

< 論 文 >

오산지역을 통과하는 대기수분의 계절적 변화  
 —Seasonal Variation of Water Vapor Transfer over Osan—

이        규        태\*  
 Kyu-Tae Lee  
 조        회        구\*\*  
 Hi-Ku Cho

Abstract

Computations of the directional transfer of water vapor over Osan are made for seasonal and vertical distributions of the water vapor transfer, based on aerological data during the period from 1972 to 1981.

The results show that annual total value of water vapor amounts to 1812 g/cm·sec. The largest transfer occurs in summer and in eastward with 53 percent of the annual total. It is also of interest that the maximum values of water vapor transfer appear to be in the layer between the 800mb and 600mb level in winter and between the 900mb and 800mb levels in summer.

The horizontal divergences of water vapor transfer for two months of January and July 1979, using aerological data observed at Osan, Kwangju and Pohang are also calculated and the results are briefly discussed.

要 旨

1972년부터 1981년까지의 고층자료를 이용하여 오산을 통과하는 대기수분량의 방향별, 계절별 수직분포를 계산하였다.

그 결과는 대기 수분의 통과량이 연 평균 총 1812g/cm·sec 이었다. 계절별로는 여름에 그리고 방향별로는 서에서 동으로 통과하는 양이 가장 많았다. 또 겨울에는 수분통과량의 최대치가 600mb~800mb 층에서 나타났고 여름에는 800mb~900mb 층이었다. 그리고 오산, 광주 및 포항의 고층자료로서 1979년의 1월과 7월의 두달동안 수분이동의 발산량을 계산하여 간단히 논하였다.

1. 서    론

대기수분의 시간적·공간적 분포와 그 이동을 정량적으로 정확하게 파악하는 것은, 대기중에 일어나는 여러 물리적 과정을 이해하는 데 매우 중요하다.

그러므로 Holzman(1937)과 Benton et al.(1950)은 일찌기 미국대륙의 대기수분을 수문학적인 견지에서 평가한 바 있다. 그후 Benton과 Estoque(1954)는 미국대륙의 특정지역과 짧은 기간에 대기의 수분이동을

물 순환을 연구할 목적으로 다루었다. 미국 M.I.T 대학에서는 전 지구상의 수분이동과 그 발산을 대기대순환과 연관시켜 여러차례 광범위하게 연구하였다. (Starr, Peixoto and Crisi, 1965; Starr and Peixoto, 1958; Peixoto, 1970a, 1970b), 그리고 극동아시아에서는 Flohn과 Oeckel(1956), Hutchings(1961), 그리고 Murakami(1959)가 여름우기에 한하여 대기수분의 이동문제를 대기순환과 함께 조사하였다. 한국에서는 강수량에 대하여 한(1968), 오와 이(1978), 그리고 조와 이(1982)가 조사한 바 있으며 최근에 김(1982) 등이

\* 연세대학교 이과대학 천문기상학과 연구조교

\*\* 연세대학교 이과대학 천문기상학과 교수

장마기에 한반도를 이동하는 수분량을 평가하였다.

이와같이 과거의 연구는 특정한 시기와 광범위한 지역을 통하여 연구되어 왔다. 그런 까닭에 이 연구에서는 비교적 장기간의 고층기상관측자료를 이용하여 오산지역을 통과하는 수분량을 계산한후 계절별, 방향별 그리고 총별로 그 특성을 정량적으로 연구하였다. 그리고 오산과 포항 및 광주의 세 지점의 고층자료로서 수분이동의 발산량을 계산하였다.

이 연구결과는 기상학적 문제뿐만 아니라 기후학 그리고 수문학적인 면에서도 매우 중요한 참고자료가 될 것으로 생각된다.

