

면적우량산정기법의 적용성에 관하여

윤강훈¹⁾, 정수동²⁾, 서병하³⁾

1. 서 론

모든 수문분석에 있어서의 기본이 되는 우리나라의 연평균강수량은 세계 평균치인 730 mm 보다 상당히 많은 것으로 알려져 있으며 그 값은 1,159 mm(건설부, 1963)부터 1,287 mm(허창희, 1988)까지 약 7~8 종류가 제시되고 있다. 그러나 아직까지는 우리나라의 연평균강수량에 대한 공인기준치가 없는 실정이다. 또한 우량계를 사용하여 측정한 우량은 유역면적과는 상관 없이 다만 그 점에서의 지점우량(Point Rainfall)이기 때문에 어느 유역에 있어서의 총강우량을 구하기 위해서는 그 유역을 대표할 수 있는 면적우량 값이 필요하다. 따라서 이와 같은 면적우량자료를 얻기 위해서는 강우량의 지역적인 변화가 반영될 수 있는 적절한 관측망의 설치 운영이 필요하며 또한 관측된 자료를 이용하여 면적우량을 산정하는 면적우량산정기법에 대한 타당성 있는 연구적용이 필요하다.

특정한 유역의 호우사상에 대한 면적우량(Mean Areal Rainfall)은 우량깊이 - 유역면적 간의 관계뿐만 아니라, 치수나 이수계획의 수립을 위한 여러 수문학적 문제를 해결하기 위하여 반드시 필요하며, 강우지속기간을 길게 잡아 월별, 계절별, 연별평균우량을 산정하여야 할 때에도 중요한 의미를 갖는다.

따라서 본 연구에서는 면적우량산정시 중요한 요소이나 지금까지 우리나라의 지형적, 수문기상학적특성에 대한 적절한 검증없이 실무에 적용되어왔던 면적우량산정기법들에 대하여 그 물리적 특성을 분석과약함과 동시에 통계적 검증기법을 적용하여 타당성 있으며 신뢰성 있는 면적우량산정기법을 제시하고자 한다.

2. 관련연구 조사 및 분석

1) 한국건설기술연구원 수자원연구실 선임연구원(공학박사)
1) 한국건설기술연구원 수자원연구실 위촉연구원
2) 한국건설기술연구원 수자원연구실 연구위원(공학박사)

2.1 국외의 연구

면적우량산정기법에 대한 평가는 실제유역에 내린 면적우량의 참값과 각 기법에 의하여 산정된 면적우량을 비교하는 것이 가장 타당성이 있으나, 해당유역에 내린 면적우량의 참값을 구하기란 사실상 불가능하다. 따라서 여러 수문학자들은 다음과 같이 각 기법들간의 상대평가에 의하여 그 타당성을 검증하려 시도하였다.

'Whitmore 등 (1961)'는 남아프리카에 있는 유역면적 2,774 Km²인 지역에 대한 연평균강수량을 구하기 위하여 8 종류의 면적우량산정기법 즉, 단순평균법 (Unweighted Mean Method ; UM), 면적-형태 가중평균법 (Grouped Area-Aspect Weighted Mean ; GAAWM), 티센 다각형법 (Thiessen Polygon Method ; TP), 면적-고도 가중평균법 (Indiv. Area-Altit. Weighted Mean ; IAAWM), 삼각형 가중평균법 (Triangular Area Weighted Mean ; TAWM), 마이어스법 (The Myers Method ; MYER), 등우선도법 (Isohyetal Method ; ISO), 다중회귀분석법 (Multiple Regrsson)등에 대하여 비교검토를 하였다. 그 결과 티센 다각형법, 면적-고도 가중평균법, 삼각형 가중평균법과 등우선도법에 의하여 산정된 면적우량은 거의 유사한 결과를 나타냈으며, 단순평균법과 마이어스법은 앞에서의 방법들 보다 조금은 크나 거의 비슷한 결과를 나타내고 있다고 하였고, 그 중 다중회귀분석법이 여러 기법 중 가장 큰 값을 가지나, 각 기법들에 의해 구해진 결과의 차이는 매우 작다고 하였다.

