

特 輯 <水文觀測의 計器의 發展>

水文觀測의 施設 및 計器의 發展

金 光 植*

1. 머릿말

古代로부터 人類文化의 발전은 영구 순환자원인 물의 효과적인 이용의 발판위에 세워져 왔으며 古代文明의 發祥地는 거의가 다 풍부한 水資源을 배경으로하고 있다. 20세기 초에만해도 물의 이용은 단지 生活用水 외에 농업, 양어 및 소규모의 水力發電에 그쳤던 것이 현대에 이르러서는 작은 강에도 수력발전소가 설치되는가하면 큰 댐을 축조하여 물을 貯留, 조절함으로써 渴水期에 필요한 일상생활용수 및 공업용수를 공급하는 한편 洪水를 조절하여 홍수피해를 則除과 人名의 피해를 최소화함으로써 즐기고 있다.

이렇게 필요 불가결한 물에 대해서는 그 근원과 終着을 확실히 구별할 수 없지만 바다와 지표에서 증발된 물은 大氣의 한 부분을 이루고 지표공간에 의하여 이 물은 다시 응결하여 강수의 형태로 지표에 되돌아온다.

지면에 낙하되는 물은 일부는 강피수에 의하여 차단되고, 일부는 침투되고, 일부는 地表水를 형성하여 하천을 통해 바다로 흘러나가며 침투된 물도 일부는 식물층에 흡수되어 증발산의 과정을 거쳐 다시 대기층으로 되돌아 간다.

이러한 복잡한 물순환을 이루고 있는 요소 가운데 가장 중요하고도 그 측정이 어려운 요소는 여럿가지 피복면으로부터 날아가는 증발산과 물의 공급원이 되는 강수이다.

그러므로 여기에서는 기상학적인 측면에서 고대로부터 현재까지 발전되어온 우량관측 및 증발량관측의 시설 및 계기의 발전에 대하여 설명하고자 한다.

2. 고대의 관측시설 및 계기의 발전

가. 우량관측 및 계기의 발전

세계최초의 우량관측은 기원전 4세기경 인도의 여러

지역에서 수행되었다(Sannadar, 1912년). 우리나라에서는 고구려 비조왕 25년(AD 77년) 11월에 京都雨雪三尺(서울에 눈이 3尺이나 왔다)이라는 관상감의 기록으로 보아 정량적인 측기가 설치되었는지의 여부는 알 수 없지만 눈의 깊이를 측정할 가설이 밝혀져 있다.

그러나 역사에 확실하게 기록된 세계최초의 우량계는 1441년 세종 24년에 길이 31.5cm, 직경 14.7cm, 무게 6.2kg의 청동우량기로서 돌로된 밑받침위에 세워진 이 측기들은 각 지방에 설치되어 그 관측기록은 중앙에 모으되었다(Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. Vol. 33, pp.65~66 참조). 분명히 이것은 공식적인 관측망(net work)으로 구성된 농업을 위한 목적으로 우량을 관측하였던 것으로서 世界歷史에 기록되어 있다.

이후 1639년에 카스틸리아 로마에서 간틸테이데에서 편지로서 Trasmene 호수의 流出量이 얼마나 되는지를 계산하는데 필요한 자문을 구한 구절이 있는데, 이에대한 말대로 원통형의 형태로 한켠 정도의 눈이와 폭을 가진 운량관을 만들고 이것을 露場(open air)에 놓아 측정하라고 지시한 文獻이 남아있다(Gallico, Opere, ed. naz. XVIII, 82~86). 이것은 歷史적으로 남아있는 최초의 河上의 水位(the level of the water)를 구하기 위한 水文學의 한 수단으로 강우량을 측정된 것으로 알려져 왔다.