## 2. 자료와 방법

### 1) 자 료

1972년부터 1981년까지 10년간 오산(37°06'N, 127°02'E)의 수분통과량을 계산하기 위하여 0900(LST)와 2100시 또는 1800시의 지표, 900mb, 850mb, 800mb, 700mb, 600mb, 500mb, 그리고 400mb의 등압면 자료를 일본고층기상월보(Japan Meteorological Agency, 1972-1976)와 한국고층기상월보(중앙기상대, 1977-1981)에서 발췌하였다. 이들 자료중에서 1972년부터 1976년까지는 기압, 기온, 상대습도 그리고 풍향풍속을 이용하였고, 1977년부터 1981년까지는 상대습도가 관측되지 않았고 낮점온도를 관측하였으므로 상대습도 대신 낮점온도를 사용하였다.

수분이동의 발산량을 구하기 위하여 오산, 광주 그리고 포항의 1979년 1월과 7월 0900시의 고층자료를 사용하였다. 그리고 오산의 강수량은 항공기상연감(공군기상전대, 1976-1981)과 공군기상전대에서 수집하였다.

### 2) 방 법

#### (1) 수분의 통과량계산

어떤 지점에서 관측 시간간격이  $T$ 일 때, 주어진 층에서의 수분의 평균통과량  $w$ 는 다음과 같다.

$$w = \frac{1}{gT} \int_0^T qcdt = \frac{1}{gN} \sum_{i=1}^N q_i C_i \quad (\text{g/cm} \cdot \text{mb} \cdot \text{sec}) \quad (1)$$

여기에서,  $q$ ; 비습(g/kg)

$T$ ; 관측시각 사이의 시간간격

$C$ ; 수평바람성분(cm/sec)

$t$ ; 시간

$N$ ;  $T$ 관측 시간간격에서의 관측한 회수이다.

(1)식에서 비습은 직접 관측되지 않았으므로 다음과 같이 계산하였다.

$$q = 0.622e / (P - 0.378e)$$

$$\approx 0.622e / P$$

(2)

여기에서,  $e$ ; 수증기압(mb)

$P$ ; 기압(mb)이다.

또한, (2)식에서 수증기압  $e$ 는 Magnus의 식을 이용하여 다음 식과 같이 계산하였다.

$$\log_{10} e = -2.937.4 / Td - 4.9283 \log_{10} Td$$

$$+ 23.5518$$

(3)

여기에서  $Td$ 는 낮점온도이다. 그리고 상대습도  $U$ 로 비습을 구할 경우에는, (3)식에 낮점온도 대신 기온으로 포화수증기압  $e_s$ 를 구한 다음 (4)식을 이용하였다.

$$q = (U/100) \times 0.622 \times e_s / P$$

(4)

이와같이 구해진 (1)식을 지표면부터 대기의 상한까지 적분하여 총수분의 통과량  $W$ 는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$W = \int_0^P w dp \quad (\text{g/cm} \cdot \text{sec})$$

(5)

여기에서  $P$ 는 지표면의 기압이다.

#### (2) 수평발산량의 계산

오산, 포항 그리고 광주의 세 지점에서 고층기상관측자료로 수분이동의 발산량을 계산하기 위하여 Bellamy(1949)의 질량발산 계산방법을 채택하였다. 이 방법은 그림 1에서와 같이 관측지점이 A, B와 C의 셋일때, A의 지점에서 바람이 관측되었고 B와 C지점에서는

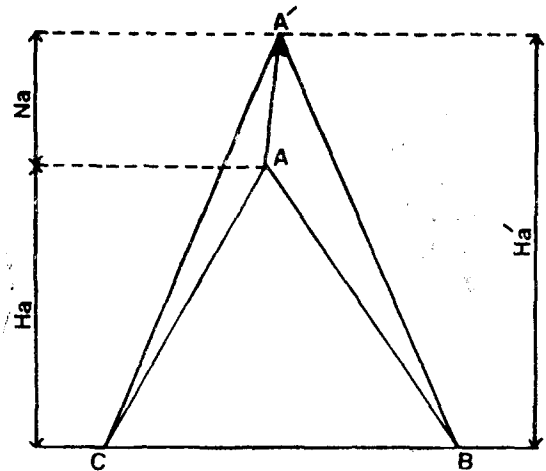


그림 1. 관측지점 A, B와 C의 수평투영도

바람이 불지 않는다고 가정한다. 따라서 이 때의 발산을 세 지점별로 나누어 부분수평발산(Partial horizontal divergence)  $\Delta_A$ 라 표시하면, 수평발산량  $\Delta$ 는 다음과 같다.

