

〈기술정보〉

한국의 물과 공기

임 규 호*, 서 애 숙**

1. 관련성

지난 여름의 찌는 더위는 금년 겨울의 추위 때문에 사람들의 생각에서 한결 멀어진 모양이다. 필자도 추위를 느낄 때면 겨울이 이정도는 추워야지 하곤 했다. 그러나 여전히 마음을 누르고 올 여름을 걱정하게 만드는 것중의 하나가 가뭄이라는 데는 모든 사람이 동감할 듯하다. 단지 물 부족 상태가 당장에 위협이 되지 않는다는 생각에서 숨을 돌릴 뿐이다. 이와는 반대로 유럽의 100여년 만의 겨울 흉수는 지구인들의 마음을 어둡게 하고 있다. 물, 공기와는 조금 동떨어지지만 일본의 지진은 우리 마음 속의 봄을 더디게 하며 우리의 발밑으로 고개를 돌리게 한다. 유럽의 흉수는 지구 온난화와 엘니뇨를 다시금 우리에게 부각시켰다. 그러나 어느 누구도 정확한 원인을 알 수는 없다. 하지만 위의 두가지 현상은 묘한 여운을 남김을 부인할 수 없다. 지구 온난화는 인류의 활동에 기인한다. 즉 화석 연료의 사용에 따른 이산화탄소와 기타 인간 활동과 자연 현상에 의한 온실 가스의 대기 중 증가에 있다. 주요 가스는 이산화탄소로 알려져 있지만 대기중 3 원자 분자는 모두 온실 가스로 작용한다. 물론 그 양의 다과나 분자 특성에 따라 기여도가 다를 뿐이다. 그리고 많은 대기 과학자들의 예측에 의하면 지구 기온은 온실 가스의 증가로 높아진다. 이에 반하여 엘니뇨는 자연적인 것이며 3년에서 7년 정도의 부정확한 주기를 가지고 반복되는 것

로 알려져 있다. 즉 인간활동이 현재와 같이 자연에 위협적이지 않았던 시절에도 엘니뇨는 있었다고 볼 수 있다. 그러나 우리는 이 두 가지의 상호 작용에 대하여는 거의 모른다. 대체로 지구 온난화가 엘니뇨에 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있으나 그 반대가 전혀 불가능하다고 단정할 수 없다.

대기 과학을 하는 사람으로 수문 관련 분야의 전문가와 서로 대화를 하는 경우가 적어도 국내에서는 흔하지 않은 것 같다. 모든 학문이 인간 활동의 한 분야이고 문명의 일부인 점을 감안한다면 수문학을 하는 사람과 대기 과학(기상학)을 하는 사람들 사이에 직접적인 교류가 없음은 당연한 일이다. 그러나 자연 현상을 두고 볼 때 서로 간의 인간적인 교류는 없을 지라도 서로가 이룩한 업적이나 연구 결과는 서로 잘 교환될 필요가 있다고 본다. 각 학문 분야의 특성과 권위가 없다는 의미는 아니다. 대기 과학은 대기 과학대로 또한 수문학은 수문학대로 고유의 영역이 있음은 확실하다. 그러나 강수량을 감안하지 않은 수문학을 생각할 수 없다. 대기 과학은 수문 분야에서 어떠한 강수 자료가 필요한 지를 알 필요가 있고 어떻게 관측을 실시하는 것이 더 효율적이며 자연을 더 잘 이해 할 수 있는 지를 연구하여 강수 관련 관측이나 예측의 정확성 향상을 도모하여야 한다. 특히 대기 과학 분야 종사자는 우리 선조들의 업적을 생각할 때 남다른 각오가 필요하다고 본다. 세계 최초의 우량계를 발명하였지만 최신의 우량 관측 장비 개발은 고사하고 최신의 장비라고 외국에서 5여년 전부터 선전하고

* 서울대 대기과학과 부교수

** 기상청 기상연구소 기상연구관

있는 관측기기 조차 도입은 고사하고 실험용으로 구입하여 검정해 보고자 하는 시도조차 없다.