이외에 다른 연구들도 있지만 대부분 유역이나 강우자료만 다를 뿐, 앞서와 비슷한 연구방법으로 각 기법들 간의 차이점을 비교하였다. 이들 연구는 지형학적으로 다른 몇개의 유역 또는 한 유역에서의 여러 강우사상별 지점강우량자료를 각 기법들에 입력한 후, 계산된 각 면적우량간의 상호비교를 주로 연구하고 있다.

2.2 국내의 연구

면적우량 산정기법에 대한 국내의 연구는 수문학의 다른분야에 비하여 비교적 저조한 편이며, 1960년대에 들어와 비로서 관심을 갖기 시작하였다.

'조희구(1970, 1978)'는 우리나라의 호우에 대하여 면적에 대한 강우 지속시간 (DAD), 즉 강우강도를 분석하고 관측소별로 우량의 상관도를 조사한 바 있으며, '중앙기상대(1972)'에서는 1931~1960년 사이의 12개 측후소 자료로 산술평균법과 티센 다각형법으로 면적우량을 구하고 증발량도 산출하여 월별로 비교한 바 있다. 또한 '정문교 등(1981)'은 전국 주요지점에 대한 월별, 계절별 및 연우량의 지점 및 지역빈도해석을 실시하는 데 있어서 티센 다각형법 보다는 등우선도법이 보다 합리적인 면적우량산정기법이라고 하였으며, '이병설과 홍성기(1982)'는 1921~1980년 사이 60년간

의 전국 우량관측소 자료를 사용하여 등우선도법에 의해 연평균 면적강우량을 구하였다.

‘기상연구소(1985)’는 산술평균법과 티센 다각형법, 등우선도법등을 사용하여 연평균 면적강우량을 구하여 상대비교를 하였으며, ‘김승과 김규호(1989)’는 산술평균법과 티센 다각형법등을 사용하여 연평균 면적우량을 산정하였다.

이외에 다른 연구들도 있지만 대부분 외국에서의 연구와 마찬가지로 유역이나 강우자료만 다를 뿐, 앞서서와 비슷한 연구방법으로 각 기법들에 의한 결과간의 차이점을 비교하였으며, 면적우량산정기법자체의 적용성 및 신뢰도에 관한 연구는 나타나고 있지 않다.

3. 면적우량 산정기법

유역에 내리는 강우의 공간적 분포에 영향을 미치는 요인들은 대단히 많으며 (Spreen, 1947; McCormick, 1949; Burns, 1953), 관측망은 강우의 최적분포에 맞추어 설계되어야 한다. 본 연구에서 다루어지는 면적우량산정기법은 여러종류이지만 (Whitmore 등, 1961; Rainbird, 1967; Chang 와 Lee, 1975; Hall 와 Barclay, 1975; V.P. Singh 와 Birsoy, 1975a, 1975b; Mather, 1976; Aron 등 1979; Simanton 과 Osborn, 1980; Allerup 등 1982; Chua 와 Bras, 1982; de Montmollin 등 1980), 대상유역에 내린 강우의 총량을 정확히 알 수 없기 때문에 강우의 분포를 정확하게 표현하는 기법은 현실적으로 제시가 불가능하다. 그러나 각각의 기법에 대한 적합성판단은 현재의 수문학적 지식과 통계학적 기법을 적용하여 분석하면 학술적으로 타당성있는 판단을 할 수 있다.

면적우량의 산정에 있어서 유역표면의 강우량 r 은 격자좌표 (x, y) 의 함수 $r(x, y)$ 로 표현할 수 있다. 따라서 면적

우량은 유역면적 A 에서 강우량 $r(x, y)$ 의 평균값 \bar{R} 를 구하는 것으로 나타낼 수 있다.

여기서 \bar{R} 는,

$$\bar{R} = \frac{\int_A r(x, y) \, dx dy}{\int_A dx dy} \quad (3.1)$$

이며, 함수 $r(x, y)$ 는 미지수이다. 그러므로 이 함수의 근사값은 관측기가 위치하는 지점 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , -----, (x_n, y_n) 에서 관측된 지점우량 $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ 으로부터 얻을 수 있다.