$$\Delta = \Delta_A + \Delta_B + \Delta_C$$

(6)

B와 C지점에서 바람이 불지 않을 때,  $T$ 시간동안

단위 두께의 부피로부터 공기가 흘러나가는 양은

$$A'AB + A'AC = A'BC - ABC \quad (7)$$

이다. 따라서 부분수평발산  $\Delta_A$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta_A = \frac{A'BC - ABC}{ABC} \quad (8)$$

여기에서,  $A'BC$ 와  $ABC$ 는 그림 1로부터 (9)식으로 나타낸다.

$$A'BC = \frac{1}{2}BCH'\alpha, \quad ABC = \frac{1}{2}BCH\alpha \quad (9)$$

그러므로 (8)식은

$$\Delta_A = \frac{H'\alpha - H\alpha}{H\alpha} \quad (10)$$

또는

$$\Delta_A = \frac{N\alpha}{H\alpha}$$

로 쓸 수 있다. 그리고 (10)식의 실제 계산은 (11)식으로서 구하였다.

$$\Delta_A = \frac{v}{H\alpha} \sin(\beta_{BC} - \alpha) \quad (11)$$

여기에서,  $v$ ; 풍속

$\alpha$ ; 풍향

$\beta_{BC}$ ; 지구의 북쪽방향에 대한  $BC$ 면의 방위각이다.

$\Delta_B$ 와  $\Delta_C$ 도 같은 방법으로 계산하여 수평발산량  $\Delta$ 를 구하였다.

### 3. 분석결과와 토의

먼저 비습과 풍속을 고도별로 비교한 다음에 수분의 통과량을 계절별, 방향별 그리고 층별로 그 특성을 아래와 같이 조사하였다.

#### 1) 고도별 비습과 풍속의 수직분포

수분의 통과량은 (1)식과 같이 비습과 풍속의 두 요소로서 표시된다. 그러므로 이들의 고도변화를 여름과 겨울에 한하여 서로 비교하였다.

그림 2에서와 같이 400mb 고도에서, 비습이 겨울과 여름에 각각 0.1g/kg과 1g/kg으로서 비교적 큰 차이가 없었으나, 지표 부근에서는 겨울이 3.2g/kg이고 여름이 12.2g/kg로서 큰 차이를 보이고 있다. 고도에 따라 비습이 겨울에는 거의 선형으로 감소하며 상층과 하층사이에 차가 적으나, 여름에는 거의 secant hyperbolic inverse 함수의 모양으로 감소하여 상하간의 차이가 현저하다.

풍속은 고도에 따라 양 계절 모두 대수법칙을 거의 만족하면서 증가하고 있으나 겨울에는 여름보다 상하

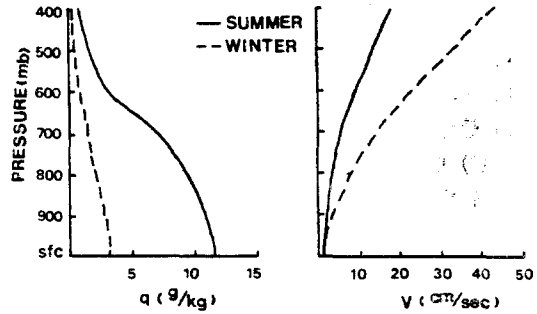


그림 2. 계절에 따른 고도별 비습과 풍속의 수직분포

층의 차가 심하다. 즉, 지표 부근에서는 양 계절 모두 약 1m/sec 전후이나 400mb 고도에서 겨울에는 41m/sec이고 여름에는 18m/sec로서 계절에 따라 차가 심하다.