우리 조상이 물의 과부족이나 우량 관측에 얼마나 열성이었는지는 저수지의 건설이나 측우기 발명에서 확실하다. 이 외에도 비를 기다리지 않는 먼 족이 왜 기우제를 지냈으며 물이 넘칠때는 기청제를 지내서 비를 멈추어 달라고 했겠는가? 물론 이러한 일들이 고대 농경 사회의 전형적인 생활상으로 치부할 수도 있겠지만 사람의 힘으로 되지 않을 경우에는 초인간적인 무언에 기대는 것은 당연한 일이 아닌가? 물이 많을 때 모아서 적을 때 사용하다가 그것도 모자라면 하늘에 의지하여 비를 요청하였다. 물의 양뿐만 아니라, 본인이 판단하기로는, 우리 조상들은 물의 질(quality)에도 엄청난 고려를 했음을 민화나 전설로 확인할 수 있다. 어느 대사가 마을의 물맛을 보고는 인제가 나올 것을 예고했다거나 어느 동네 우물의 물맛이 좋아서 미인이 많다는 이야기들을 우리는 종종 들어 왔다. 물의 위력을 감지 못하는 사람들이 어떻게 그런 내용의 이야기인들 지어 낼 수 있겠는가? 단지 그들이 하지 못한 것은 수질의 개선이라든지 수리를 위한 대규모 역사를 하지 않은 것 뿐이다. 그들이 현재의 상황에 처해 있고 현재의 기술을 확보하고 있었다면 지금 보다는 더 많은 그리고 더 큰 역사를 했으리라고 보는 것은 무리인가?

이러한 물의 중요성에 대한 인식과 하늘에서 떨어지는 비의 양을 알아서 무엇인가를 해야한다는 의식은 임진란과 병자 호란 같은 난리를 겪으면서 많이 줄어들었던 것 같다. 그러나 풍요롭지 못한 가운데서도 강수량의 관측은 얼마간의 단절을 제외하고 상당한 기간 동안 이어져 왔음을 고대 문헌의 기록에서 볼 수 있다. 그리하여 측우기 기록에 근거한 서울의 우량 기록이 1770년부터 1907년까지 계속되었다. 1907년 이후는 서구식 우량 관측법이 도입되었다. 비록 서구의 현대적인 물 관리를 하지는 않았지만 우리 선조들은 물의 많고 적음과 물의 질 양자가 인간 생활에 미치는 영향이 지대하다고 믿고 있었던 것 같다.

근세에 들어 한국인은 금수 강산의 물은 맑은 물이며 무한정이고 우리의 공기는 과거 우리 조상들이 숨쉬던 때와 같을 것으로 생각하고 돈 만들기에

바빴다. 모든 것은 돈으로 환산되고 즉석에서 돈으로 계산되지 않는 대상은 무의미하였다. 개인이나 국가의 살림살이에 경제적으로는 덕이 되나 장기적으로 문제가 될 수 있는 많은 행동들이 정당화되었다. 이러한 논리의 일례는 공장주는 오폐수를 몰래 버려 더 많은 이익을 남기면 그만이라는 기업논리 때문에 이 오수를 정화하였을 때 발생하는 국가 전체의 이익 계산을 불가능하게 만들었다. 가정의 생활 하수와 공장의 폐수만 닦았는지 하수 정화에 드는 비용은 국가가 지불하려 하지 않았다.

그리고 수자원 전문가(예, 이, 1994) 우리나라의 물값이 싸기 때문에 수자원 확보가 힘들다고 한다. 수자원에 문외한인 필자들은 믿을 수 밖에 없다. 하지만 한국의 기름값이 싸다는 정부 관계자의 과거 주장이 머리에 떠올라 반박을 해 보고 싶은 충동을 느끼는 우리만의 심정일까? 그렇지 않을 것 같다. 단순하게 절대 가격만을 비교하여 한국의 물값이나 기름값이 외국의 그것에 비하여 싸다는 논리는 위험하다. 국민의 인내와 동참이 절실하다면 솔직하게 상황을 이야기하고 이해를 구해야 할 것이다. 하루 100원 버는 사람이 10원을 지출하는 것과 하루 10원 버는 사람이 10원 지출하는 것이 같다고 한다면 누가 믿겠는가? 설혹 몰라서 일시적으로 믿었다고 한들 얼마나 가겠는가? 그리고 이들이 이 사실을 알았을 때 과연 비슷한 말들을 다시금 믿겠는가? 앞의 물값처럼 가시적으로 맞는 주장을 한다면 이야기하는 사람의 주장(비논리적인 부분을 제외하고)이 맞더라도 듣는 사람은 모든 내용을 부정할 기회를 제공한다는 점에서 사회 불신만을 조장하게 된다. 필자들의 생각은 국민이 내는 세금의 일부는 반드시 수자원 개발이나 공기를 깨끗하게 하는 등의 국민 복리를 위하여 투입하는 것이 당연하다. 이것을 하지 않음은 정책 입안자들의 자질 문제이다.