1663년에는 영국의 Christopher Wren에 의한 여러 가지 계량요소를 동시에 관측하여 기록할 수 있는 계측계가 발명되었는데 이것은 시간별 강우량을 관측하기 위하여 여러개의 용기를 배열하여 시간마다 교체할 수 있도록 고안되었으며 이것이 최초의 기계적인 우량계라 할 수 있다(그림 1). 이계기는 1726년 Jacob Leupold에 의하여 완성되었는데 이것은 그림 1과 같은 모양으로 틀니비취를 이용하여 용기를 교체시킬 수 있는 큰 우량계로서 시계판 이용하여 자동적으로 용기를

* 中央觀象臺 豫報局長

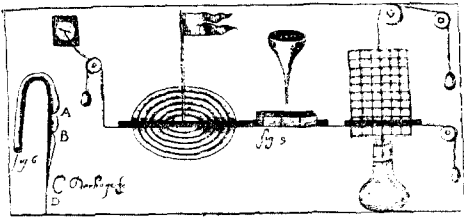


그림 1. Monconys' sketch of Wren's meteorograph.

교제시킬 수 있는 것이 특징이다.

17세기의 우량관측은 농업 또는 산업을 목적으로한 것이 아니라 단순히 고대로부터 관심을 가져왔던 하천이나 수원에 순수과학의 학술적인 차원에서 문제를 해결하기 위한 方便이었다. 이를 벗어나 本格的으로 조직적인 방법으로 행해진 최초의 강우량 관측은 Perrault(1674년)에 의해서 세에느강의 상류부근의 강우량을 측정함으로써 평균강우량이 511mm로 기록되어 있다. 이것은 水文學의 기초자료로서 정량적으로 계산된 최초의 것으로 인정된다.

수년후 Mariotte(1686년)는 2경방피트의 우량계를 증발을 最小化하기 위하여 좁은 원통형관을 통하여 흘러 들어오게 만들었던 것으로 보아 우량계에 관한 高次의인 지식을 갖고 있었음을 알 수 있다. 이와 똑같은 概念에 따라 Hire(1700년)는 넓이가 4경방피이트, 높이가 6인치의 짧은 관을 통하여 용기속으로 물이 흘러들어갈 수 있도록 약간 경사진 밀린을 가진 양철로 된 우량계를 파리관측소에 설치하고 강우량 측정은 적은 용량의 계수기를 사용하여 現代式 우량계에 비하여 조금도 손색이 없음을 보여주었다.

Townley(1964년)는 Lancashire지방에서 직경이 12인치의 원통형 우량계를 만들어 集水된 강우량을 무게로 달아 계산하여 월 증강우량을 발표하였고 또한 그는 논문에서 영국의 다른 지방에서도 나같이 관측이 행해져야 한다는 것을 주장함으로써 水文學의 기초는 이때부터 이루어지기 시작했다고 볼 수 있다.

古代의 우량계는 각 지방에 따라 매우 다르며 世界的으로 160여 종류에 달하는데 이 중 특별한것을 소개하면 Horsley(1723년)는 갈데기의 직경이 30인치나 되는것을 사용했고, Pikerling(1744년)은 갈데기의 넓이가 겨우 1경방인치인 우량기를 사용했다.

1790년대에 들어 Garnett(1794년)는 주위에서 튀어 들어오는 돌방울의 방지 및 증발을 억제시키기 위하여 갈데기의 입구를 특수한 linen으로 테두리를 입히고 소용돌이에 의한 강수차를 줄이기 위하여 사각형모양의 우량계를 사용하기도 했다.

18세기 후반에 사용되었던 것은 Howard(1772년)에 의한 우량계로서 그림 2와 같으며 입구는 늦되로 테두리되어 있거나 전체가 금속으로 되어있다. 全方向的 강우량을 관측하기 위한 최초의 벡터우량계(Vectopluiometer)는 Kerr(1816)에 의해서 고안되었는데 이것은 두개의 원통형우량계를 하나는 水平으로, 하나는 垂直으로 장치하고 바람개비(Vane)를 이용하여 항상 비오는 방향으로 향하도록 되어있다. 이후에 Phillips(1840년)는 다섯개의 우량계를 장치하여 하나는 풍상측, 다른 네개는 각각 동서남북을 향하도록하여 우량의 垂直 및 傾斜의 효과를 계산하는데에 이르렀다. 이것의 目的은 원래 도시계획을 위한 것이었지만 별로 이용되지는 못 하였다.