이들 비습과 풍속의 수직분포는 층별 수분이동분포의 특성을 결정하여 주는 중요한 요인이 된다.

#### 2) 대기수분의 통과량

##### (1) 계절별 층별 수분통과량

1972년부터 1981년까지 오산을 통과하는 평균대기수분의 통과량을 분석하여 계절별로 표 1에 나타내었다. 이 표에 의하면 수분의 통과량은 전기층에 대하여 연평균 1812g/cm·sec이었다. 계절별로는 여름이 3199g/cm·sec로 최대값을 보였고, 겨울이 888g/cm·sec로 최소값이었으며 가을과 봄은 그 중간값으로 비슷한 양을 나타냈다.

층별로 보면 800-700mb 층에서 수분통과량이 최대로 나타났고, 그 양은 연평균 388g/cm·sec으로서 전기층의 21%이었다. 계절별로 최대값을 나타내는 층이 여름에는 900-800mb 층으로서 연평균값보다 낮고, 다른 세 계절에는 모두 800-700mb 층으로서 연평균값과 같았다. 이와같은 분포가 나타난 이유는 그림 3에서

표 1. 계절별 수분의 통과량(g/cm·sec)

Layers (mb)	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual
400-0	33	80	38	25	44
500-400	140	242	146	60	147
600-500	239	387	253	151	258
700-600	274	513	314	173	318
800-700	328	723	315	185	388
900-800	307	740	310	167	381
sfc-900	223	514	241	127	276
Total	1544	3199	1617	888	1812

본 바와 같이 지표 부근에서는 비습이 높으나 바람이 매우 약하고, 상층은 바람이 강하나 비습이 낮기 때문에 이 두 효과의 종합적인 결과가 900—800mb 또는 800—700mb에서 수분통과량의 최대값을 나타낸 것으로 풀이된다.

(2) 방향별 계절별 수분통과량

네 방향에 따른 계절별 수분통과량은 그림 3과 4에 나타내었다. 방향별로 분석하여 보면 동쪽에서 통과하는 수분량은 그림에서 보는 바와 같이 전체의 7%밖에 차지하지 못하나 여름은 겨울에 비하여 수분의 통과량이 약 15배 이상이다. 그리고 수분통과량이 가장 많은 층이 네 계절 모두 900—800mb 층이라는 것이 다른 세 방향과는 달리 특이하다.

서쪽에서 통과하는 수분량은 다른 방향에서 통과하는 양보다 네 계절을 통하여 항상 많았다. 여름에 900—800mb 층에서 최대수분통과량이 있었고 나머지 계절에는 700—600mb 층에서 최대이었다.

남쪽에서 통과하는 수분량도 동쪽에서 통과하는 수분량처럼 1년을 통하여 대부분이 여름철에 통과한다. 즉 여름철에 남쪽에서 올라오는 고온다습한 북태평양 기단의 영향에 편승한 것으로 분석되며, 또한 여름철에 한국 주변을 자주 지나치는 태풍의 영향도 무시할 수 없을 것으로 본다. 그리고 겨울에는 한랭한 시베리아 기단이 한국 전역의 날씨를 지배하고 있으므로 남쪽에서 통과하는 수분량이 극히 적어진다. 수분통과량의 최대값은 여름과 가을에 900—800mb 층에서 나타나고 봄과 겨울은 더 높은 800—700mb 층에서 나타났다. 북쪽에서 통과하는 수분량은 전체적으로 많지는 못