일반적으로 면적우량 \bar{R} 는,

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^N w_i r_i \quad (3.2)$$

여기서 N : 관측소의 수, w_i : i 번째 관측소에 주어지는 가중

값, r_i : i 번째 관측소에서 관측된 강우량이며, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

이므로 $0 \leq w_i \leq 1$, $i=1, 2, \dots, N$ 이 된다. 다음에 거론하고자 하는 방법들 중 몇몇은 단지 거리만의 함수로서 (Salter : 1972) 가중값을 주는 방법과, 상관함수로서 (Gandin : 1970) 가중값을 주는 방법이 있는데, 전자는 보간오차에 대해 논할 수 없으나 후자는 상관함수로 부터 보간오차를 유도해 낼 수가 있음을 알 수 있다. 참고로 표 1에 이들 방법에 대한 근거자료들을 요약해 놓았다.

표 1 각 기법별 근거자료

기 법	근 거 자 료
UM	Wilm et al. (1939); Butler (1957); Linsley et al. (1958) Whitmore et al. (1961); Rainbird (1967); V. P. Singh and Birsoy (1975a, b)
GAAWM TP	Whitmore et al. (1961); V. P. Singh and Birsoy (1975a, b) Thiessen (1911); Butler (1957); Linsley et al. (1958); Whitmore et al. (1961); Gilman (1964); Bruce and Clark (1966); Rainbird (1967); Hutchinson (1969); Diskin (1969, 1970); Shih and Hamrick (1974, 1975); Allerup (1982); Allerup et al. (1982, 1983)
IAAWM	Whitmore et al. (1961); V. P. Singh and Birsoy (1975a, 1975b)
TAWM	Whitmore et al. (1961); V. P. Singh and Birsoy (1975a, 1975b)
MYER	Myers (1959); Whitmore et al. (1961); V. P. Singh and Birsoy (1975a, 1975b)
ISO	Reed and Kincer (1917); Butler (1957); Linsley et al. (1958); Whitmore et al. (1961); Peck and Brown (1962); Gilman (1964); Bruce and Clark (1966); Rainbird (1967); Diskin and Davis (1970); Salter (1972); V. P. Singh and birsoy (1975a, 1975b); Shearman and Salter (1975)
RDS	McGuinness and Harrold (1965); Solomon et al. (1968); Brooks and McWhorter (1963); Pentland and Cuthbert (1971); Wei and McGuinness (1973); V. P. Singh and Birsoy (1975a, 1975b); Dean and Snyder (1977); Simanton and Osborn (1980)
TA	Bethlahmy (1976)
MP	Pande and Al-Mashidani (1978)
FE	Akin (1971); Hutchinson and Walley (1972)
KG	Rodriguez-Iturbe and Mejia (1974); Bras and Rodriguez- Iturbe (1976a, 1976b); Rodrigue-Iturbe (1977); deMontmollen et al. (1980); Chua and Bras (1982)

4. 분석 및 고찰

면적우량산정기법들의 타당성 및 신뢰성을 파악할 수 있는 가장 확실한 방법은 유역에 내린 실제 면적우량의 참값과 면적우량산정기법들에 의하여 산정된 값들을 비교하는 것이다. 그러나 유역에 내린 면적우량의 참값을 알기란 사실상 불가능하다. 따라서 많은 학자들이 (Whitmore 등, 1961 ; V. P. Singh 와 Y ksel, K. Birsoy, 1975 ; V. P. Singh 와 Chowdhury, 1986 등) 면적우량산정기법의 신뢰성에 대한 검토방법들을 연구, 제안하였다. 이들 연구는 지형학적으로 다른 몇개의 유역 또는 한 유역에서의 여러 강우사상별 지점우량자료를 각 기법들에 입력한 후, 계산된 각 면적우량간의 상호비교를 주로 연구하고 있다.