세계 최초의 자기우량계는 Bevan(1827년)이 고안하였는데 그림 3과 같이 浮動式원통(floating chamber)에 강우가 채워짐에 따라 원통에 부착되어 있는 自記紙에 기록되도록 하였고 물이 다 채워졌을때는 사람이 통을 비워놓도록 되어있다. 사이폰식우량계(siphoning rain gauge)는 Hicks(1869년)가 처음으로 발명하였는데 이것은 그림 4에서 보여진 바와같이 아주 정밀하게 설계되어 있다. 이 측기는 1906년 Negrette와 Zambra에 의하여 改良하고 편리하도록 개조되었다.



그림 2. Howard's rain gauge.

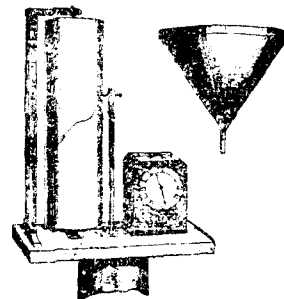


그림 3. Bevan's float rain gauge, 1827.

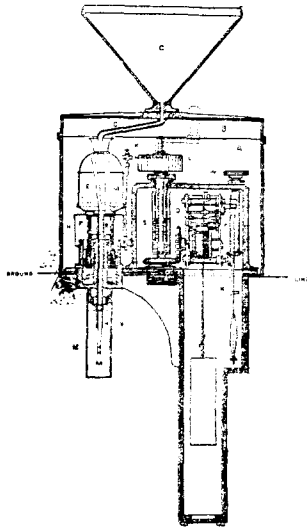


그림 4. Beckley's recording rain gauge, 1869.

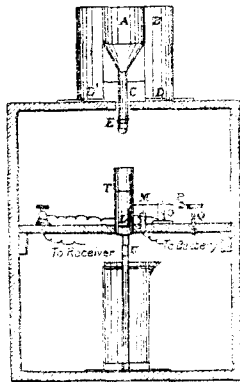


그림 5. Binnie's rate-of-rainfall recorder, 1892.

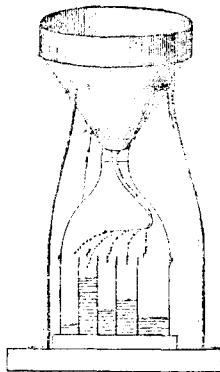


그림 6. Maillie's rain-intensity gauge, 1853.

나. 강우강도계

강우강도계는 1892년에 Binnie에 의해서 제작되었는데 특별하게 설치된 구멍으로부터 떨어지는 물방울을 계산함으로써 強度로 測定할 수 있도록 하였다. 그림 5는 물방울이 계산되는 圖面인데 구멍 E에는 얇은 천을 싸대어 물방울의 속도를 균일하게하여 작은 판 L에 한방울씩 떨어지게 함으로써 M에 접촉된 수에 따라 強度가 기록되도록 되어있고 갈매기의 직경은 2인치 정도로 매우 작으며 계계의 물방울은 0.01인치의 강우량에 해당한다. 이보다 앞서 세계 최초의 강우강도계는 Maillie(1853년)의 것으로 그림 6과 같이 아주 간단하게 설계되었고 이 원리는 비의 強度가 크면 클수록 물이 더 멀리 떨어지는 것을 이용하여 많은 區間으로 나누어진 용기의 물의 量을 測定함으로써 強度가 결정된다.

다. 증발계

古代로부터 사람들은 강우의 형태로 내린 비는 一部는 강을 통하여 바다로 흘러나가고 一部는 증발되어 다시 大氣中으로 환원된다고 생각해 왔다. 이 증발량의 관측은 먼치음 17세기에 시작되었다.