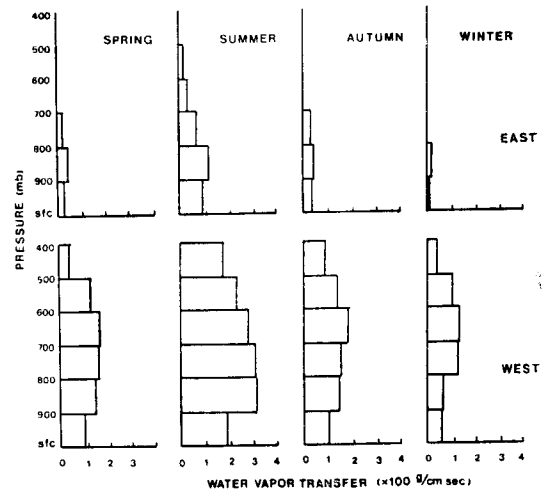


그림 4. 계절에 따른 남북 방향별 수분통과량 (g/cm·sec)

하나 계절에 따라서 심하게 변화하지 않는 것이 특징이다. 즉, 겨울철에 수분의 통과량이 189g/cm·sec이고 여름철에는 299g/cm·sec로서 계절별 변화의 폭이 작다. 그 이유로서 비습이 큰 여름철에는 북쪽에서 불어오는 바람이 매우 약하며 수분의 통과량이 많지 못하다. 한편 겨울철에는 비습이 적은 반면에, 시베리아 기단의 영향으로 북쪽에서 강한 바람이 불어오기 때문에 여름에 비하여 통과량이 크게 떨어지지 않는 것으로 분석된다.

(3) 계절별 방향별 수분통과량

그림 3와 4에서 봄에는, 총 수분의 통과량 1544g/cm·sec 중에서 서쪽에서 통과하는 양이 56%를 차지하고 있고, 남쪽에서 23%, 북쪽에서 16%, 그리고 동쪽에서 5%의 순이다. 동쪽에서 통과하는 수분량을 제외하면 나머지 방향에서 통과하는 양은 800—700mb 또는 700—600mb에서 최대값을 나타내었다.

여름에는 남쪽에서 통과하는 수분량이 37%로 늘어나고, 동쪽에서 통과하는 양이 북쪽에서 통과하는 양보다도 다소 많다. 또 수분 통과량의 최대치는 모두 900—800mb 층에서 나타났다.

가을은 수분통과량이 봄과 유사한 특징을 보이며 겨울은 다른 계절보다 서쪽에서 통과하는 수분량이 매우 큰 비중을 차지하며 북쪽에서 통과하는 양이 남쪽에서 통과하는 양보다 많다. 즉, 전체수분통과량 888g/cm·sec의 66%를 서쪽에서 통과하는 양이 차지하고 21%를 북쪽에서 10%를 남쪽에서 그리고 3%를 동쪽에서 통과하는 수분량이 차지하고 있다.

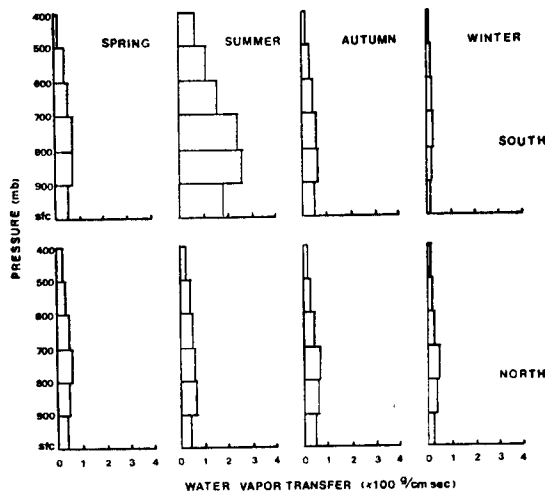


그림 3. 계절에 따른 동서방향별 수분통과량 (g/cm·sec)

표 2. 방향별 수분의 통과량(g/cm·sec)