본 연구에서는 지금까지 제시된 13 종류의 면적우량산정기법 즉, 단순평균법 (Unweighted Mean Method ; UM), 면적-형태 가중평균법 (Grouped Area-Aspect Weighted Mean ; GAAWM), 티센 다각형법 (Thiessen Polygon Method ; TP), 면적-고도 가중평균법 (Indiv. Area-Altit. Weighted Mean ; IAAWM), 삼각형 가중평균법 (Triangular Area Weighted Mean ; TAWM), 마이어스법 (The Myers Method ; MYER), 등우선도법 (Isohyetal Method ; ISO), RDS법 (Reciprocal Distance Squared Method ; RDS), 이축법 (Two-Axis Method ; TA), 수정된 다각형법 (Modified Polygon Method ; MP), 유한요소법 (Finite Element Method ; FEM), 크리징법 (Kriging Method), 거리반비례법 (Inverse Distance Method) 등에 대하여 그 논리적 근거와 물리적 의미를 파악한 후, 그를 바탕으로 비교적 우량자료가 신뢰성 있으며 관측밀도가 높은 한강유역과 그 지류인 평창강유역에 각 기법들을 적용하여 면적우량을 산정하였다. 산정된 면적우량에 대한 타당성을 검증하기 위하여 기법상호간의 값을 비교검토하여 상대평가를 하였으며, 상대평가로는 알 수 없는 각 기법들의 신뢰성, 타당성, 적합성등을 알기 위하여 지금까지 국내에서 시도된 바 없는, 관측소의 밀도변화에 따른 변동계수(Coefficient of Variation ; Cv)의 변화를 분석하는 통계학적 기법을 적용하였다.

상기의 13 종류의 면적우량산정기법을 변동계수를 이용한 통계적 분석에 적용하기 위하여는 무작위로 관측소의 밀도를 감소시켜야 하므로 그 경우의 수가 각 기법당 $({}^nC_3 + {}^nC_4 + \dots + {}^nC_{n-1})$ 개가 된다. 따라서 전산화가 곤란하거나, 많은 수작업이 필요한 기법은 통계적분석대상에서 제외 하였다. 즉, 면적-형태 가중평균법과 면적-고도 가중평균법 그리고 마이어스법, 수정된 다각형법은 각 경우마다 유역내의 고도별 면적산정과 작도 그리고 고도계수 (Elevation Factor) 산정과 유역의 도심선정등의 문제 때문에, RDS 법은 거리반비례법과 같은 원리이고 등우선법은 주관에 의하여 등우선을 작성하여야 하기 때문에 제외 하였다.

4.1 대상유역 및 자료

본 연구의 적용 대상유역으로 비교적 우량자료가 신뢰성있게 축적되어 있고 관측소의 밀도가 조밀한, 한강유역전체와 그 지류로 1982년도부터 국제수문개발계획(International Hydrological Program : IHP)에 의하여 집중적으로 수문과정을 연구하고 있는 평창강 유역을 택하였다.

면적우량산정기법간의 상대평가에 사용한 한강유역의 우량자료는 비교적 최근 자료인 1990년 9월 10일 22시 부터 9월 11일 05시 까지의 T/M 동시우량자료이다.

다음으로 관측소밀도변화에 따른 변동계수(Coefficient of Variation ; Cv)의 변화는 평창강유역을 대상으로하여 분석하였다. 대상유역을 앞에서와 달리한 것은 한강유역전체를 그 대상으로 할 경우 관측소의 무작위 추출시 관측소가 65개소 이므로 경우의 수는 $({}_{65}C_3 + {}_{65}C_4 + \dots + {}_{65}C_{65-1})$ 의 엄청난 수가 되기 때문이다. 따라서 비교적 소유역이며 우량관측소의 밀도가 높은 평창강유역을 대상유역으로 택하였다.

우량관측소는 총 11개소가 1982년도부터 설치운영중에 있으며, 본 연구에서는 해당유역내에 위치한 9개 관측소자료를 이용하였다. 따라서 우량관측소 1개소당 평균지배면적은 약 58 km²이다. 우량자료는 국제수문개발계획(IHP) 대표유역수문자료집(건설부, 1989)에 수록되어 있는 1982년부터 1989년 까지의 총 18개 호우사상 중에서 관측소간 우량편차가 비교적 적은 1988년 7월 9일 04시부터 1988년 7월 10일 02시 까지의 호우사상을 택하여 각 면적우량산정기법들에 적용하여 분석하였다.