1687년 Halley는 천정위에 온도계를 삽입한 직경이 8인치, 깊이가 4인치되는 증발계를 올려놓아 무게로써 증발량을 계산하였다. 1730년경까지는 윗면이 露出된 납각한 원통형의 주식으로된 6평방인치, 길이 3~4인치되는 증발계를 천정에 매달아 놓고 測定하는 방법이 보편적으로 이용되었다. 그러나 이러한 小型蒸發計를 이용한 증발량이 실제량과 비교하여 많은 차이가 있다는 것을 Delaporte(1839년)의 조사에서 밝혀져, 이보다 훨씬 큰 大型蒸發計가 Tarbe에 의해서 개발되었는데 이것은 넓이가 2.5m², 깊이가 0.4m이며 이 증발계는 1889년까지 사용되다가 이후에는 넓이가 6평방피트인 것이 標準으로 채택되었다.

3. 現代의 관측시설 및 계기

가. 우량계

현재 사용되고 있는 우량계는 지수형우량계와 자기우량계가 있으며 國家別로 여러가지 종류가 있으나 貯水型 우량계의 표준은 구경이 20cm인 것이 사용되도록 WMO(세계기상기구)가 규정하고 있다. 일반적으로 자기우량계는 weighing type, tilting bucket type, floating type의 세가지 종류가 있는데 보통 weighing type가 代表的이며 우리나라에서 사용되고 있는것은 사이폰식 자기우량계(recording rain gauge glass siphon type)와 轉倒型隔測자기우량계(recording rain gauge tipping bucket type)이다. 이외에 건설부에서

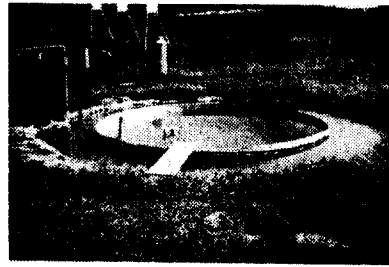
사용하고 있는 遠隔자기우량계(remote recording rain gauge)가 있다. 우리나라 전국의 우량관측소는 총 313개소로서 중앙관상대 산하 76개소와 건설부산하 237개소가 있다. 특히 한강유역에는 68개소의 우량관측소가 있으며 이들은 수위관측소와 함께 telemeter化되어 현대식 computer와 연결되어 자동적으로 기록되어 홍수 경보를 발표할 수 있는 최신식 설비를 갖추고 있다.

나. 증발계

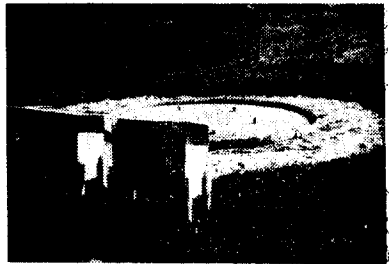
증발계는 貯水用器의 크기 및 구조에 따라 미국형 大型蒸發計(United States class A pan)와 소련형蒸發計(Soviet GGI-3000 pan) 및 소련형 20m²蒸發計(Soviet 20m² tank)가 있으며 이외에 간이용 小型蒸發計가 있다. 우리나라에서 현재 사용되고 있는 것은 미국형 大型蒸發計와 小型蒸發計이다. 현재 小型蒸發量은 중앙관상대산하 70개소, 대형증발량은 17개소의 관측망을 갖고 있다.