Layers (mb)	East	West	South	North	Total
400—0	0	31	11	2	44
500—400	1	91	36	19	147
600—500	3	171	55	29	258
700—600	10	187	76	45	318
800—700	30	193	104	61	388
900—800	45	173	109	54	381
sfc—900	41	113	80	42	276
Total	130	959	471	252	1812

또한 전년에 대하여서는 표 2에서와 같이 서쪽에서 통과하는 수분량이 전량 1812g/cm·sec의 53%이었으며 남쪽에서 26%, 북쪽에서 14%, 그리고 동쪽에서 7%의 순으로 각각 나타났다. 그리고 서쪽과 북쪽에서 통과하는 수분량은 800—700mb 층에서 가장 많았고 동쪽과 남쪽에서 통과하는 수분량은 900—800mb 층에서 제일 많았다.

이상과 같이 서쪽에서 통과하는 수분량이 많은 것은 우리나라가 편서풍지대에 속하여 상층에서 서풍이 강

표 3. 오산의 계절별 평균 월 강수량(mm/month)

Year	Spring	Summer	Autumn	Winter
1972	78	361	103	33
1973	69	153	70	26
1974	140	176	42	17
1975	92	154	71	12
1976	44	251	39	42
1977	110	121	93	16
1978	29	285	33	25
1979	135	267	57	26
1980	113	251	49	40
1981	51	272	76	15

하고, 서해바다가 오산에서 가까와 영향을 많이 받는 것으로 풀이된다.

3) 오산의 강수량과 대기수분의 통과량

1972년부터 1982년까지 매년 오산의 강수량을 계절별로 조사하여 표 3에 나타냈다. 이 표에서 각 계절마다 강수량이 가장 많았던 연도와 적었던 연도를 발췌하여, 이 때의 대기수분통과량을 비교 분석하였다.

표 3에 의하면 봄의 월평균 강수량이 140mm 가

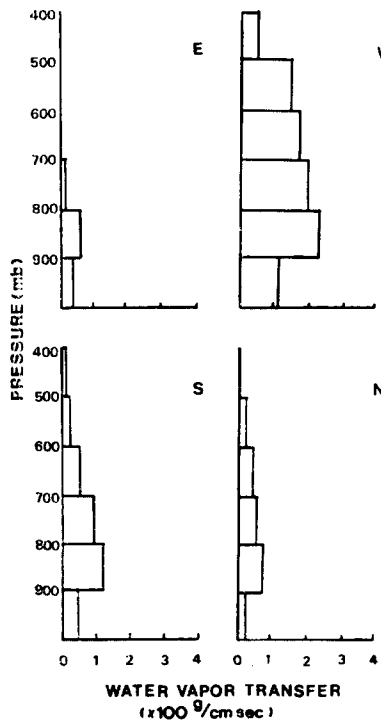


그림 5. 1974년 봄철의 방향별 수분통과량(g/cm·sec)

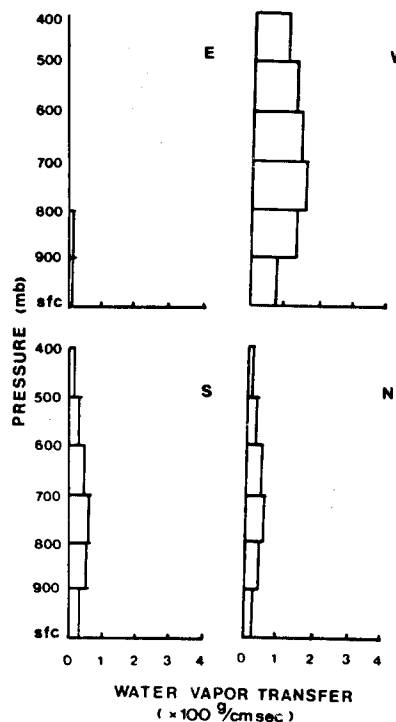


그림 6. 1978년 봄철의 방향별 수분통과량(g/cm·sec)