4.2 기법별 면적우량의 산정

면적우량산정기법간의 상대적 차이점을 알기위하여 각 기법별로 기존의 전산프로그램들이 있는 것은 그것을 입수한 후 변환하여 사용하였으며, 개발되어 있지 않거나, 입수가 곤란한 것은 직접 전산프로그램을 개발하여 사용하였다. 즉, 티센 다각형법과 크리징법, 거리반비례법은 'G. Q. Tabios III 와 J. D. Salas (1985)'에 의해 개발된 전산프로그램을 변환하여 사용하였으며, 유한요소법은 'I. E. Akin (1971년)'이 개발한 것을 참고하여 전산프로그램을 개발하였다. 단, 최소곡률법은 실용프로그램인 'SURFER'를 사용하였다.

한강유역의 1990년 9월 10일 22시 부터 9월 11일 05시 까지의 T/M 동시우량을 단순평균법, 티센다각형법, 삼각형 가중평균법, 이측법, 유한요소법, 크리징법, 거리반비례법, 최소곡률법등에 입력하여 산정된 면적우량값은 표 2와 같다.

앞서의 결과를 종합한 그림 1을 보면 처음 3개 시우량자료에 의한 각 기법별 면적우량은 거리반비례법, 이측법, 단순평균법, 유한요소법, 삼각형 가중평균법, 크리징법, 최소곡률법의 순으로 낮아지나, 그 외의 시우량자료에 의한 기법별 면적우량은 특정경향이 없는 것으로 나타나고 있다.

표 2 한강유역 시자료에 의한 기법별 면적우량
(1990년 9월 10일 22:00 ~ 9월 11일 05:00
(단위 mm))

시간 기법	22:00	23:00	24:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	합 계
UM	14.09	13.63	12.25	12.02	10.06	10.78	10.86	10.51	94.20
TP	12.95	12.60	10.98	9.31	8.76	8.99	9.62	9.12	82.33
TAWM	12.73	11.89	9.44	9.91	10.52	8.72	10.34	10.23	83.78
TA	14.87	14.27	12.53	11.77	10.73	10.94	11.17	10.39	96.67
FEM	12.74	11.89	9.44	9.91	10.51	8.72	10.34	10.23	83.78
KG	12.31	10.76	8.38	10.94	10.94	8.08	9.68	10.28	81.37
ID	15.33	13.99	12.38	12.40	11.64	10.91	11.90	11.40	99.95
MC	10.84	9.36	8.21	8.21	10.82	8.21	9.78	10.45	75.88
평균	13.23	12.30	10.45	10.56	10.50	9.42	10.46	10.33	87.25
표준편차	1.46	1.69	1.81	1.47	0.83	1.24	0.81	0.62	8.54
변동계수	11%	14%	17%	14%	8%	13%	8%	6%	10%

그러나 사용된 8 개 시자료에 의한 결과를 전체적으로 보았을 때 거리반비례법, 이측법, 단순 평균법순으로 큰 값을 나타내고 있고, 삼각형 가중평균법, 유한요소법, 티센다각형법, 크리징법은 중간값을 나타내며, 최소곡률법이 가장 작은 값을 갖는 것으로 나타났다.

또한 각 시우량별 면적우량의 변동계수가 6 % 부터 17 % 까지로 나타나, 지점자료의 분포에 따라 각 기법별 면적우량의 변동양태가 거의 3 배의 차이가 있었다. 이는 각 면적우량산정기법간의 개념차에 의한 것으로서 강우가 고르게 분포되어 있을 경우 기법상 가장 초보적인 단순평균법과 대단히 정교한 크리징법 사이에 큰 값 차이가 나타나지 않으나, 공간적으로 복잡한 강우양태가 입력 될 경우 그 현상을 충분히 해석해 내는데는 기법에 따라 큰 차이가 나기 때문이다.

4.3 관측소의 밀도 변화

앞 장에서는 면적우량산정기법간의 상대적 차이를 알기 위하여 기법상호간의 면적우량에 대하여 상대평가를 하였으나, 여기서는 상대평가로는 알 수 없는 각 기법들의 신뢰성, 타당성, 적합성 등을 알기 위하여 관측소의 밀도변화에 따른 변동계수(Coefficient of Variation ; Cv)의 변화를 분석하였다.

