한 국 방 재 학 회 논 문 집
제9권 2호 2009년 4월
pp. 77 ~ 85

감천유역에 대한 강우양상 발생 영향인자의 규명 및 해석

Identification of Factors Affecting the Occurrence of Temporal Patterns of Rainfall in Gamcheon Watershed

안기홍* · 조완희** · 한건연***
Ahn, Ki Hong · Cho, Wan Hee · Han, Kun Yeun

Abstract

In South Korea, seasonal, local and temporal climatic characteristics are variable in rainfall patterns. To design or assess the reliability of hydrosystem, information about the rainfall event under consideration is important. In this process, the complete description of a design storm involves the specification of rainfall duration, depth, and its temporal pattern. Generally, to use an appropriate temporal pattern for a design storm is of great importance in the design and evaluation of hydrological safety for hydrosystem. For purpose of selecting of factors affecting the occurrence of rainfall patterns, Huff's dimensionless method was executed and examined by statistical contingency tables analysis through which the inter-dependence of the occurrence frequency of rainfall patterns with respect to geographical location, rainfall duration and depth, and seasonality is investigated. This analysis result can be used to establish flood policies and to design or assess the reliability of hydrosystem.

Key words **:** Rainfall pattern, Cluster analysis, Contingency table, Gamcheon Watershed

요 지

우리나라는 기후의 계절적 변화가 뚜렷하며 지역별 시간에 따른 강우발생의 특성이 다양하다. 이러한 계절적, 지역적 강우특성의 반영은 수공구조물의 설계 및 안정성 평가 시 매우 중요하다. 이때 설계 강우량의 선정을 위해 적절한 강우 지속시간, 강우량, 그리고 시간에 따른 강우양상을 결정해야 한다. 일반적으로 수공구조물의 설계 및 신뢰도 평가 시 설계강우에 대한 시간적 강우양상의 결정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 강우사상을 분리하여 각 강우사상의 무차원화를 실시하였고 이를 4가지 양상으로 구분하여 감천유역의 시간에 따른 강우발생에 영향을 주는 인자를 규명하고자 하였다. 이 분석은 강우관측소의 지리학적 위치, 강우량, 강우 지속시간, 계절, 태풍 및 장마, 건·우기에 관련된 시간에 따른 강우양상의 발생빈도의 상관관계를 통한 분할표에 의한 군집분석을 통해 실시되었다. 본 연구를 통해 해당 지역에 대한 시간에 따른 강우양상 발생의 영향인자를 파악할 수 있으며 이는 결국 수공구조물의 설계 및 평가뿐 만 아니라 유역의 홍수대책수립 시 매우 중요한 사전자료로 활용될 수 있다.

핵심용어 : 강우양상, 군집분석, 분할표, 감천유역

1. 서 론

우리나라는 기후의 계절적 변화가 뚜렷하며 산지와 평지가 혼재되어 지형의 공간적 특성이 상이하다. 그리고 강우량은 여름철에 집중되는 장마와 태풍에 주로 지배되는 양상이고 최근 들어서는 장마의 시기가 모호해져 건·우기 개념 도입의 필요성이 증대하고 있다. 또한 국부적 호우발생의 증대로 지역별 강우발생 특성이 상이하다. 이러한 강우발생의 시·공간적 특성에 대한 이해는 강우발생으로부터 기인하는 하천수공구조물의 붕괴 및 안정성 평가에 대한 사전지식의 일환으로 그 중요성이 매우 크다. 예를 들어 댐 안전도 평가의 경우 특정 빈도에 대한 설계 유입 수문곡선은 설계 강우사상과 적절한 강우-유출모형의 조합을 통해 산정된다. 결국 수공구조물의 설계와 분석에 있어 강우사상의 특성의 반영은 매우 중요하다. 이러한 강우사상의 특성에는 강우량, 강우 지속시간, 강우강도, 강우 발생 시기, 강우관측소의 위치 등으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 군집분석(cluster analysis)을 통해 강우의 시간적 양상에 영향을 미치는 인자를 규명해 보고자 하였다.

군집분석은 개체들의 유사성에 입각하여 집단 내의 유사성은 가능한 한 높게, 집단 간 유사성은 가능한 한 낮도록 군집화하여 많은 변수들과 내부 구조를 가지고 있는 대량의 복잡한 데이터를 분석함에 있어 사전에 지식을 가지고 있지 않을 때 사전 적용된다. 이를 통해 숨겨진 구조를 파악하고 이

*정회원 · 한국수자원공사 댐·유역관리처 공동연구원 (E-mail : khahn@kwater.or.kr)
**정회원 · 경북대학교 공과대학 토목공학과 박사과정
***정회원 · 경북대학교 공과대학 토목공학과 교수

해를 도모할 수 있도록 하고 추가적인 교사학습(supervised learning)을 위한 기초자료를 제공한다. 이는 국내에서 주로 통계학이나 정보처리학, 비즈니스 분야 등에 적용되고 있다.

일반적으로 군집분석에는 K-평균법과 Ward법이 사용되는데 Fang과 Tung(1996)은 K-평균법과 Ward법, 그 외의 방법들을 비교하여 사용방법별 차이는 미미함을 연구한바 있다. 또한, Ramos(2001)는 K-평균법이 관측치를 분류하기에 유용함을 밝혔다. 그 결과 본 연구에서는 K-평균법을 이용하여 연구유역의 강우사상을 유역의 시간적 강우양상을 대표할 수 있는 유형별로 분류하였다.

