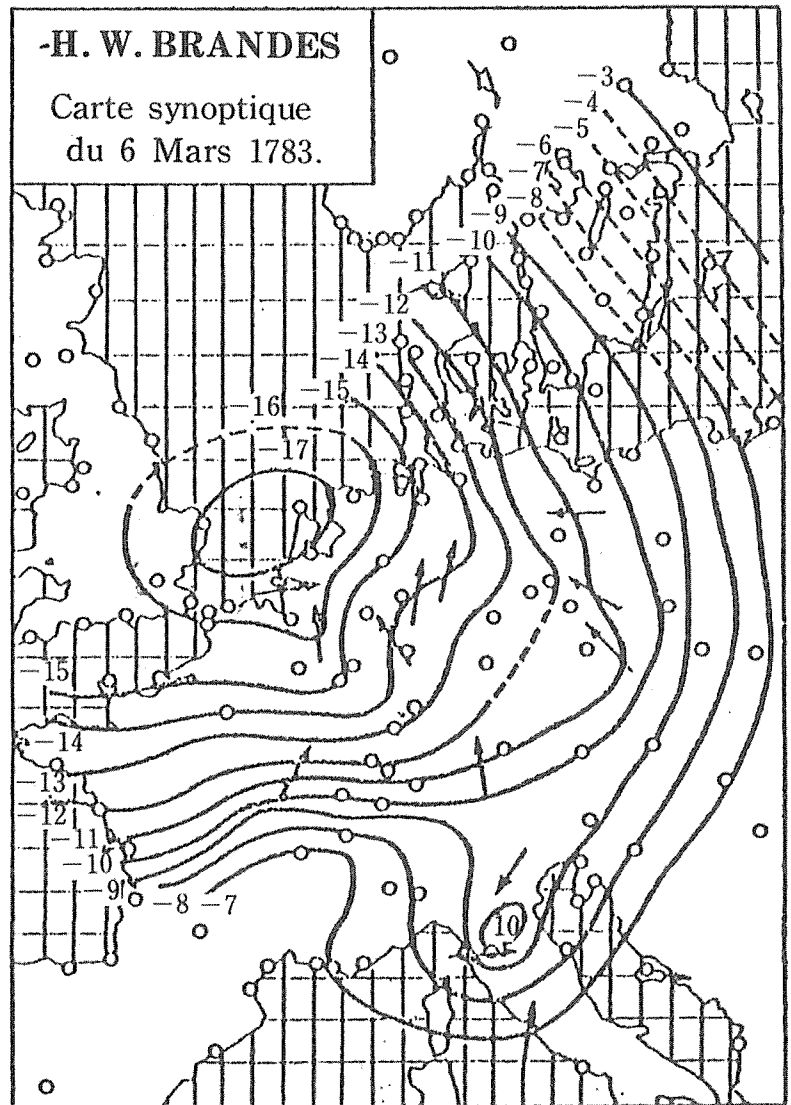
# 수치예보로 정확도 향상

## ■ 한 지점 관측시대

인간은 대기 속에서 살고 있기 때문에 날씨에 대한 예측을 필요로 하게 된다. 따라서 기상학의 주요 부분인 일기예측은 근대과학이 생기기 이전부터 행해졌다.

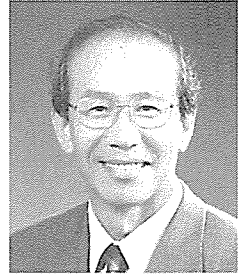
그리스의 Aristoteles(BC. 384~322년)는 이미 세계 최초의 기상학 전문서적에 해당되는 그의 저서 『Meteorologica』에서 하늘의 징조를 보고 내일의 일기를 예측하는 관천망기(觀天望氣)에 의한 일기예측을 제시했는데, 그의 제자인 Theophrastus(BC. 373~286년)는 많은 일기예측 속담을 그의 저서 중에 수록했다. 동서양을 막론하고 이처럼 옛부터 일기예측에 속담 형식을 이용해 왔다. 이러한 일기속담 중에는 오늘날의 일기예측 기술로 보아도 충분히 생활의 지혜로써 이용 가능한 것들이 많다.