우리 나라 수도물 값이 외국보다 명목상 싸기 때문에 올려야 한다는 논리 보다는 우리 나라 전체를 고려할 때 장차 이 정도의 수자원 확보가 필요하고 여기에 투입할 돈이 현재의 국가 재정으로는 얼마가 모자라기 때문에 얼마의 인상이 불가피하다는 입장 표명이 필요하다고 본다. 필자의 견해로 만약에 우리가 외국보다 월등히 낮은 요금 체계를 유지

하면서도 수자원에 관한 선진국수준을 넘어선다면 이점은 외국이 배워야 할 사항이 아닌가? 물과 공기를 연구하는 많은 전문가들의 연구 결과에 따르면 우리 나라의 공기와 물은 과거의 그것과는 다르며 자연 치유는 불가능한 것으로 판단된다. 하지만 수질에 관한 BOD나 COD와 같은 어려운 전문 용어보다는 개천에 고기가 살면 되지 않는가? 대기질에 관한 서울 시내의 가로에 걸려 있는 대기 오염 계기판 숫자보다 개인의 와이셔츠를 며칠마다 갈아야 하는가? 아니면 국외 여행을 마치고 김포에 왔을때 서울 시청을 볼 수 있는가가 더 중요한 사항이 아닌가? 그리고 나서 눈에 보이지 않는 그리고 일반인들이 알기 힘든 미세한 부분까지 전문가와 관련 공무원이 합심하여 개선을 도모해야 하지 않을까? 그리고 모든 국민이 다함께 참가하여 오염을 줄이는 일은 물론이고 공공의 투자에 필요한 재정 확립을 위하여는 성실한 세금 납부가 따라야 할 것이다.

필자는 남산의 탐이나 63빌딩 전망대에 오르는 것을 유쾌하게 생각지 않는다. 희뿌연게 보이는 목표물들을 생각하면서 과연 얼마정도의 외국인들이 다시금 찾을 것인가를 생각하면 정부는 세금을 어디에 썼는지 반문하기가 일쑤다. 깨끗한 땅과 강 그리고 그위의 공기가 맑을때 국민의 건강이 한결 증진된다는 점을 고려하면 적정 수준에서의 이러한 부분의 투자는 과감해야 한다. 건강한 국민이 다수인 사회는 정신적인 그리고 물질적인 측면에서 풍요로운 사회다. 사회가 풍요로울때 문화가 꽃피는 법이다. 이에 부응하여 학문의 발전도 국가의 힘도 솟아나는 법이다.

한반도의 과거 물과 공기는 삼천리 금수 강산 말 그대로 깨끗하였다. 그런데 이들 둘의 가격과 필요성을 보자. 두가지의 가격만을 서로 비교한다면 예로부터 물이 조금 더 비싸게 취급되었던 것 같다. 동학란의 직접적인 이유중의 하나는 전남 고부의 붓물이 과도하게 높게 책정되었기 때문이었으며 붓이 김 선달의 대동강 물 팔아먹는 이야기도 생겨나지 않았는가? 가격면에서는 그렇지만 인간 생명에 미치는 영향을 따진다면 공기의 중요성은 물을 당연히 능가한다. 물론 어느 것 하나도 없어서는 안될 요소들이지만 물 없이는 5일을 넘기기 힘들

다고 하지만 공기는 얼마만큼 참을 수 있는가? 아마도 50분을 넘기기 힘들 것이다. 그러나 이 글을 통하여 물과 공기의 값을 따지자는 것은 아니며 더더욱 물과 공기를 먹고 사는 사람들을 이간하고자 함은 아니다. 왜 강을 따라 흐르는 물만을 보고 물이 조금 귀하여지면 땅속의 물을 찾고 이것이 부족하게 되면 바닷물을 바라보는가? 수자원의 공급원이 강수량이므로 공기중에서 나오는 물의 양을 정확하게 예측할 수 있다면 우리가 사용할 수 있는 실질적인 물의 양은 좀더 증가할 것이다. 장기적인 물 수급 조절을 위하여는 한반도 강수량의 기후학적인 변동이 용당 고려되어야 한다.