본 연구에서는 감천유역에 대한 공학적 관점에서의 적정 강우양상의 선정을 위한 사전작업으로 강우 양상 발생에 영향을 주는 요소를 조사하였다. 이 조사는 강우관측소의 지리학적 위치, 강우량, 강우 지속시간, 계절 등에 관련된 강우양상의 발생빈도와의 상관관계를 통한 분할표에 의해 실시되었다.

2. 강우발생 영향인자 분석

2.1 군집분석

강우발생에 영향을 미치는 인자를 규명해 내기 위해 본 연구에서는 분할표를 통한 군집분석을 사용하였다. 군집분석(cluster analysis)이란 각 객체(대상)의 유사성을 측정하여 유사성이 높은 대상 집단을 분류하고, 군집에 속한 객체들의 유사성과 서로 다른 군집에 속한 객체간의 상이성을 규명하는 통계분석방법이다. 대상들을 분류하기 위한 명확한 기준이 존재하지 않거나 기준이 밝혀지지 않은 상태에서 다양한 특성을 지닌 대상자들을 집단으로 분류하는 데 사용되는 기법이다.

군집분석을 위해 각각을 상호 배반(mutually exclusive) 집단으로 나누면 그 집단 안은 비슷한 특성을 갖게 되지만 다른 집단 간은 상이한 특성을 가지게 된다. 그리고 분석에 사용되는 속성의 크기효과를 제거하기 위해 평균이 1이고 표준편차가 0인 정규분포화를 실시하게 된다.

이러한 군집분석을 위해 분할표를 활용하게 되는데, 군집분석을 이용하여 통계적 의사결정을 할 때 가장 큰 문제가 군집수를 몇 개로 할 것인가 하는 점이다. 군집수의 결정은 여러 학자들이 주장하고는 있지만 정확한 결론은 아직 내려지지 않은 상황이다. 따라서 연구자의 주관에 따라 군집수가 달라질 수 있다.

예를 들어, 변수 I과 변수 II의 관계에 대한 통계적 가설검정을 위해 무작위 표본 Y_1, Y_2, ..., Y_n이 있을 때, X_{ij}를 변수 I의 i번째와 변수 II의 j번째 범주에 해당하는 Y_k의 발생횟수라고 가정한다($i = 1,2,..., r$; $j = 1,2,...,c$). 이 때 Fig. 1과 같은 자료가 범주형 변수에 따라 표로 정리되어 있을 때 이를 일반적으로 분할표라고 하고, 특히 2개의 범주형 변수에 의한 분할표를 2원 분할표라 한다.

이 때, $n = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c} X_{ij}$ 일 때, $p_{ij} = i$ 모집단이 j 범주에 속할 비율이라고 하면, 이는 다항분포의 연장으로 생각할 수 있으며, 확률변량은 자유도가 $(rc-1)$인 χ^2분포를 근사적으로 따른다.

Variable II

Variable I	1	2	⋯	c	$\sum$
1	X_{11}	X_{12}	⋯	X_{1c}	$X_{1\cdot}$
2	X_{21}	⋯		⋯	⋮
⋮	⋮				
r	X_{r1}				⋮
$\sum$	$X_{\cdot 1}$	⋯		⋯	$X_{\cdot\cdot}$

Fig. 1. Contingency Table

하나의 모집단에서 두 개의 다른 요인사이의 연관성을 파악하기 위해선 독립에 대한 가설 검정을 고려하여야 한다. 두 개의 변수 I와 II의 독립에 대한 가설검정을 고려하기 위해

$$p_{i\cdot} = \sum_{j=1}^{c} p_{ij} = P \quad [\text{변수 I의 } i\text{번째 범주에 해당하는 사건의 발생}]$$

$$p_{\cdot j} = \sum_{i=1}^{r} p_{ij} = P \quad [\text{변수 II의 } j\text{번째 범주에 해당하는 사건의 발생}]$$

이라고 하면, 두 변수의 독립여부는 다음과 같은 통계적 가설로 표현할 수 있다.

$$H_0 : p_{ij} = p_{i\cdot}\, p_{\cdot j} (i = 1,2,\ldots,r; j = 1,2,\ldots,c) \tag{1}$$

이때, $p_{i\cdot}$과 $p_{\cdot j}$의 최대우도 추정량은 식 (2)를 통해 구할 수 있다.

$$\hat{p}_{i\cdot} = \frac{\sum_{j=1}^{c} X_{ij}}{n},\ \hat{p}_{\cdot j} = \frac{\sum_{i=1}^{r} X_{ij}}{n} \ (i = 1,2,\ldots,r; j = 1,2,\ldots,c) \tag{2}$$

일반적으로 두 변수가 독립적이라는 귀무가설의 적합여부의 판단은 Pearson이 처음 제안한 식 (3)과 같은 χ^2검정통계량을 사용한다.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c} \frac{(X_{ij} - n\hat{p}_{i\cdot}\hat{p}_{\cdot j})^2}{n\hat{p}_{i\cdot}\hat{p}_{\cdot j}} \tag{3}$$

그러나 식 (4)와 같은 제약조건이 있기 때문에, $(r-1)+(c-1)$개의 모수추정이 필요하게 된다.

$$\sum_{i=1}^{r} \hat{p}_{i\cdot} = \sum_{j=1}^{c} \hat{p}_{\cdot j} = 1 \tag{4}$$

따라서 검정통계량은 자유도가 $(rc-1)-(r-1)+(c-1)$인 χ^2분포를 따르게 된다. 그러므로 유의수준 α인 근사 기각 영역은 식 (5)를 통해 구할 수 있다.