면적우량산정의 신뢰성에 관한 연구들(R. K. Linsley 와 M. A. Kohler, 1951 ; F. A. Huff 와 J. C. Neill, 1957 ; E. U. Nwa, 1977)에 의하면 관측소 밀도변화시 그에 따른 면적우량의 변동이 적

은 기법이 그렇지 않은 기법보다 상대적으로 신뢰성이 높은 기법이라 하였으며, 이러한 변동성향을 객관적으로 평가하기 위하여 통계적기법의 적용이 필요하다 하였다.

4. 3. 1 변동계수(Cv)의 적용

만약 각 자료에 포함된 관측치들이 동일한 단위로 표시되어 있고 또 그들의 평균이 거의 같다면 그들간의 변동양태는 그들 각각의 분산 또는 표준편차를 사용하여 쉽게 비교를 할 수 있다. 그러나 이상의 조건이 만족되지 않는 경우에는 분산의 상대적 측정치에 의존할 수 밖에 없다. 분산의 상대적 측정치로는 범위계수(Coefficient of Range ; Cr), 평균편차계수(Coefficient of Average Deviation ; Cad), 사분위 편차계수(Coefficient of Quartile Deviation ; Cqd)와 변동계수(Coefficient of Variation ; Cv)가 있으며 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Cr = \frac{\text{범 위}}{(\text{하한치} + \text{상한치})/2}$$

$$Cad = \frac{\text{평균편차}}{\text{평균(또는 중위수)}}$$

$$Cqd = \frac{\text{사분위 편차}}{(Q_1 + Q_3)/2}$$

$$Cv = \frac{\text{표준편차}}{\text{평균}}$$

여기서 범위(Range)는 가장 단순한 분산도의 측정치로서, 자료속에 포함된 수치들 중 가장 작은 값과 가장 큰 값의 차이이다. dots분포의 경우에는 가장 큰 계급영역과 가장 작은 계급영역 사이의 차, 또는 첫번째 계급의 계급점과 맨 끝 계급의 계급점 사이의 차를 말한다. Q_1 은 제 1 사분위수(First Quartile), Q_3 은 제 3 사분위수(Third Quartile)이다. 분산의 상대적 측정치로서 가장 많이 사용되는 것은 변동계수(Coefficient of Variation)이다(유지성, 1985).

4. 3. 2 기법별 변동계수(Cv)의 산정

평창강유역의 9개 관측소 중 무작위로 8, 7, 6, 5, 4, 3 개의 관측소를 택할 경우의 수는 465 개로서, 그 465 경우의 관측망에 대해 각 면적우량산정기법별로 면적우량을 산정하였다. 여기서 최

소관측소 수를 3개 관측소로 한 이유는 티센다각형법, 삼각형 가중평균법, 유한요소법은 관측소가 3개 미만이면 사용할 수 없기 때문이다.

우량관측소의 밀도감소에 따른 면적우량값의 변동을 파악하기 위하여 변동계수를 다음과 같이 구하였다. 즉, 각 면적우량산정기법별로 관측소의 밀도를 무작위로 변화시킨 후, 변화된 각 경우 별로 면적우량을 각각의 면적우량산정기법에 의하여 산정하였다.

그와 같이 산정된 각 경우의 면적우량값과 기준면적우량값 - 관측소의 밀도가 가장 높은 (여기서는 9 개소) 상태에서 산정된 면적우량값 - 과의 차이 (Difference Value : D_v) 를 구하여, 관측소 밀도별로 평균한 것을 그림으로 나타내었다(표 3). 단, 삼각형 가중평균법(TAWM)과 유한요소법(FEM), RDS법과 거리반전법(ID) 은 그 원리와 결과가 거의 비슷하므로 유한요소법과 거리반전법만을 표시하였으며 삼각형 가중평균법과 RDS 법은 그림에서 생략하였다. 그림 2에서 보는 바와 같이 최소곡률법은 관측밀도가 낮을 경우, 9 개 관측소에 의하여 구한 면적우량과 큰 차이를 보이고

표 3 관측망 밀도에 따른 평균 D_v 값
(단위 mm)