지금까지는 기상학계에서 기후 예측은 학문적으로 추구되고 실생활의 이용 가능성에 대하여는 회의적이었다. 그러나 최근들어 미국은 적어도 계절 내지는 1년 정도의 선행 시간을 가지는 기후 예보를 범 세계적으로 추진하고 있다. 이러한 계획은 최근 수년 사이에 이루어진 대기 과학계의 연구 결과들을 생각할 때 가능성이 있으며 그 실효성을 인정할 날이 멀지 않다고 본다. 기후 예보에 당연히 포함되는 것은 강수량이다. 기후학적인 강수량 예보의 실효성이 확보된다면 우리는 장기적인 수자원 확보를 위한 적절한 조치를 할 수 있는 충분한 시간을 가지게 될 가능성은 얼마든지 있다. 이와 상반되게 아주 짧은 시간의 폭우로 인한 수해 예방을 위한 강수량 예보 체계도 멀지 않아 확립되리라고 본다.

강과 땅속을 흐르는 물을 이용할 수 있으려면 공기속을 흐르는 물에 대한 관심도 가져야 하리라 생각한다. 이러한 시야의 확대는 수자원과 대기 과학분야 관련 당사자들을 손잡게 하는 좋은 계기가 되리라 본다. 세종 대왕의 측우기를 생각하면서 한반도의 수자원이 전적으로 공기중에서 떨어지는 강수량에 의존하는 만큼 수자원 부존량의 정확한 추정 에 중요한 강수량 측정 기구들의 이모 저모를 살펴 보기로 한다.

2. 강수량 측정

이 부분에서는 측정법상의 기상학적인 규칙 보다 는 대략적인 측정 기구의 특성과 원리를 생각해 보

기로 한다. 크게 분류한다면 강수 현상이 나타나고 있는 현장에 기계를 설치하여 측정하는 경우와 전파나 빛(실제로는 전파에 포함됨)을 이용한 간접 측정법이 있다.

2.1. 현지 관측(In situ observation)

Korean rain gage

세계 최초의 우량계이며 원통형의 통에 고인 빗물의 양을 주척(周尺)으로 고인 물의 깊이를 측정하였다. 채집된 빗물의 증발이 있을 수 있으며 주척의 삽입에 따른 수위의 변화, 주척의 연직 방향으로부터의 이탈에 따른 측정오차 발생의 여지가 다분히 있다. 문헌상의 고증을 통하여 전(1984), 김(1984)은 1441년 음력 8월 18일(양력 9월 12일)을 측우기 발명일로 하고 있으나 한(1991a, b)은 이보다 다소 앞선 1441년 음력 4월 29일(양력 5월 28일)을 발명월일로 주장하고 있다. 본인의 견해로는 측우의 시도와 측우기 명명이나 공식 사용에 따른 시차가 작용한 것으로 보나 통일할 필요가 있다고 본다. 측우기에 관한한 주목을 끄는 부분은 두 종류의 측우기가 있다는 점이다. 공주 감영에서 발견되어 기상청에 보관중인 금영측우기는 상, 중, 하의 3부분으로 분리할 수 있게 제작되었다. 제작 연대에 따라 몇번의 규격 변화는 있었

으나 이 처럼 통을 3부분으로 분리한 이유를 알 수 없다. 측우기에 관심을 가진 기상학자도 이에 대하여는 무관심한 것으로 알고 있다. 그러나 필자의 견해로 이러한 분리 제작 동기를 명확하게 이해한다면 측우기 제작에 임한 선조들이 측우에 관련된 문제점들을 제거하기 위한 과학적인 태도의 강도를 짐작할 수 있다고 생각한다. 측우기 관측 서울 지역 강우량은 1770년부터 1907년 사이의 월자료가 있다. 측우기 월 강수량 자료를 근거한 연강수량의 약 10년 이상의 변동성을 그림 2는 보여 주고 있다.

서구식 우량계도 많은 변화를 겪었다고 생각되지만 여기서는 생략하기로 한다. 표준형은 그림 3의 형태를 취한다. 설치 장소의 선택에 세심한 주의가 필요하다. 측정시 우량되는 내벽에 묻는 빗물의 영향을 줄이기 위하여 측정 직전에 측정되를 물로 부실것을 요구한다. 측우기를 생각한다면 증발량이나 측정척에 따른 오차는 적을 것으로 사료된다. 이외에도 자동 기록을 위한 많은 형태의 기기가 사용되고 있다. 자기 우량계로 전도형 자기 우량계, 저수형 자기우량계, 사이편식 자기 우량계(이와 소, 1986)이 있다. 그런데 기기의 모양이 강수량 측정에 영향을 미칠 수 있음을 그림 4는 암시한다. 그러므로 강수량 관련 연구시 대상 자료의 오차 범위를 고려하여야 함은 당연하다.