$$\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c} \frac{(X_{ij} - n\hat{p}_{i\cdot}\hat{p}_{\cdot j})^2}{n\hat{p}_{i\cdot}\hat{p}_{\cdot j}} \geq \chi^2_{1-\alpha}((r-1)(c-1)) \tag{5}$$

2.2 무차원 누가강우량도

강우량은 장소와 시간에 따라 다양하기 때문에 실제 강우량 자료를 통해 각각의 강우 양상을 구분하기 위해서는 각 강우사상별 시간에 따른 양상을 분류해야 한다. 또한 강우의 지속시간과 강우량 등 강우의 특성인자는 매우 다양하기 때문에 각기 다른 강우의 시간적 양상의 구분을 위해서는 무차원화의 도입이 필수적이라 할 수 있다. 이에 각 시간별 강우량(d_t)을 전체 강우량(D)으로 나누고 시간(t)은 전체 지속시간(t)으로 나누는 무차원화를 식 (6)과 같이 실시하였다.

$$P_t = d_t/D \tag{6}$$

$$t' = t/T$$

여기서,

P_t : 강우사상의 무차원 강우량

t' : 강우사상의 무차원 시간

시간에 따른 강우양상을 적절히 나타낼 수 있는 강우양상의 형태별 분류수는 사전에 알 수 없기 때문에 주관적으로 결정하게 된다. 본 연구에서는 국내 사전재해영향평가 등에서 주로 쓰이는 Huff 분위와의 개념적 연관성 상에서, 강우의 누가곡선을 이용하여 우량의 최대분위의 발생 시기에 따라 Type I, II, III, IV로 4가지 형태로 분류하였다. Type I, II는 강우 사상의 초기에 큰 강우강도를 가지는 형태이고, Type III, IV는 이와 반대로 상대적으로 강우 사상의 후기에 큰 강우강도를 가지는 형태가 된다. Fig. 2는 시간에 따른 강우양상 형태 분류의 예를 나타내고 있다.

3. 적용 및 검토

본 연구에서는 감천유역에 대해 강우양상의 발생에 영향을 미치는 인자를 규명해 보았다. 감천유역이 위치한 김천지역의 지리적 위치는 경위도상으로 동경 128°18'40" ~ 127°52'30", 북위 35°49'30"~36°15'10"에 위치해 있으며, 유역 전체 동서간의 길이는 38.8 km, 남북간의 길이는 47.8 km에 달하고, 동으로는 성주군, 칠곡군이 위치하고 있고, 서로는 전라북도 무주와 충청북도 영동군, 남으로는 경상남도 거창군, 북으로는 상주시 및 구미시와 인접하고 있다.

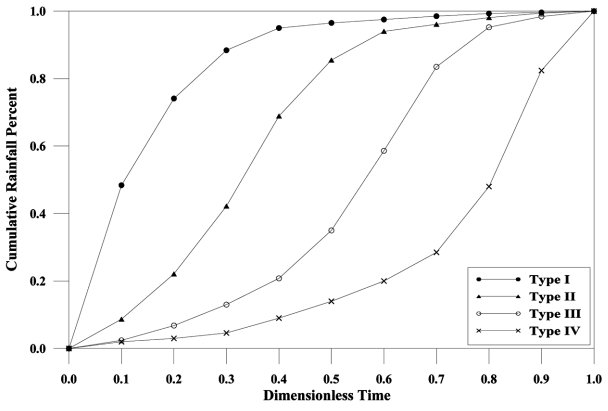

Fig. 2. Example of temporal rainfall pattern

먼저 감천유역에 해당하는 기상청 관할의 거창, 구미, 추풍령 관측소의 강우량 자료를 수집하였다. 시우량 자료의 관측년수가 짧으면 빈도해석 결과의 신뢰도를 보증할 수 없으므로 30년 이상의 관측년수를 가진 유역 인근에 위치한 기상청 관할의 추풍령관측소(1937~2008), 구미관측소(1973~2008), 거창관측소(1972~2008)의 강우량 자료를 활용하여 시간에 따른 강우 양상을 분석하였다. 관측소의 현황은 Table 1과 같다.

수집된 강우자료로부터 무강우 최대시간과 최소지속시간, 최소 강우량 조건을 통해 강우 사상을 선정하였다. 선정 기준은 다음과 같다.

(1) 사상 분리 무강우 최대기간 ≥ 6시간
(2) 최소 지속 시간 ≥ 4시간
(3) 최소 강우량 ≥ 10 mm
(4) 시간 강수 고이상치 기각 기준 ≥ 200 mm

아울러, 강우자료의 구분을 위해 장마와 태풍기, 건기와 우기의 개념을 도입하였는데 장마는 6월과 7월로, 태풍은 8월과 9월, 우기는 4월부터 9월까지, 건기는 10월부터 3월까지로 각각 지정하였다. 위의 기준에 따라 추풍령, 구미, 거창관측소의 1937년부터 2008년까지 강우 자료로부터 총 2,986개의 강우사상이 선정되었으며, 장마기에는 990개, 태풍기에는 790개, 우기는 2,356개, 건기는 630개 등으로 나타났다. Table 2는 위의 선정기준을 통해 선정된 강우 사상의 수를 나타내고 있다. Table 2를 살펴보면, 주로 강우 사상은 여름에 집중되어져 있음을 알 수 있고, 특히 장마기(6, 7월)와 태풍기(8, 9월)에 집중됨을 알 수 있다.