장 많았던 1974년의 경우 수분의 통과량은 그림 5에서와 같이 네 방향 모두 900—800mb 층에서 최대값을 보였다. 또한 전 기층에 대하여 각 방향별 수분의 통과량은 서쪽에서 1028g/cm·sec, 남쪽에서 517g/cm·sec, 북쪽에서 229g/cm·sec 그리고 동쪽에서 229g/cm·sec 이었다. 그리고 그림 6은 강수량이 29mm로 가장 적었던 1978년 봄의 경우 수분통과량이 800—700mb 층에서 최대로 나타내고 있음을 보여준다. 여름과 가을 그리고 겨울의 경우에도 같은 방법으로 강수량과 수분의 통과량을 조사하였다.

그 결과는 봄의 경우와 유사하여 최다강수량을 보인 계절은 수분통과량의 최대값이 900—800mb 층에 존재하며, 최소강수량을 기록한 계절은 800mb 고도 이상에서 최대값이 나타났다. 이와같이 강수량의 많고 적음에 따라 수분통과량의 최대값을 나타내는 층이 변하였다.

그러나, 연도별 수분의 통과량과 오산의 강수량을 비교하면, 통과량에 비례하여 강수량이 증가하는 것은 아니었다. 따라서, 대기층을 통과하는 수분량이 강수가 되어 지상에 낙하하는 것은 그때의 강수 메카니즘이 더 중요한 것으로 생각된다.

#### 4) 수분이동의 발산량

오산과 포항 및 광주지방의 1979년의 1월과 7월의

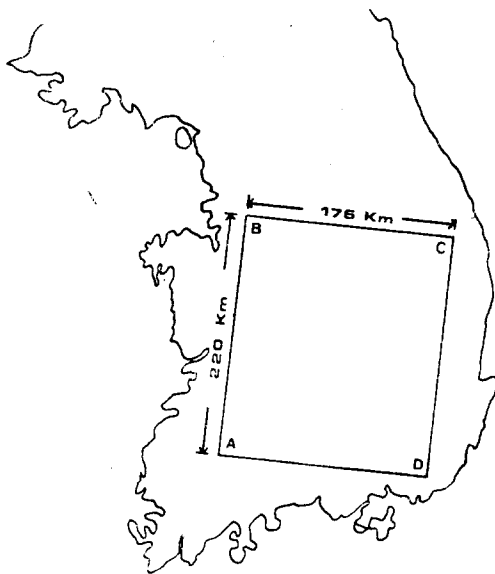


그림 7. 수분이동의 발산량 계산을 위해 설정한 지역

고층기상관측자료를 이용하여 질량의 수평발산(Horizontal divergence)을 각 층마다 구하고 그 층의 평균 비습을 곱하여 수분이동의 발산량을 계산하였다. 이 수분 이동 발산량의 계산은 유입되는 비습과 유출되는 비습이 같다는 가정하에 구하였다.

그 결과는 1월에  $9 \times 10^{-5} \text{g/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 의 양이 발산되었으며, 7월에는  $1.61 \times 10^{-4} \text{g/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 의 양이 수렴되었다. 그러므로 그림 7과 같이, B지점에 위치하고 있는 오산을 포함한 사각형 ABCD의 면적 내에서 1월에는  $3.90 \times 10^{15} \text{g}$ 의 수분이동량이 발산되고 7월에는  $1.62 \times 10^{17} \text{g}$ 의 양이 수렴되었다. 1월에 수분의 발산이 일어난 결과는 대기의 물수지에서 봤을 때 설명하기 곤란하다. 그러나 유입·유출시의 비습이 일정하다는 가정이 모순이거나 또는 강수량보다 증발량이 많을 때는 설명이 가능할 것이다. 따라서 이와같은 결과를 자세히 밝히기 위해서는 더 깊은 연구가 필요하다.