이런 속담을 지식으로 가진 사람들은 모두 자신이 살고 있는 한 장소에서 경험한 것으로 자기가 위치한 장소에서 쳐다보이는 대기 공간만을 보고 내린 판단들이었다. 15~17세기까지만 해도 이와 같이 인간의 육감에 의해서만 날씨를 느끼고 예측할 수 밖에 없



<그림 1> Brandes의 세계 최초의 일기도(1783. 3. 5자)(실선 및 점선: 평균 기압값과의 등편차선, 화살표: 풍향)

기상관측에 의한 일기예보가 수치예보로 발전하면서 정확도가 획기적으로 향상되고 있다. 인류가 기원전부터 실시해온 일기예보는 하늘의 징조를 보고 예측하는 한 지점 관측시대, 여러 지역의 관측을 수집하여 예측하는 지상 일기도시대, 대지의 상공까지 관측하는 입체 분석시대를 거쳐 오늘날의 수치 예보시대로 발전한 것이다. 수치예보를 실행하기 위해서는 방대한 조직과 예산, 인력이 필요하며 한나라의 힘만으로는 불가능하여 국가간의 협력이 이루어져야 한다.



洪性吉  
(전 한국기상학회장)

었다. 일기속담에 의한 일기예측과 그 이용은 기상관측기(氣象觀測器)에 의한 일점(一點) 관측으로 이어졌다. 즉, 우리나라 조선 세종 때의 측우기 발명(1441년)을 시작으로 하여, 이탈리아 갈릴레이(Galileo Galilei, 1564~1642년)의 공기 온도계 발명(1592년경), 토리첼리(Evangelista Torricelli, 1608~1642년)의 수은 기압계 발명(1642년)이 포함된다.

거의 같은 시기(1660년)에 독일의 게릭케(Otto von Guericke, 1602~1686년)는 기압이 높아지면 날씨가 맑아지고, 반대로 기압이 낮아지면 날씨가 악화되어 폭풍이 닥친다는 사실을 발견하게 되었다. 그 후 기압계를 청우계(晴雨計)라고도 부르게 되었다. 게릭케는 1650년 '마그테부르크(Magdeburg)의 반구(半球)실험'을 시행한 것으로도 유명하다. 이러한 기상관측 기기들의 발명으로 대기상황을 객관화하여 과학으로 다룰 수 있게 된 것이 17세기부터라 할 수 있다.

### ■ 지상 일기도시대

기상관측 기기들의 보급에 따라 기

상관측 자료의 수가 급격하게 늘어났다. 마침내 19세기 전반기인 1820년 독일의 브란데스(Heinrich W. Brandes, 1777~1834년)가 유럽 각 지역의 1783년의 기상관측 값을 우편 형식으로 수집하여 지도에 기입해 넣고 등기압 변화선(等氣壓變化線)을 처음으로 그릴 수 있었는데 이것이 일기도 제작의 효시였다(그림 1). 이 그림으로 보면 당시에 영국으로부터 저기압이 빠른 속도로 동진 중에 있었던 것을 알 수 있다. 그 때는 기압측정에 기압의 보정 절차에 대한 국제적인 약속이 없었으므로 각 지점에서 측정된 기압값의 시간변화만 알 수 있었을 뿐이다.

1833년에는 독일에서 전신기가 발명되었다. 이 전신기의 발명은 기상학을 크게 발전시키는 계기가 되었다. 즉 세계 각지에서 같은 시간에 관측된 기상자료들을 신속하게 배포·수집할 수 있었기 때문에 일기예측 분야에 끼친 영향은 획기적인 것이었다. 1849년에 미국 스미소니언연구소(Smithsonian Institution)의 Henry에 의해 소규모 전신 방법에 의한 일기도가 작성되었다. 그러나 본격적으로 일기도가 실용

화된 이야기는 다소 극적이었다.

영국과 프랑스 연합군이 흑해(Black Sea)에서 러시아를 상대로 전쟁을 하고 있었던 1854년 11월 14일 심한 폭풍우의 내습으로 흑해의 크림반도에 머물던 영불 연합군측의 많은 군함이 큰 타격을 받았다. 그 중 특히 프랑스 왕의 이름으로 명명된 「앙리4세」호가 침몰되었다.

이에 당시 파리 천문대장이었던 르브리에(Urbain J. J. Leverrier, 1862~1951년)가 왕의 지시에 의해 이 폭풍우의 원인을 조사하였다. 조사한 결과 이 폭풍우가 스페인 부근에서 발생하여 지중해와 흑해를 건너 이곳으로 이동해 왔다는 사실을 알게 되었다. 이로써 일기도를 그려 폭풍우의 이동을 추적하면 폭풍우의 내습을 사전에 예측할 수 있어서 피해를 줄일 수 있다고 생각하게 되었다. 이러한 원리에 따라 프랑스에서는 1858년부터 폭풍우 경보시스템이 운영되기 시작하였다.

세계 각지에서 똑같은 요령으로 똑같은 시간에 측정된 기상요소의 값을 수집하여 만든 일기도를 종관일기도(synoptic weather chart)라 하는데

이런 일기도에 의한 일기예측 원리는 고기압이나 저기압 등 기압계의 이동과 변화에 따라 미래의 기압배치를 추정하여 각지의 일기를 예측하게 되는 것이다.