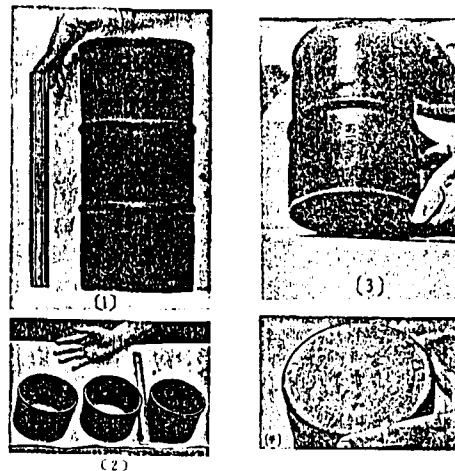


그림 1 이조 현종 3년에 제작된 금영측우기의 모습(이 사진은 다무라(1983)가 소개한 것을 복사한 것이다.) 복사본이라 사진이 흐림을 사과한다. 저자가 접할 수 있는 자료중 금영측우기의 특성을 가장 잘 표현하고 있다.

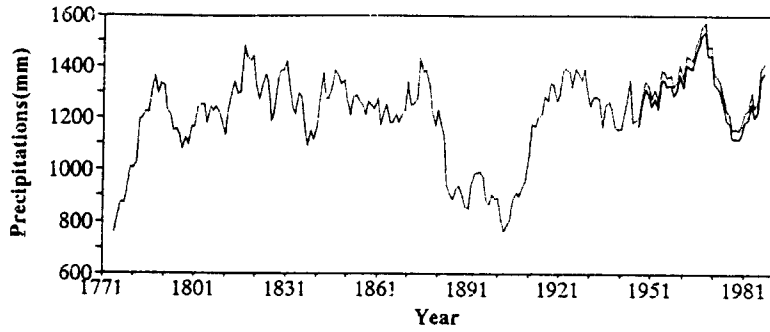


그림 2. 측우기 관측과 근대 우량계 관측에 근거한 서울의 연강수량을 9년 이동 평균하여 얻은 강수량 시계열이다. 1950년대 무렵 이후의 실선으로 표시된 실선은 일강수량의 측정 단위를 측우기의 그것과 유사한 2mm로 하였을 때 나오는 연강수량을 역시 9년 이동 평균한 것이다.

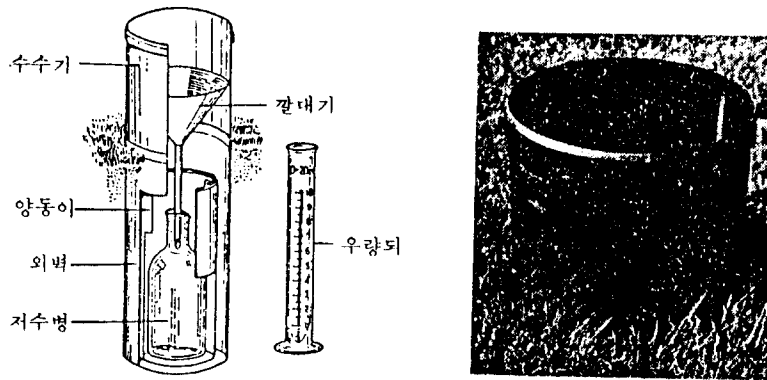


그림 3. 표준 우량계의 구조와 모습. 이와 소(1986)의 그림 9.1과 9.2 인용

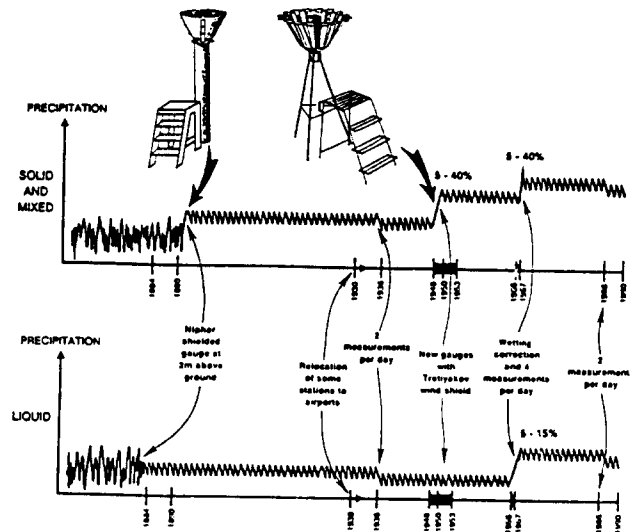


그림 4. 우량계와 측정된 강수량의 연관성. Groisman et al.의 Fig. 1. 인용

Weather or not!