군집분석은 우량주상도 및 수문곡선을 분류하는데 주로 이용되어져 왔다. 관련 속성별로 각각을 상호 배반 집단으로 나누고 그 집단 안은 비슷한 특성을 갖게 되지만 다른 집단간은 상이한 특성을 가지게 된다. 이러한 군집분석에는 K-평균법과 Hierarchical 군집분석(average and Ward's method)이 사용되는데 선행 연구자들의 연구결과에 의해 사용방법별 차이는 미미함이 밝혀졌다(Fang과 Tung, 1996; Ramos, 2001). 이에 본 연구에서는 K-평균법을 이용하여 감천유역의 2,986개 강우사상을 유역의 시간적 강우양상을 대표할 수 있는 유형별로 분류하였다.

Table 1. List of raingage stations

Station	location			Elevation (EL. m)	Area(km^2)	Area ratio
	Address	Longitude	Latitude			
Chupungnyeong	Chungbuk Yeongdong Chupungnyeong 205	120°00'	36°13'	242.5	541.517	0.539
Gumi	Gyeongbuk Gumi Namtong 363-73	128°19'	36°08'	47.9	381.361	0.380
Geochang	Gyeongnam Geochang Gimcheon 169-2	127°55'	35°40'	220.9	81.233	0.081

Table 2. Number of rainfall event

Time period		Number of Rainfall event
Month	January	28
	February	32
	March	60
	April	86
	May	89
	June	114
	July	176
	August	151
	September	93
	October	51
	November	38
	December	20
Season	Spring(March-May)	744
	Summer(June-August)	1,479
	Autumn(September-November)	570
	Winter(December-February)	193
Monsoon(June, July)		990
Typhoon(August, September)		790
Wet period(April-September)		2,356
Dry period(October-May)		630
Total		2,986

해당 유역에 대해서 다양한 관측지점에서의 다양한 시간적 주기(월별, 계절별, 건・우기별, 장마, 태풍 등)에 따라 각기 다른 지속시간과 강수량을 갖는 강우 양상이 나타나게 된다. 수공학적 구조물의 설계와 분석에서 있어서 강우 양상을 정확히 파악하고 적절한 추론적 강우양상을 도출해 내는 것은 매우 중요하다. 그러므로 이를 위해선 특정 강우 양상의 발생이 시간적 요인이나 공간적 요인 혹은 지속시간과 강수량에 의해 영향을 받는지 등을 밝혀내는 것이 중요하다. 이를 위해서 본 연구에서는 강우의 시간적 양상과 공간적 요인(관측소의 지리학적 위치), 시간적 요인(월별, 계절별, 건・우기별, 장마, 태풍 등) 그리고 강우량과 지속기간과의 내부 상관관계를 규명하기 위해 통계 분할표를 적용하였다. 분할표란 앞서 소개한 바와 같이 다른 변수의 함수로서 하나의 변수와 관련된 반응을 살펴보는 표로서. 본 연구에서는 시간에 따른 강우양상에 대한 시간・공간・강우량 및 지속시간의 연관성을 규명하기 위해 적용되었다.

감천 유역의 4개의 강우 양상 형태에 대한 각 요인별 상대적 발생빈도가 Fig. 3 ~ Fig. 10에 나타나 있고, 각 요인별 분할표 결과가 Table 3 ~ Table 6에 나타나 있다. 각 그림은 강우 양상에 따른 각 요인별 상대적 발생빈도와 각 요인에 대한 강우 양상의 상대적 발생빈도를 나타내고 있어 각각의 요인과 강우 양상의 발생빈도와의 상관관계를 파악하는데 유용할 것으로 판단된다. 그리고 각 표는 각기 다른 요인에 대한 다양한 강우 양상 발생 빈도를 나타내고 있는데 본 연구에서 계산된 값은 요인별 다양한 강우양상 발생의 독립성에 대한 확률을 의미한다. 발생 빈도에 대한 정보와 분석 결과는 다양한 공학적 문제에 있어 적절한 강우양상 선택 시 유용할 것으로 생각된다.

각 표의 한 칸은 5개의 값으로 구성되어져 있는데 이는 발생수, 기대도수, 기여도, 행 비율(row percent), 열 비율(column percent)이다. 각 표의 하단에는 자료에 대한 χ^2-검정 결과, 자유도, p값이 나타나 있다. p값이 지정된 유의성 또는 α 수준(일반적으로 0.10, 0.05 또는 0.01)을 벗어난 경우 결과치는 통계적으로 유의하다고 선언하고 검정의 귀무가설(두 변수는 독립적이다)을 기각할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 유의수준 5%를 활용하여 p값이 5%보다 작을 경우를 통해 해당 조건하에서의 요인과 다양한 강우 양상 발생의 연관성을 파악하였다.

먼저 Fig. 3은 강우지속시간과 강우양상 형태별 관계를 나타내고 있고 Fig. 4는 강우지속시간별 강우양상의 상대적 발생빈도를 나타내고 있다. Type IV에 대한 강우발생 빈도가 다른 강우양상 Type보다 적게 나타났고, 6시간 미만의 지속시간을 갖는 강우가 가장 적게 발생되었다. Fig. 5는 강우양상 형태별 강우량의 상대적 발생빈도 관계를 나타내고 있고 Fig. 6은 총 강우량별 강우양상의 상대적 발생빈도를 나타내고 있다. Type IV일 경우 120 mm이상의 강우량을 갖는 사상이 특히 많이 발생되는 것을 알 수 있고 총 강우량이 20 mm 미만의 강우가 모든 Type별 강우가 가장 많이 발생되었다. Fig. 7과 Fig. 8은 계절적 요인과 강우양상과의 상대적 발생빈도를 나타내고 있는데 여름철 강우사상의 발생이 뚜렷하고 Type II의 강우양상은 전 계절에 걸쳐 가장 많이 발생되었다. Fig. 9와 Fig. 10은 강우관측소의 지리적 위치와 강우양상과의 상대적 발생빈도를 나타내고 있다. 추풍령의 경