따라서 일기도를 그리기 위해서는 세계 각국의 많은 기상관측소에서 측정 원리와 성격이 같은 관측기로서 서로 같은 시간, 같은 요령으로 관측하여 서로 비교 가능하게 표준화 할 필요성이 생기게 되어 기상사업에 대한 국제적인 협력이 필요하게 되었다. 이러한 필요에 의해 1873년에 처음으로 오스트리아 빈(Wien)에서 유럽 각국의 기상사업 책임자가 모여 국제기상회의를 개최하였다(그림 2). 오늘날은 이러한 모임이 UN 산하의 세계기상기구(WMO, World Meteorological Organization)로 발전해 있다.

일기도의 이용이 보편화 되어 가는 1920년 무렵 노르웨이(Norway)에서는 비야크네스(Vilhelm F. Bjerk-

nes, 1862~1951년)를 중심으로 처음으로 기상해석을 시도하게 되었는데 이것이 저기압 파동론이다.

지구상에는 위도에 따라 그리고 해륙분포에 따라 그 위에 자리잡고 있는 공기의 온도와 습도가 결정되는데 이를 기단(air mass)이라 했다. 기단과 기단의 경계면을 전선면(frontal surface), 전선면이 지면과 이루는 선을 전선(front)이라고 했는데, 전선이 전투가 이루어지고 있는 극히 위험한 곳인 것처럼 이 전선에서도 한기와 난기가 서로 작용하여 많은 기상변화를 일으키는데 이 한·난 양쪽 기단의 접합 면에서 파동이 발달하여 저기압이 발생하는 과정을 설명할 수 있었다.

이때까지만 해도 인간이 활동하고 있는 지상에서는 기상관측이 가능했지만 공중 높은 곳에 대해서는 관측이 불가능했다.

### ■ 입체 분석시대

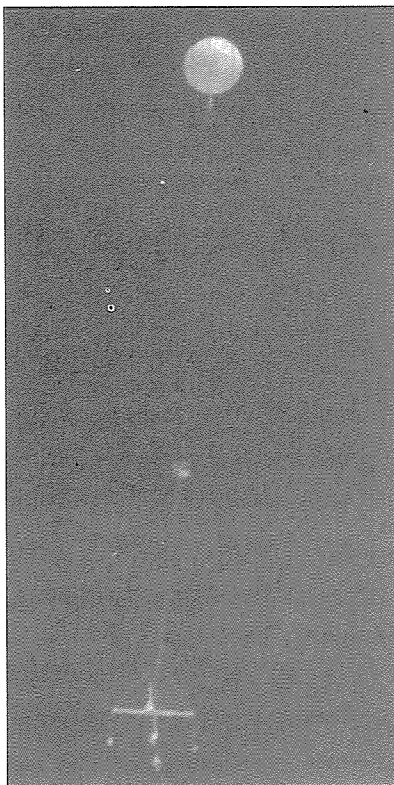


〈그림 2〉 1891년 9월 독일의 뮌헨 국제기상회의에 참석한各國 대표

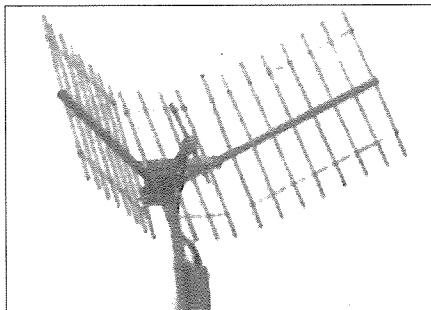
비행기가 라이트 형제(Wilber Wright and brother)에 의해 1903년에서야 비로소 발명되어 약 1시간 가량 체공할 수 있었던 인간이 대기의 상공을 관측한다는 꿈은 1930년 라디오존데(radiosonde)의 실용화로 가능해졌다. 라디오존데란 수소를 넣은 커다란 고무 풍선에 기온, 습도, 기압을 측정해서 무선 송신하는 측기들을 실어 띄우고 지상에서 이 풍선을 추적하여 풍선이 10여km까지 올라가는 동안 각 고도마다 기온, 습도, 기압과 아울러 풍향 풍속 값을 얻을 수가 있게 고안한 것이다(그림 3). 이로써 고층일기도 제작이 가능해졌고 대기의 입체해석이 가능하게 되었다.