기법 관측소수	UM	TP	TAWM	TA	FEM	KG	ID	MC
3	4.08	4.09	4.10	4.34	4.08	3.92	3.89	6.03
4	3.12	3.28	3.52	3.31	3.52	3.44	3.02	5.72
5	2.52	2.77	3.42	2.64	3.41	2.83	2.41	4.56
6	2.02	2.28	3.16	2.15	3.13	2.28	1.96	3.21
7	1.55	1.66	2.44	1.66	2.45	1.71	1.61	2.20
8	0.94	1.22	2.75	0.98	2.75	1.05	0.93	1.16
평균	2.37	2.55	3.23	2.51	3.22	2.54	2.30	3.81
표준편차	1.13	1.05	0.59	1.20	0.58	1.07	1.05	1.96
변동계수	48%	41%	18%	48%	18%	42%	46%	51%

표 4 D_v 값에 대한 기법별 회귀분석 결과

$$Y = a + bX$$

기법 관측소수	UM	TP	TAWM	TA	FEM	KG	ID	MC
R^2	0.99	0.98	0.73	0.99	0.73	0.99	0.98	0.99
a	5.88	5.94	5.92	6.15	5.92	5.96	5.54	9.60
b	-0.63	-0.62	-0.53	-0.67	-0.53	-0.63	-0.57	-1.06

있며 관측밀도가 높아짐에 따라 Dv 값이 급격히 줄어들음을 알 수 있다. 유한요소법(또는 삼각형 가중평균법)은 관측소의 밀도 감소에 대하여 Dv 값 변동이 그리 크지 않아 적용성이 양호한 듯 보이나, 관측소의 밀도가 높은(8~6개소) 경우에도 Dv 값이 상당히 크기 때문에 신뢰도가 떨어진다.

나머지 방법들 중에서 최소곡률법을 제외한 단순평균법과 티센 다각형법, 이측법, 크리징법, 거리반전법등은 관측소 밀도감소에 따른 Dv 값의 변화 경향이 거의 유사한 형태로 나타나고 있다.

한편 관측소 밀도감소에 따른 Dv 값의 변화와 관측소의 무작위감소에 따른 변동계수를 선형 회귀직선으로 표시한 그림 3에 의하면 최소곡률법은 관측소 밀도감소에 따른 Dv 값의 변화가 가장 급격히 나타나 적용성이 가장 떨어지는 것으로 나타나고 있으며 계산 방법이 가장 간편한 단순평균법부터 대단히 정교한 크리징법까지 그 경향에 그리 큰 차이가 없는 것으로 나타나고 있다.

표 4의 회귀직선식들에 의하면 유한요소법(또는 삼각형 가중평균법)만 결정계수(Coefficient of Determination ; R^2)가 0.73 으로 비교적 직선회귀성향이 떨어져, 값들이 산란되어 있는 것으로 나타났으며, 그 외의 각 기법들은 R^2 값이 0.98 이상인 아주 양호한 직선회귀식을 갖는 것으로 나타났다. 각 기법별 회귀식들의 기울기는 최소곡률법이 - 1.06 으로 다른 기법들에 비하여 크게 차이가 나고 있으며, 그 외의 각 기법들은 기울기가 -0.6 ± 0.07 인 아주 유사한 기울기를 갖는 것으로 나타났다.

관측소의 밀도감소에 따른 Dv 값의 변동성향을 알기 위하여 각 관측소 갯수별 평균 Dv 값에 대한 변동계수(C_v)를 알아본 결과 FEM법(또는 TAWM법)이 18 % 로 가장 변동계수가 적게 나타났으며 최소곡률법이 51 % 로 가장 크게 나타났다(표 3, 그림 4).

5. 결 론

본 연구에서는 면적우량산정시 중요한 요소이나 지금까지 우리나라의 지형적, 수문기상학적특성에 대한 적절한 검증없이 실무에 적용되어왔던 면적우량산정기법들에 대하여 그 물리적특성을 분석과악합과 동시에 통계적 검증기법을 적용하여 타당성 있으며 신뢰성 있는 면적우량산정기법을 제시하고자 하였다.

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 우량관측소의 밀도가 약 400 Km² 로 낮을 경우, 강우양태가 공간적으로 복잡함과 평활함과에 따라 동일한 면적우량산정기법들로 산정된 면적우량값이라도 약 3배의 큰 변동계수차를 갖는다. 즉, 공간적으로 균등한 강우일 경우 각 면적우량산정기법에 따라 산정된 면적우량값들 사이에 큰 차이가 없으나, 공간적으로 복잡한 강우의 경우는 그 적용기법에 따라 면적우량값간의 편차가 균등한 강우에 비해 최대 3배 정도 크게 나타나므로 면적우량산정기법의 선정에 신중을 기하

여야 한다.