다. 증발산량 측정제(Lysimeter)

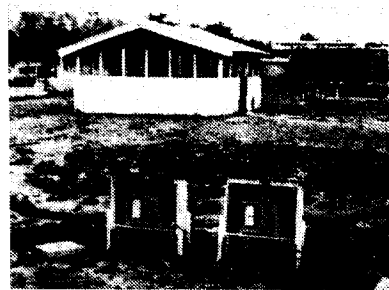
호수면이나 토양으로부터의 증발량과 수목으로부터의 증산량은 많은 차이가 있으며 또한 수목의 종류에 따라 각각 다른 값을 나타내기 때문에 이 증발산량을 정확히 계산하는 것이 수문학 분야에 큰 관심사가 되고 있다. 최근에 이르러 Thornthwaite(1958년), Kohler(1962년)등 외국의 여러 학자들이 이에 대한 연구를 개발한 이래 계속 연구되어 왔다. 현재 우리나라에서도 수원농업기상관측소, 유성분실, 광주분실, 칠곡분실에



(c) 수면 Lysimeter



(d) 나지 Lysimeter



(e) 밭 Lysimeter(밭기)

Thornthwaite형의 배수전 Lysimeter를 설치하여 증발산량을 관측하고 있다(그림 7 참조).

4. 水文觀測 시설의 實態 및 문제점

가. 강우량산정

현재 기상관측소에서 관측되고 있는 강수량은 지점 강수량에 불과하므로 이러한 지점강수량이 그 地域을 代表한다고 볼 수 없다. 따라서 현재의 관측된 자료로서 대상 지역에 실제 적용하기 위해서는 面積강수량이 필요하다. 이면적강수량 산정방법에는 여러가지가 있으나 가장 많이 이용되는 것은 산출정준법, Thiessen법, 적자회귀식법이다. 이 방법대 외할 최초의 강수량 산정은 1972년도에 중앙관상대(김광식등, 수문계발을 위한 금강유역의 수문학적 연구)에 의해서 수행 되었으며 사용된 자료는 12년간(1961~1972년)이었다. 이 조



그림 7. (a) 수목 Lysimeter(오리나무)



(b) 수목 Lysimeter(벼논)

사에서 산출평균법과 Thiessen법에 의한 오차는 10% 내외를 나타냈다. 이후 1979년도에 10년간(1967~1976년)의 자료를 가지고 조사한 결과 산출평균법, Thiessen법, 적자회귀식법이 $\pm 3\%$ 의 오차를 보였다. 면적강수량의 값은 관측 지점의 밀도가 클수록 정확도가 높아지며 또한 각기 다른 면적강수량과의 격차가 해소된다. 1972년도 조사와 1979년도 조사의 오차율이 10%에서 3%로 減少되었다는 것은 그만큼 관측시설의 밀도가 커졌다는 것을 의미하여 水文學의 인 측면에서 볼때 많은 發展이라할 수 있으며 또한 현재의 관측망의 자료로부터 산출된 값을 믿고 쓸 수 있다고 생각된다. 그러나 아직도 문제가 되고 있는것은 동해안에 관측소의 밀도가 疎한 반면 서해안 평야지대에서는 密한 것으로 나타난다. 세계기상기구(WMO)에서 권장하고 있는 것은 산악지대가 평야지대보다 더 稠密해야 한다는 것을 고려하면 앞으로 동해안에 위치한 산악지대에 좀더 많은 관측소가 세워져야 하겠다.

나. 증발량과 증발산량

水文學의 가장 중요한 두가지 요소는 강수량과 증발량이다. 강수의 형태로 얻어진 물의 양과 증발의 형태로 잃어버리는 물의 양과의 상대적인 크기를 규명하는 것은 수자원개발과 利用 및 保存事業의 목적별, 지역별 계획 수립에 크게 기여될 수 있다.

1968년 10대량 유역의 물수지(김광식, 기상학회지)의 연구조사에서 밝혀진 바에 의하면 水資源의 可用水量을 물收支法에 의하여 조사한 결과 년총강수량은 888억톤으로서 그중의 61%인 544.7억톤이 증발산에 의하여 대기중으로 損失되고 나머지 39%인 343.3억톤만이 利用 가능한 量이 된다. 1979년도에 조사한 한강유역의 강수량과 증발량의 비(기상연구소, 연구조사보고서)는 증발산량은 년총강수량의 57.5%, 수면증발량은 45.7%로 나타났다.