이를 바탕으로 1937년 로스비(Carl G. A. Rossby, 1898~1957년)를 비롯한 미국 시카고대학의 일단의 과학자들에 의해 여러 가지 입체해석을 시행할 수 있게 되었다. 이들은 1939년에 절대 소용돌이도 보존법칙을 발견하게 됨으로써 지구의 상공에서 거대한 강물처럼 굽이치는 행성파(planetary wave)를 설명할 수 있었다. 즉 수평 발산이 없는 순압 대기중의 수평운동에 대해서는 절대 소용돌이도도 보존되는데 이는 대류권 중층인 500hPa면 고도(약 5~6km 상공) 부근에서는 근사적으로 성립한다.

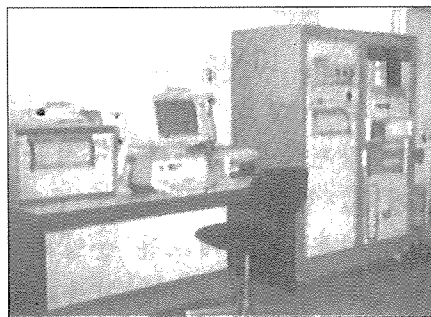
한편 제2차 세계대전 중 미국 공군이 일본을 폭격하러 서쪽을 향해 비행할 때 8~9km 상공에서 강한 서풍에 마주친 것이 제트기류(jet stream) 발견의 단서가 되었다. 제트기류는 매일 위치나 강도에 변동이 있으나 북반구나 남반구의 고층에서 굽이치는 강



관측기구



수신안테나



분석장치

<그림 3> 고층 기상관측을 위한 라디오존데(radiosonde) 시스템

한 서풍으로 항상 나타난다. 오늘날은 장거리 항공에 이 제트기류에 관한 정보는 매우 중요하여 제트기류가 흘러가는 방향으로 비행할 때는 이에 편승하고, 반대방향으로 비행할 때는 항로를 바꾸거나 비행고도를 변경하여 비행하게 된다.

### ■ 수치예보의 발달

20세기에 들어와 일기예보는 물리적 수치적으로 고찰되기 시작하였다. 즉 1922년 영국의 수리물리학자이며 기상학자였던 리차드슨(Lewis F. Richardson, 1881~1953년)이 최초로 수치예보를 수행하였다. 결과는 실패였다. 그러나 그 후 리차드슨은 자

기의 실패를 스스로 인정하고 「수치적 방법에 의한 일기예보(Weather prediction by numerical process)」라는 책을 발간하였다. 리차드슨이 수행한 수치예보는 실패했음에도 불구하고 그의 노력은 높은 평가를 받게 되었다. 당시 수치예보가 실패할 수밖에 없었던 결정적인 이유가 몇가지 있었다.

첫째로 당시에는 기상관측소의 숫자가 너무나도 부족했다는 것이다. 특히 고층관측은 없었던 때였으므로 초기 기상상태 파악이 매우 부실할 수밖에 없었다.

둘째는 수치예보를 실행하는 데는 막대한 양의 계산이 따르게 된다. 예

를 들면 하루(24시간) 뒤의 기상상태를 예측하기 위한 계산을 혼자서 수동식 계산기를 써서 수행한다면 몇년이 걸릴 수밖에 없는데, 당시는 이러한 막대한 양의 계산을 신속하게 수행할 수 있는 컴퓨터가 발명되기 전이었다. 컴퓨터는 1945년에야 비로소 진공관 컴퓨터인 에니악(ENIAC)이 발명되었던 것이다.

셋째로, 기상현상에는 복잡 미묘한 여러 인자가 작용하기 때문에 이러한 복잡한 인자들을 모두 고려해 수치예보 모델을 만든다는 것은 실제적으로 불가능하기도 하겠지만 당시로서는 기상현상의 본질에 대한 이해가 매우 부족했었다는 것이다.

그 후 수치예보 연구가 진전되면서 점차 단점과 부족한 점들이 개선되어 오늘날에는 종래의 방법에 의한 일기예측보다는 수치예보에 의한 예상일기도쪽 일기예측의 정확도가 획기적으로 더 향상되어 가고 있다.

수치예보의 방법은 과학자의 입장에서 보면 매우 훌륭한 것이다. 그러나 이것을 수행하고 향상시키기 위해서는 수많은 전제조건이 해결되어야 한다.

어떤 이유에서든 이들 조건 중 한가지 혹은 일부만이라도 모자라면 수치예보는 불가능하게 된다. 따라서 이것들을 실행하기 위해서는 방대한 조직, 예산, 인원이 필요하여 개인의 힘으로는 부족한 것은 물론이고 한나라의 힘만으로는 되지 않는 경우도 있다.

오늘날의 기상학의 발전 중 많은 부분이 수치예보를 향상시키기 위해 필요로 하는 단점 극복과 부족한 점의 충실화라고 할 수 있겠다. ㉞