	WIVIS	LEDWI	ORG	Mini-ORG
RAIN	x	x	x	x
SNOW	x	x	x	
PRESENT WEATHER	x	x		
VISIBILITY	x			

- ▶ Wide Dynamic Range - 0.2 to 300.0mm Hr
- ▶ No Evaporation, Wind or Splash Errors
- ▶ High Reliability - No Moving Parts
- ▶ Built for Long Term Unattended Operation
- ▶ Easy to Install - Interface - Even on Shipboard

STi SCIENTIFIC TECHNOLOGY INC.

Headquarters and North American Sales
29 Perry Parkway, Suite 11
Cathartsville, MD 20877
Tel: 301 948 6070
Fax: 301 948 4674

International Sales
8911 E. Highway
Arlington, VA 22207
Tel: 703 536 6070
Fax: 703 533 3190

Optical Weather Measurement
ASOS Technology

그림 5. ORG(optical rain gauge)의 다양한 외형. 미국 기상학회 Bulletin(1994, 11월호, 659쪽)에 게재된 광고 인용.

ORG(optical rain gauge)와 Distrometer

최신의 우량계로 강수 입자에 의한 빛의 반짝임(scintillation)의 강도를 계산하여 우량이나 설량을 측정하며 매우 넓은 측정 범위와 그 정밀도가 단연 돋보인다. 그리고 RS232의 신호를 출력하므로 컴퓨터에 직접 연결하여 자료 처리를 할 수 있는 이점이 있다. 그림 5는 여러 ORG의 외형을 보여 준다. 이외에 일정한 면적을 가지는 특수한 판에 빗방울이 충돌시 발생하는 소리를 분석하여 강우 강도를 추정하는 Distrometer가 있다. 아직까지는 개발단계로 연구용에 머물러 있으며 실용화는 되지 않은 것으로 알고 있다.

강설량 측정 기기

강설인 경우는 채집통에 모인 눈을 녹여서 그 양을 측정한다. 그리고 적설의 깊이는 적설판을 이용한다. 적설의 경우 장기간 무인으로 측정 가능한 여러 방법을 필요에 따라 만들 수도 있다. 곳에 따

라서는 눈이 수자원의 공급원인 지역도 있다.

2.2 원격탐측

Radar 관측

레이더에서 보낸 전파가 구름이나 강수역으로부터 역산관되어 오는 강도를 측정하여 강수량이나 주어진 시간동안의 강수량을 추정한다. 현지 관측에 비하여 넓은 지역의 강수량을 추정할 수 있으나 지역이나 시간에 따른 예고강도와 강수율의 상호관계가 일정하지 않다. 그러므로 당연히 정확한 강수 추정에는 한계가 있다. 그림 6은 관악산 기상레이더 예고를 이용한 강수 추정 과정의 일면을 보여준다. 일반적으로 지상에 고정 설치하여 관측하나 최근에는 소형의 이동식 레이더가 개발되어 연구용으로 많이 사용되고 있다. 항공기의 후면에 설치하는 것도 있다(그림 7 참조). 즉 비행기 진로의 직각면상의 구름이나 강수 분포를 알 수 있다.