#### 4. 결 론

1972년에서 1981년의 10년동안 고층기상관측자료로 오산을 통과하는 대기수분량을 계산하여 이를 계절별, 층별 그리고 방향별로 분석하였다. 그리고 오산과 포항 및 광주의 고층기상관측자료로부터 수분발산량을 계산하여 남한을 통과하는 대기수분의 유출입관계를 조사하였다.

오산을 통과하는 전 기층의 대기수분량은 연평균 1812g/cm·sec이고 네 계절중에 여름이 3119g/cm·sec로 제일 많다. 방향별 통과량은 서쪽이 가장 많아 전 방향의 53%이고, 그 다음은 남쪽, 북쪽 그리고 동쪽의 순으로 적었다.

층별 수분통과량은 강수량이 적었던 계절에 800mb 고도와 600mb 고도 사이에서 최대값을 나타냈으나, 강수량이 많았던 계절은 주로 900—800mb 층에서 최대이었다. 이와같이 층별 수분통과량은 강수량과 연관이 있음을 알 수 있다.

남한의 대기수분통과량과 수분이동의 발산량을 비교 분석한 결과, 1월에는 전 방향에 대하여 유입량이 유출량보다 적어서 발산이 존재하였으나 7월에는 수렴상태가 발생하였다.

#### 참 고 문 헌

- 공군기상전대, 1976—1981; 항공기상연감.  
김성삼·정창희·이병설·박순웅, 1983; 多雨장마와  
과우장마시 장마전선의 구조적 특징. 한국기상학회

- 지, 제19권, 제 1 호, 12-32.
- 오성남·이태영, 1978; 지포부근의 수분요소와 가강수량과의 관계. 한국기상학회지, 제14권, 제 1 호, 37-46.
- 조희구·이승만, 1982; 대기중의 물자원에 관한 연구. 한국기상학회지, 제18권, 제 2 호, 18-25.
- 중앙기상대, 1977-1981; 고층기상월보.
- 한영호, 1968; 우리나라 중부지방의 가강수량에 관하여. 한국기상학회지, 제 4 권, 제 1 호, 23-30.
- Bellamy, C.J., 1949; Objective calculation of divergence, vertical velocity and vorticity. *Bul. Am. Met. Soc.*, 30, 45-49.
- Benton, G.S., R.T. Blackburn, and V.O. Snead, 1950; The role of atmosphere in the hydrologic cycle. *Trans. AGU* 31, 61-73.
- Benton, G.S., and M.A. Estoque, 1954; Water vapor transfer the North American continent. *J. Meteor.*, 11, 462-476.
- Flohn, H., and H. Oeckel, 1956; Water vapor flux during the summer rains over Japan and Korea. *The Geographical Magazine* 27, 527-532.
- Holzman, B., 1937; Source of moisture for precipitation in the United states. U.S. Dept. Agr. Tech. Bul., No. 589, 41pp.
- Hutchings, J.U., 1961; Water vapor transfer the Australian continent. *J. Meteor.*, 18, 615-634.
- Japan Meteorological Agency, 1972-1976; Monthly upper air data.
- Murakami, T., 1959; The general circulation and water vapor balance over the far east during the rainy season. *Geophys. Mag.*, 29, 131-171.
- Peixoto, T.P., 1970a; Pole to pole divergence of water vapor. *Tellus XXII*, 17-25.
- \_\_\_\_\_, 1970b; Water vapor balance of the atmosphere from five years of hemispheric data. *Nordic Hydrology*, 2, 120-138.
- Starr, V.P., and J.P. Peixoto, 1958; On the global of water balance of water vapor and the hydrology of desert. *Tellus X*, 189-194.
- Starr, V.P., J.P. Peixoto, and A. Crisi, 1965; Hemispheric water balance for the IGY. *Tellus X VII*, 463-472.