外國의 경우 이에관한 연구가 일찍부터 進行되어 1857년에 Lorin이 미국의 강수분포도를 지방별로 구해 처음으로 발표한 이래 세계적 강수분포도를 작성한 Mubry, 지리학자 Marsh등 이 방면에 대한 연구가 계속 발전되어 왔으며 특히 1931년에 Thornthwaite는 기후구분을 위해 기온과 일사량을 가지고 증발산량을 推定하는 경험식을 발표하였고, 그후 Mcklory, Blaney and Criddle, Rider, Leichtman등 여러학자들이 열수지 및 공기역학적인 경험식으로 증발산량 추정식을 유도하였으며 특히 Penman(1951년)은 공기역학적인 요소와 열수지요소를 결합하여 수면과 조기에서의 증발산량 경험식을 발표하였다.

과거에는 주로 기후학적인 견지에서 물수지에 대한

연구를 하였으나 최근에는 기후학적인 것은 물론 대기역학적, 지질학적, 토양학적인 관점에서 전 세계적으로 각 성분량의 분포를 추정하기 위하여 노력하고 있다. 특히 UNESCO에서는 1965년부터 1974년까지 수문개발 10개년 계획을 성공적으로 끝내고 제 2차 계획을 진행중에 있다.

1971년 Hounam은 WHO/IHD계획의 일환으로 어떤 지역의 증발량을 추정하는 문제를 물收支로서 다루어 발표한바 있으며 같은 해에 Obradovich는 필리핀에서 Thornthwaite, Penman, Blang & Criddle의 방법으로 구한 증발산량과 실측된 값과 비교 검토하였다. 우리나라의 경우는 1972년 Penman에 의한 경험식에 따라 증발산량을 산출하였고, 1979년에 Kohler & Richards의 경험식에 의한 수면증발량과 Thornthwaite식에 의한 증발산량을 구하여 실측치와 비교 검토하여 한강유역의 월별, 계절별 수면증발량 및 증발산량 분포도를 도시하였다. 특히 1972년에는 증발산량 추정을 위해 수원농업 기상관측소, 유성분실, 광주분실, 칠곡분실에 설치되어 있는 Thornthwaite형 배수식 Lysimeter로 수면, 나지, 밭(밭기), 잔디, 임목(오리나무)등 각 피복면에 따른 증발산량을 실측하고 여기에서 얻어진 자료로서 월별 증발산 모델을 구하였다.

5. 맺는 말

古代로부터 우리의 先祖들은 기상을 生活에 적용시키는데 각별한 관심을 갖고 있었다. 세종대왕대의 측우기는 水量을 길이로 측정할 놀라운 創意力을 발휘하였고 이것은 현재의 우량계와 다름없는 역학적인 특성을 살린 것이다. 그러나 現代에 이르러 공업, 농업, 산업분야에는 눈부신 발전과 성장을 가져 왔지만 水文分野에 중요한 부분을 맡고 있는 기상측지나 시설은 물론, 연구비 지원은 여기에 따라가지 못하고 있는 형편이다. 오늘날 세계는 에너지자원의 枯渴로 水資源을 어떻게 효율적으로 확보하여 利用하고 保存하느냐 하는 문제가 심각하게 대두되고 있다. 특히 우리나라의 경우는 주 에너지 동력이 물의 관리에 있다는 것은 누구나 다 인정하고 있는 사실이다. 더우기 강수량은 7월과 8월이 년강수량이 49%나 되는 하계 집중호우형이며, 년총유출량의 약 56%가 하계(6,7,8,9월)에 대부분 洪水로 無用하게 바다로 흘러 나가고 있다.

그러므로 이 水資源을 격렬히 活用하기 위해서는 多目的댐을 축조하는 것은 물론, 아울러 결빙이상을 증발산으로서 損失하고 있는 것을 防止하기 위한 증액제법과 渴水期의 강수를 더 내리게 하는 人工降 관한 研究가 並行되어야 할 것으로 본다.