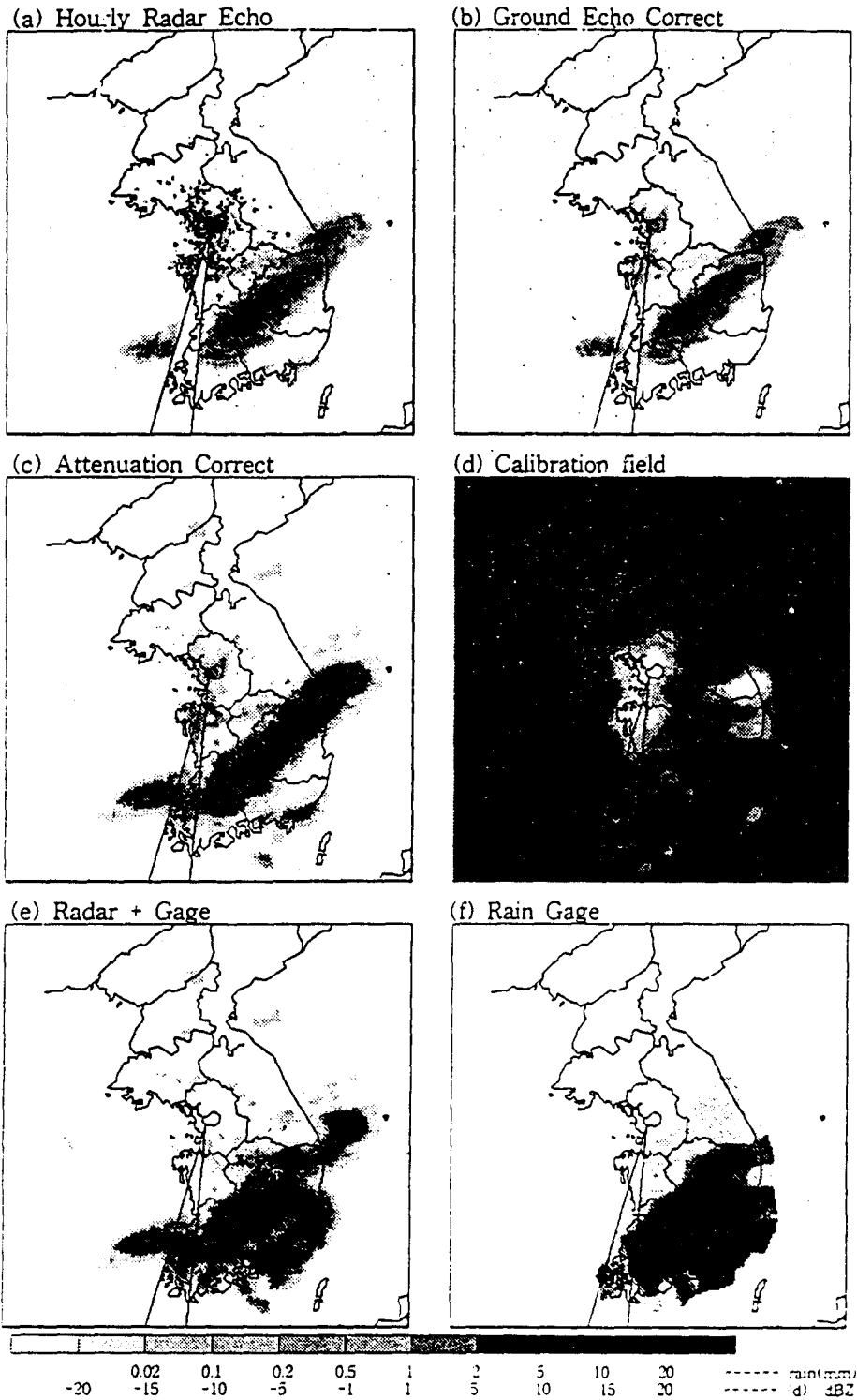


그림 6. 관악산 레이다 에코를 이용한 강수량 추정을 위한 보정과정. 이(1994)의 Fig.5.10.을 인용

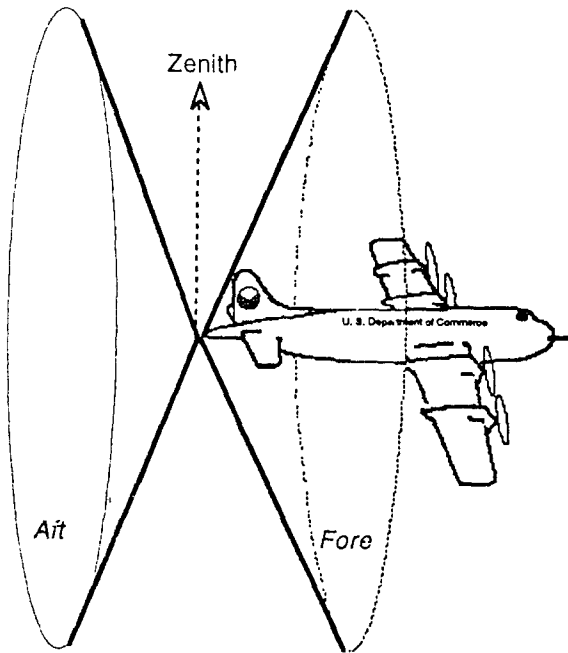


그림 7. 항공기 후면 설치 편파 레이더(doppler radar)의 작동 원리 개념도. Jorgensen et al.(1993)의 Fig.1.인용.