- 2) Dv 값에 의한 비교에서, 최소곡률법은 관측밀도가 낮을 경우 기준면적우량값과 큰 차이를 보이고 있어 그의 적용에 신중하여야 한다.
- 3) 유한요소법(또는 삼각형 가중평균법)은 관측소밀도의 감소에 대한 Dv 값 변동이 그리 크지 않아 적용성이 양호한 듯보이나, 관측소의 밀도가 높은 경우에도 기준면적우량값과의 Dv 값 차이가 상당히 크기 때문에 그의 적용에 신중하여야 한다.
- 4) 면적우량산정시 우량관측소의 밀도가 높을 경우(1 개소당 지배면적이 65 Km² 부터 170 Km² 정도)는 단순평균법과 티센 다각형법, 이측법, 크리징법, 거리반전법 (또는 RDS법) 사이에 유의할 만큼의 큰차이가 없으며 특히, 가장 간단한 단순평균법과 가장 정교한 크리징법사이에도 유사한 결과가 나타난다. 따라서 우량관측소의 밀도가 높고 신속한 계산이 필요할 경우 단순평균법의 사용을 추천한다.

참 고 문 헌

- Allerup, P., Madsen, H., and Riis, J., "Methods for Calculation Areal Precipitation-Applied to Susa Catchment," Nordic Hydrology, Vol. 13, PP. 263-278, 1982.
- Court, A., and Bard, M. T., "Basin Precipitation Estimates by Bethlahmy's Two-Axis Method," Journal of Hydrology, Vol. 68, PP. 149-158, 1984.
- Dean, J. D., and Snyder, W. M., "Temporally and Areally Distributed Rainfall," Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers 103(IR2), PP. 221-229, 1977.
- English, E. J., "An Objective Method of Calculating Areal Rainfall," Meteo, Magazine, Vol. 102, PP. 292-298, 1973.
- Gambolati, G., and Volpi, G., "A Conceptual Deterministic Analysis of the Kriging Technique in Hydrology," Water Resources Research, Vol. 15, No. 3, PP. 625-629, 1979.
- Whitmore, J. S., Van Efden, F. J., Harvey, K. J., "Assessment of Average Annual Rainfall over Large Catchments," Inter-African Conference on Hydrology, C.C.T.A. Publication 66, PP. 100-107, 1961.
- de Montmollin, F. A., Olivier, R. J., Simard, R. G., and Zwahlen, F., "Evaluation of a Precipitation Map Using a Smoothed Elevation-Precipitation Relationship and Optimal Estimates (Kriging)," Nordic Hydrology, Vol. 11, PP. 113-120, 1980.

건설부, "국제수문개발계획(IHP)," 1989

건설부, "한국수문조사년보," 1963.

기상연구소, "면적강수량 산정을 위한 강수관측계에 관한 연구," 1985.

김승과 김규호, "한국 연평균 강수량의 추정," 수공학 논총, Vol. 31, PP. 5-16, 1989.

유지성, "통계학" 회중당, 1983.

이병설과 홍성기, "면적강수량 산정을 위한 기존 강수량 자료의 검토," 한국 기상학회지, Vol. 18, No. 2, PP. 1-10, 1982.

정문교 등, "한국 면적강수량 산정에 관한 연구," 한국수문학회지, Vol. 14, No. 4, PP. 36-52, 1981.

조희구, "남한의 지역간·계절간 강수량의 특성," 한국 기상학회지, Vol. 11, PP. 62-69, 1978.

조희구, "우리나라의 호우의 최대 DAD 분석," 한국 기상학회지, Vol. 6, PP. 79-82, 1970.

중앙기상대, "수자원 개발을 위한 금강 유역의 수문기상학적 연구," PP. 142, 1972.

허창희, "한국지역 강수의 변동성에 관한 연구," 한국 기상학회지, Vol. 24, No. 1, PP. 38-48, 1988.