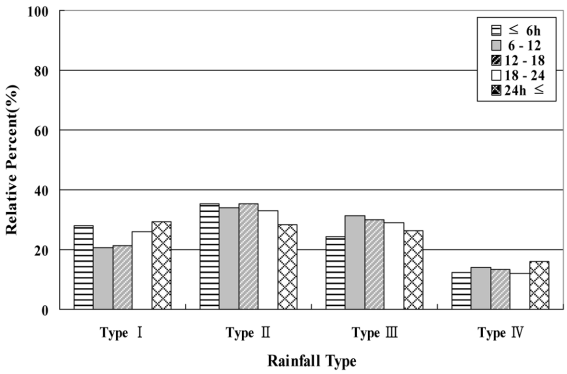

Fig. 3. Relation of Duration by Rainfall Event

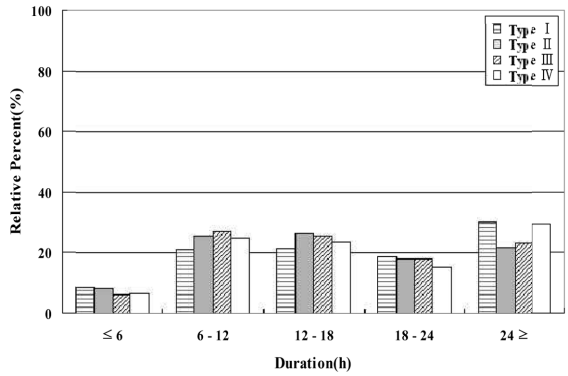

Fig. 4. Relation of Rainfall Event by Duration

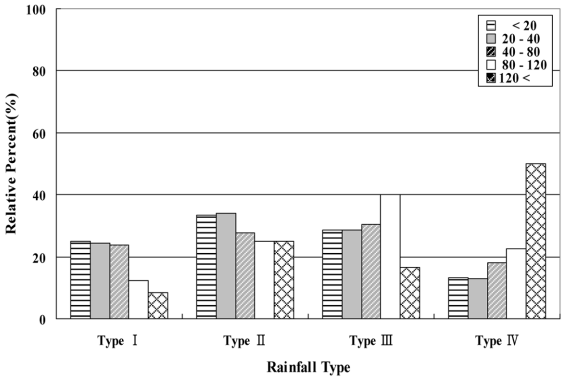

Fig. 5. Relation of Depth by Rainfall Event

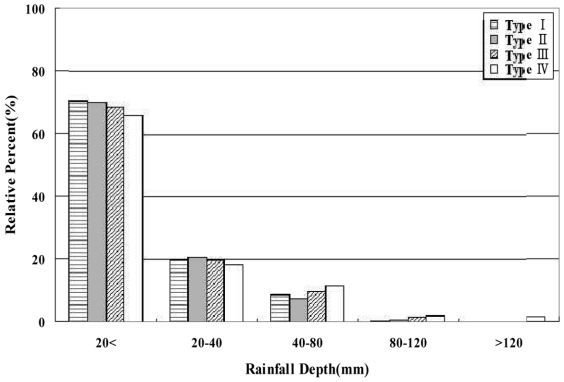

Fig. 6. Relation of Rainfall Event by Depth

우 전 Type에 대해서 가장 많은 발생빈도를 보였으며 Type II와 III이 가장 많은 발생이 이루어짐을 알 수 있다.

Table 3~6은 각 군집분석의 결과를 표로서 제시한 것인데 먼저 전체적인 표의 결과를 살펴보면, 도출된 *p*값에 의해서도 알 수 있듯이 강우양상은 강우의 지속시간과 강우량은 각각 0.001, 0.006, 계절, 장마 및 태풍기의 경우 0.0001미만의 값을 얻을 수 있어 매우 높은 상관성을 얻을 수 있었다. 그리고 관측소의 지리학적 위치와 건·우기에 대해선 0.697, 0.717의 유의수준을 벗어나는 결과를 얻을 수 있어 강우양상의 발생과는 독립적이라는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 해당 지역에 대한 건·우기별 강우양상 분리는 아직 그 적용성이 미진하며 본 연구에서 적용한 태풍기와 장마기로의 구분