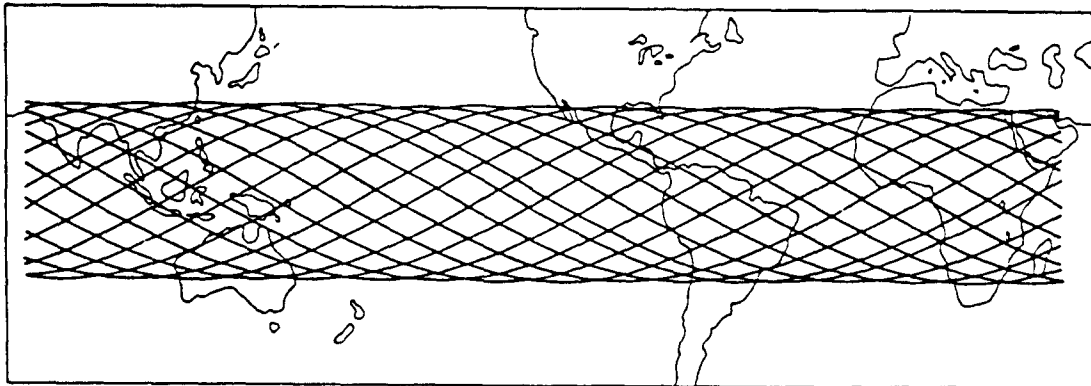


그림 8. TRMM위성의 지구상 관측 범위.

이러한 단층면을 항공기 진로에 대하여 종합하면 3 차원의 구름 분포나 강수역의 분포를 파악할 수 있다.

Satellite 관측

인공 위성에 탑재된 카메라 원리의 센서나 위성

탑재 레이더를 이용한 강수량 추정법으로 대체로 레이더와 비슷한 성격을 가진다. 레이더보다 다소 정확성은 떨어지나 관측 범위가 한결 더 광범위하다. 인공위성 탑재 레이더를 이용한 적도 지역(실제로 위도 남.북위 약35도 정도까지 관측함)강수 관측 계획을 TRMM(Tropical Rain Monitoring

Mission)이라는 이름으로 NASA에서 시도하고 있다. TRMM 위성의 관측 범위를 그림 8에 보인다. TRMM의 강수량 측정의 정밀도는 만족할 만하나 강설 측정을 위한 많은 보완이 요구되는 것으로 알려지고 있다.

3. 결 언

강수량 측정 기기들을 간략하게 소개하였으며 금년 겨울의 자연 재해가 우리의 마음을 어둡게 함을 이야기 하였다. 이러한 재해가 인위적이든 자연적이든 우리가 당장에 할 수 있는 일들은 극히 제한되어있다. 재해 지역의 사람들을 돕고 그들의 아픔을 조금이라도 같이 나누며 위로하는 것이 전부일 것이다. 그리고 좀 더 공해에 대한 경각심을 높이며 지금까지 알려진 예방책을 적극적으로 따르는 것이다. 오염된 물과 공기를 깨끗하게 하는데는 끈질긴 노력과 기다릴 줄 아는 마음이 절대적이지 하루 아침에 해결할 수 있는 특효약 같은 처방은 불가능하리라 본다. 자연 재해를 줄이기 위한 첫번째 단계는 자연 자체를 아는 것이다. 아는 것은 역시 힘이다.

참 고 서 적

1. 김 성삼, 1988 : 축우기 발명의 이설에 대한 고찰. 김 성삼 교수 정년 기념 논문집, 427-440
2. 이 윤식, 1994 : 우리나라 물 問題의 懸案과 對策 方向. 韓國水文學會誌, 27, 6-17.
3. 이 정환, 1994 : 레이더를 이용한 시간 강수량에 대한 연구, 서울대 대기과학과 석사논문, 95pp.
4. 전 상운, 1984 : 한국의 과학문화재 조사보고, 1980-1985. 한국과학사회지, 6, 109-118.
5. 정 현숙, 임 규호, 1994 : 서울 지역 월 강수량과 강수일수, 1770-1907. 한국기상학회지, 487-505.
6. 한 상복, 1991a : 現代海洋, 23권, 1호, 122-125.
7. _____, 1991b : 現代海洋, 23권, 2호, 125-129.
8. 李 天雨, 蘇 鮮燮, 1986 : 氣象觀測法, 敎文社, 377pp.
9. 田村專之助, 李朝鮮氣象學史研究, 東洋氣象學史論叢 I, 東京 Press, 399pp.
10. Groisman, P.Y., V.V. Koknaeva, T.A. Belokrylova, and T.R. Karl, 1991 : Overcoming biases of precipitation measurement : A history of the USSR experience. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1725-1733.
11. Jorgensen, D.P., and B.F. Smull, 1993 : Mesovortex circulations seen by airborne doppler radar within a bow-echo mesoscale convective system. Bull. Amer. Meteor. Soc., 2146-2157.