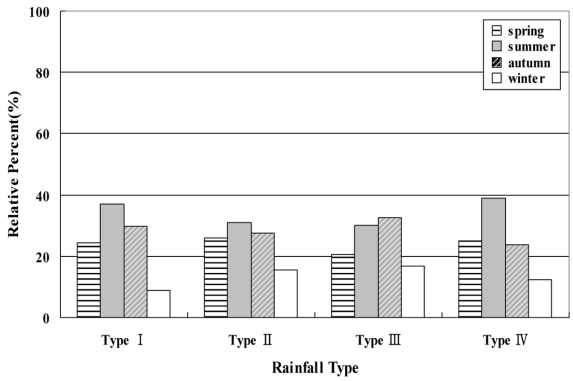

Fig. 7. Relation of Season by Rainfall Event

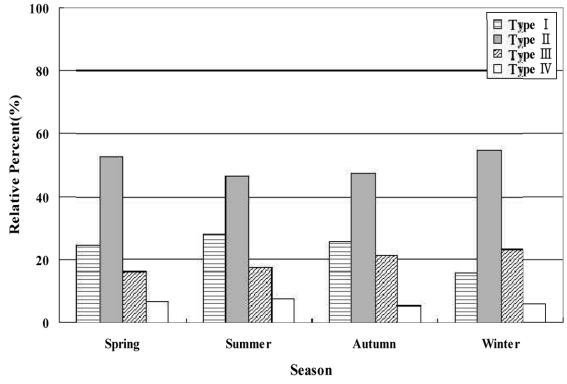

Fig. 8. Relation of Rainfall Event by Season

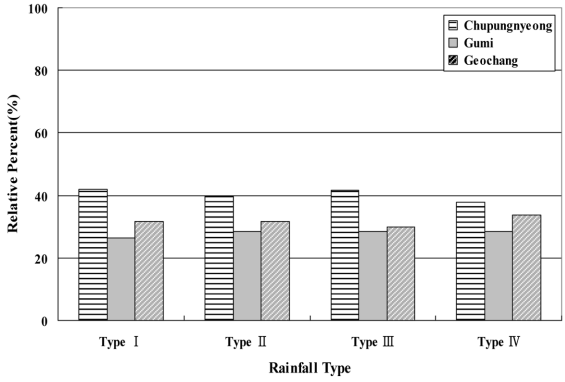

Fig. 9. Relation of Region by Rainfall event

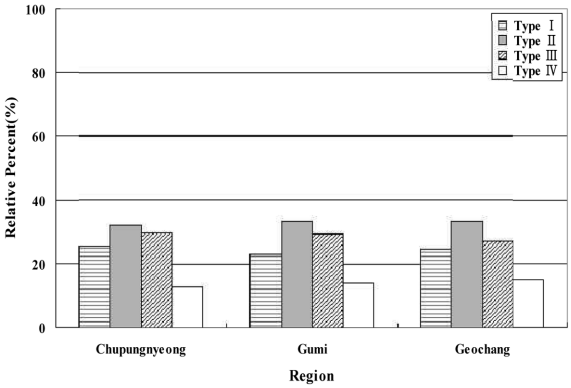

Fig. 10. Relation of Rainfall Depth by Region

에 대한 적용성을 뒷받침해 주었다. 또한, 분할표에서 강우양상의 형태는 행 비율에서 알 수 있듯이 분류기준에 따라 일정한 상관성을 얻을 수는 없었고 강우요인의 분류기준별 강우양상의 발생 비율(열 비율)도 강우량, 강우의 지속시간, 계절별로는 일정하지 않았다.

Table 4에서 보면, 강우 양상은 강우량이 적을수록 발생빈도 수가 많았으며, 특히 20 mm 이하의 강우량을 갖는 강우사상이 가장 많았다. Table 5의 계절적 요인에 대해서는 여름에 절반 이상의 강우가 발생되는 것으로 나타나 국내에 알려진 기존상황과도 부합됨을 알 수 있다. 또한, 장마와 태풍이 발생하는 시기별로 살펴보면, 장마시에는 Type I과 Type

Table 3. Contingency tables showing occurrence frequency of rainfall type by duration

Duration(h)		Rainfall Type				Column total
		Type I	Type II	Type III	Type IV	
6 >	Frequency count	64	81	56	28	229
	Expected count	56.21	75.08	66.03	31.67	228.99
	contribution rate	1.078	0.467	1.524	0.426	3.495
	Row percent	27.95	35.37	24.45	12.23	100.00
	Column percent	8.73	8.27	6.50	6.78	7.67
6 ~ 12	Frequency count	154	252	233	103	742
	Expected count	182.15	243.27	213.95	102.63	742
	contribution rate	4.349	0.313	1.696	0.001	6.359
	Row percent	20.75	33.96	31.40	13.88	100.00
	Column percent	21.01	25.74	27.06	24.94	24.85
12 ~ 18	Frequency count	156	259	219	98	732
	Expected count	179.69	240	211.07	101.24	732
	contribution rate	3.123	1.505	0.298	0.104	5.03
	Row percent	21.31	35.38	29.92	13.39	100.00
	Column percent	21.28	26.46	25.44	23.73	24.51
18 ~ 24	Frequency count	137	174	153	63	527
	Expected count	129.37	172.78	151.96	72.89	527
	contribution rate	0.45	0.009	0.007	1.342	1.808
	Row percent	29.37	28.17	26.46	16.01	100.00
	Column percent	18.69	17.77	17.77	15.25	17.65
24 <	Frequency count	222	213	200	121	756
	Expected count	185.58	247.86	217.99	104.56	755.99
	contribution rate	7.147	4.904	1.485	2.584	16.12
	Row percent	24.55	32.79	28.83	13.83	100.00
	Column percent	30.29	21.76	23.23	29.30	25.32
Row total	Frequency count	733	979	861	413	2986
	Row percent	24.55	32.79	28.83	13.83	100.00
	Column percent	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$\chi^2 = 32.811$		DF = 12		$p = 0.001$		

Table 4. Contingency tables showing occurrence frequency of rainfall type by depth

Depth(mm)		Rainfall Type				Column total
		Type I	Type II	Type III	Type IV	
20 >	Frequency count	518	689	590	272	2,069
	Expected count	507.90	678.35	596.59	286.17	2,069.01
	contribution rate	0.201	0.167	0.073	0.701	1.142
	Row percent	25.04	33.30	28.52	13.15	100.00
	Column percent	70.67	70.38	68.52	65.86	69.29
20 ~ 40	Frequency count	144	201	170	77	592
	Expected count	145.32	194.10	170.70	81.88	592
	contribution rate	0.012	0.246	0.003	0.291	0.552
	Row percent	24.32	33.95	28.72	13.01	100.00
	Column percent	19.65	20.53	19.74	18.64	19.83
40 ~ 80	Frequency count	65	76	83	49	273
	Expected count	67.02	89.51	78.72	37.76	273.01
	contribution rate	0.061	2.038	0.233	3.346	5.678
	Row percent	23.81	27.84	30.40	17.95	100.00
	Column percent	8.87	7.76	9.64	11.86	9.14
80 ~ 120	Frequency count	5	10	16	9	40
	Expected count	9.82	13.11	11.53	5.53	39.99
	contribution rate	2.365	0.0740	1.729	2.173	6.341
	Row percent	12.50	25.00	40.00	22.50	100.00
	Column percent	0.68	1.02	1.86	2.18	1.34

Table 4. Contingency tables showing occurrence frequency of rainfall type by depth (Continued...)

Depth(mm)		Rainfall Type				Column total
		Type I	Type II	Type III	Type IV	
120 <	Frequency count	1	3	2	6	12
	Expected count	2.95	3.93	3.46	1.66	12
	contribution rate	1.285	0.222	0.616	11.350	13.473
	Row percent	8.33	25.00	16.67	50.00	100.00
	Column percent	0.14	0.31	0.23	1.45	0.40
Row total	Frequency count	733	979	861	413	2,986
	Row percent	24.55	32.79	28.83	13.83	100.00
	Column percent	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$\chi^2 = 27.853$		DF = 12		$p = 0.006$		
The cells have expected counts less than t = 4(20%)						

Table 5. Contingency tables showing occurrence frequency of rainfall type by Season

Season		Rainfall Type				Column total
		Type I	Type II	Type III	Type IV	
Spring	Frequency count	181	276	221	66	744
	Expected count	182.64	243.93	214.53	102.9	744
	contribution rate	0.015	4.216	0.195	13.235	17.661
	Row percent	24.33	37.10	29.70	8.87	100.00
	Column percent	24.69	28.19	25.67	15.98	24.55
Summer	Frequency count	386	457	409	227	1,479
	Expected count	363.06	484.91	426.46	204.56	1,478.99
	contribution rate	1.449	1.606	0.715	2.461	6.231
	Row percent	26.10	30.90	27.65	15.35	100.00
	Column percent	52.66	46.68	47.50	54.96	32.79
Autumn	Frequency count	118	171	185	96	570
	Expected count	139.92	186.88	164.36	78.84	570
	contribution rate	3.435	1.350	2.593	3.736	11.114
	Row percent	20.70	30.00	32.46	16.84	100.00
	Column percent	16.10	17.47	21.49	23.24	28.83
Winter	Frequency count	48	75	46	24	193
	Expected count	47.38	63.28	55.65	26.69	193
	contribution rate	0.008	2.172	1.674	0.272	4.126
	Row percent	24.87	38.86	23.83	12.44	100.00
	Column percent	6.55	7.66	5.34	5.81	13.83
Row total	Frequency count	733	979	861	413	1,712
	Row percent	24.55	32.79	28.83	13.83	100.00
	Column percent	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$\chi^2 = 39.131$		DF = 9		$p = 0.000$		
Monsoon	Frequency count	283	322	257	128	990
	Expected count	245.28	305.34	279.76	159.62	990
	contribution rate	5.802	0.909	1.851	6.265	14.827
	Row percent	28.59	32.53	25.96	12.93	100.00
	Column percent	55.62	55.62	55.62	55.62	55.62
Typhoon	Frequency count	158	227	246	159	790
	Expected count	195.72	243.66	223.24	127.38	790
	contribution rate	7.271	1.139	2.32	7.851	18.581
	Row percent	20.00	28.73	31.14	20.13	100.00
	Column percent	44.38	44.38	44.38	44.38	44.38
$\chi^2 = 33.409$		DF = 3		$p = 0.000$		
Wet	Frequency count	571	769	683	333	2,356
	Expected count	578.35	772.45	679.34	325.86	2,356
	contribution rate	0.093	0.015	0.02	0.156	0.284
	Row percent	24.24	32.64	28.99	14.13	100.00
	Column percent	78.90	78.90	78.90	78.90	78.90

Table 5. Contingency tables showing occurrence frequency of rainfall type by Season (Continued...)

Season		Rainfall Type				Column total
		Type I	Type II	Type III	Type IV	
Dry	Frequency count	162	210	178	80	630
	Expected count	154.65	206.55	181.66	87.14	630
	contribution rate	0.349	0.057	0.074	0.585	1.065
	Row percent	25.71	33.33	28.25	12.70	100.00
	Column percent	21.10	21.10	21.10	21.10	21.10
Row total	Frequency count	733	979	861	413	2,986
	Row percent	24.55	32.79	28.83	13.83	100.00
	Column percent	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$\chi^2 = 1.350$		DF = 3		$p = 0.717$		

Table 6. Contingency tables showing occurrence frequency of rainfall type by Region

Region		Rainfall Type				Column total
		Type I	TypeII	Type III	Type IV	
Chu-pung-nyeong	Frequency count	308	390	358	156	1,212
	Expected count	297.52	397.37	349.47	167.63	1,211.99
	contribution rate	0.369	0.137	0.208	0.807	1.521
	Row percent	25.41	32.18	29.54	12.87	100.00
	Column percent	42.02	39.84	41.58	37.77	40.59
Gumi	Frequency count	193	279	246	118	836
	Expected count	205.22	274.09	241.06	115.63	836
	contribution rate	0.728	0.088	0.101	0.049	0.966
	Row percent	23.09	33.37	29.43	14.11	100.00
	Column percent	26.33	28.50	28.57	28.57	28.00
Geo-chang	Frequency count	232	310	257	139	938
	Expected count	230.26	307.54	270.47	129.74	938.01
	contribution rate	0.013	0.02	0.671	0.661	1.365
	Row percent	24.73	33.05	27.40	14.82	100.00
	Column percent	31.65	31.66	29.85	33.66	31.41
Row total	Frequency count	733	979	861	413	2,986
	Row percent	24.55	32.79	28.83	13.83	100.00
	Column percent	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
$\chi^2 = 3.852$		DF = 6		$p = 0.697$		

II가 비교적 많이 발생되는 데 반해 태풍시에는 Type II와 Type III가 비교적 많이 발생하였다. 또한 우기시 발생하는 강우 사상의 발생빈도가 건기시에 비해 4배 정도 많은 것을 알 수 있었다. Table 6에 대해서는 추풍령 관측소의 강우양상 빈도가 다른 관측소의 강우양상 빈도보다 높게 나타났는데 이는 원 자료의 수가 타 관측소에 비해 많이 분석에 적용된 결과로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 실제로 태풍으로 많은 피해를 입은 감천 유역에 대해 강우의 시간적 양상의 발생 영향인자 분석을 실시하였다. 이를 위해 먼저 수집된 강우자료로부터 강우사상을 분리하였고 국내에서 수공구조물 설계 및 사전재해영향평가 등에서 주로 사용되는 Huff의 4분위법을 이용하여 무차원화를 실시하였다. 이를 토대로 분할표를 이용한 군집분석을 실시하여 시간에 따른 강우양상과 영향인자간의 상관관계를 규명하였다. 그 결과 강우양상은 강우의 지속시간과 강우량, 계절, 장마・태풍에 의해 영향을 받으나 강우관측소의 지리학적 위치와 건・우기의 영향은 받지 않는 것으로 나타났다. 또한, 강우양상의 형태는 일정하지 않았으며, 강우요인의 분류기준별 강우양상의 발생비율도 일정한 형태를 가지지는 않았다.

본 연구에서 실시한 분할표를 통한 검정결과는 감천 유역에 있어서 강우의 시간적 양상의 선택에 있어서 강우량과 강우 지속시간과 연관성을 고려해야 함을 의미한다. 또한 강우의 시간적 양상에 있어 장마기와 태풍기에 대한 고려가 필요함을 알 수 있었으며 건기 및 우기에 대한 강우양상 선정의 개념은 아직 미진함을 알 수 있었다. 감천유역에 발생되는 강우양상에 영향을 미치는 인자의 규명은 강우의 시간적 양상의 생성과 강우-유출분석을 통한 유역의 위험도 분석시 중

요한 사전정보로 활용될 수 있을 것이다. 결국 각기 다른 강우양상의 발생 빈도에 대한 정보는 다양한 강우 양상의 발생에 대한 불확실성을 고려한 위험도 분석 및 대표 강우양상 선택에 있어서 중요한 역할을 할 수 있으며, 유역의 홍수방어계획 수립 및 수공구조물 설계 시 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

건설교통부 부산지방국토관리청 (1997) **감천 하천정비기본계획(보완)**.
건설교통부 (1998) **한국수문조사연보**.
건설교통부 (1999a) **한국수문조사연보**.
건설교통부 (1999b) **수자원관리기법개발연구조사보고서**.
건설교통부 (2001) **유역종합치수계획수립 지침작성**.
경상북도 (2003) **감천 (지방2급) 하천정비기본계획**.
소방방재청 (2007) **2006 재해연보**.
소방방재청 (2007) **2007년도 주요통계 및 자료**.

Everitt, B.S. (1980) *Cluster Analysis*, 2nd Edition, Heineman Educational Books Ltd., London.

Everitt, B.S. (1992) *The Analysis of Contingency Tables*, 2nd Edition, Chapman & Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras.

Fang, T.Q. and Tung, Y.K. (1996) *Analysis of Wyoming extreme precipitation patterns and their uncertainty for safety evaluation of hydraulic structures*. Technical Reoport, University of Wyoming.

Hand, D.J and Krzanowski, W.J. (2005) Optimising k-means clustering results with standard software packages. *CSDA*. Vol. 49, pp. 969-976.

Hartigan, J.A. and Wong, M.A. (1979) A k-means clustering algorithm. Algorithm. *App. Stat*. Vol. 28, pp. 100?108.

Minitab Inc. (2007) *Meet Minitab* 15.

Ramos, M.C. (2001) Divisive and hierarchical clustering techniques to analyse variability of rainfall distribution patterns in a Mediterranean region. *Atoms. Res*, Vol. 57, pp. 123-138.

Ward, J.H. (1963) Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Amer. Stat. Assoc*. Vol. 58, pp. 236?244.

Wu, S.J. and Tung, Y.K. (2006) Stochastic generation of hourly rainstorm events. *J. of Stoch. Environ. Res. Risk. Asssess*, Vol. 21, pp. 195-212.

◎ 논문접수일 : 09년 3월 17일
◎ 심사의뢰일 : 09년 3월 18일
◎ 심사완료일 : 09년 4월 08일