



# 태풍으로 인한 강우특성 분석 및 여름강수 예측모형 구축



권 현 한 |

한국건설기술연구원 선임연구원  
hkwon@kict.re.kr



오 태 석 |

서울시립대학교 박사 후 과정  
taesuk79@gmail.com



문 영 일 |

서울시립대학교 교수  
ymoon@uos.ac.kr

속시간은 짧게는 수십 분에서 길게는 수 시간 이상 지속되는 것이 보통이며, 강우의 영향반경은 약 10~20km<sup>2</sup> 정도의 비교적 좁은 지역에 집중적으로 내리고, 때로는 천둥번개를 동반하기도 한다.

호우의 발생원인은 크게 대류성, 지형성 및 전선형 호우사상과 열대성 저기압인 태풍으로 크게 구분할 수 있다. 우리나라에서 일반적으로 발생하는 호우는 국지적으로 가열된 가벼운 공기가 상승으로 상승하여 적란운을 형성하면서 발생하는 대류성 호우가 일반적이라 할 수 있다. 또한, 매년 주기적으로 태풍이 내습하여 막대한 호우 피해를 유발시키기도 한다. 따라서 우리나라의 극한강우의 발생원인은 크게 대류성 호우와 태풍으로 구분할 수 있다(임기석 등, 2002).

따라서 극한강우의 발생원인을 태풍과 장마 등으로 명확하게 구분하기는 어려우나, 태풍에 영향을 받지 않은 기간에 우리나라에서 발생한 극한강우에 대한 분석을 수행하고, 강우의 발생원인이 태풍에 영향을 받는 호우는 '태풍'으로 장마전선 등과 같이 기단의 상호작용과 지형적 특성에 의해 발생한 전선형 또는 지형성 호우는 '집중호우'로 구분하였다. 이는 우리나라에서 발생하는 홍수피해의 원인이 크게 태풍과 집중호우로 구분할 수 있기 때문이다. 과거 10년 동안(1995~2004)에 발생한 자연재해 피해현황을 발생 원인별로 살펴보면 태풍 46%, 호우 30.8%, 태풍·호우14.9%, 폭풍설 7.6%의 순으로, 태풍과 집중호우에 의한 피해가 90%를 상회하는 것으로 나타나

## 1. 서론

최근에 지구온난화에 따른 기후변화와 기상이변에 의하여 극한강우사상의 발생빈도가 과거에 비하여 빈번해지고 있다. 또한, 극한강우의 강우강도도 증가하는 추세이다. 극한강우사상에 대한 명확한 정의는 없는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 시간당 강우량인 강우강도가 30mm/hr을 초과하거나, 일강우량이 80mm/day 및 연강우량의 10% 이상이 발생하는 경우를 극한강우로 정의하고 있다. 극한강우사상의 지



고 있다.

실제로 최근의 태풍과 집중호우에 의한 홍수피해 사례를 살펴보면 다음과 같다. 태풍에 의한 피해 사례는 2002년에 북태평양에서 발생한 15번째 태풍인 루사가 8월 31일 한반도에 상륙하면서 사망·실종 246명의 인명피해와 5조원의 재산피해를 유발시켰다. 태풍 루사는 강릉 지역에 일강우량 870.5mm로 한반도에서 관측 이래 가장 막대한 호우를 발생시켰다. 집중호우로 인한 피해사례로 지리산 인근 지역에서 1998년 7월 31일부터 8월 1일까지 우리나라가 북태평양 고기압의 가장 자리에 놓여 불안정한 대기상황에서 중국 양쯔강으로부터 습윤한 남서기류가 지속적으로 유입되고, 지리산의 산악효과로 기류가 상승하면서 강한 호우가 발생하여 91명의 인명피해와 1,442억원의 재산피해가 발생하였다. 2001년의 서울·경기지역 집중호우는 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 고온다습한 강한 남서기류가 한반도 중부지방으로 유입되었고, 서해상에서 장마전선을 따라 좁고 강한 수렴대가 중부지방에 형성, 강한 비구름대가 발달하였으며, 한반도 북서쪽에서 상층 한기가 중부지방으로 이루어지면서 대기의 불안정이 심화되었고, 중부지방 북동쪽에 고압대가 위치하여 장마전선에 의한 강우대가 북상하지 못하고 정체하면서 발생하여 66명의 인명피해와 1,816억원의 재산피해를 만들었다.

이와 같이 우리나라에서 발생하는 홍수피해는 태풍이 내습한 시기와 장마전선이 한반도에 정체되어 극심한 강우를 발생시킨 경우가 대부분임을 알 수 있다. 따라서 호우의 발생원인을 집중호우와 태풍으로 구분하여 각각의 강우특성에 대한 분석을 수행할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 분석 방법은 호우의 발생원인에 따라서 태풍과 집중호우로 구분된 주요 호우 사상을 추출하여 각각의 호우 특성에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 태풍과 집중호우에 의한 극한강우 자료

우리나라의 기상청에서 관할하는 강우관측소는 총 76개소이다. 그림 1은 우리나라의 기상청 관할 강우관측소의 위치를 도시한 결과이다. 76개 강우관측소 중에서 2005년까지 30년 미만의 관측연수를 보이는 지점 15개를 제외한 61개 지점의 강우자료를 이용하였다.

태풍은 북태평양 서부에서 발생하는 열대저기압 중에서 중심 부근의 최대풍속이 17m/s 이상의 강한 폭풍우를 동반하고 있는 것을 의미하며, 열대성 저기압은 발생 장소에 따라 명칭을 달리하고 있다. 북태평양 서부에서 발생하는 것을 태풍(typhoon), 북대서양·카리브 해·멕시코 만 및 북태평양 동부에서 발생하는 것을 허리케인(hurricane), 인도양·아라비아 해 그리고 벵골 만에서 발생하는 것을 사이클론(cyclone), 오스트레일리아 서부지역에 나타나는 것을 윌리윌리(willy-willy)라고 부른다.

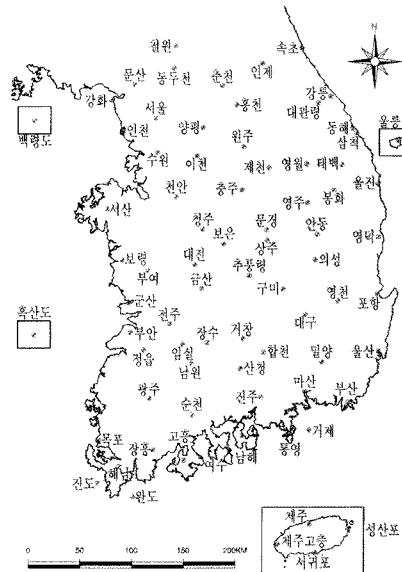


그림 1. 기상청 관할 강우관측소 위치

우리나라의 기상청(1996)은 태풍의 중심이 북위 32°~40°, 동경 120°~138°의 범위 내에 도달한 경우에 한반도에 영향을 준 태풍으로 정의하고 있으며, 태풍 중심이 북위 40°, 동경 110°~150° 밖으로 벗어난 경우에는 사멸한 것으로 간주하고 있다. 이 기준에 따르면, 1961년부터 2005년까지 북태평양 서부에서 발생한 태풍은 1222개이며, 이 중에서 146개로 연평균 3.18개가 한반도에 영향을 준 것으로 나타났다. 태풍에 의하여 발생한 강우량을 추출하는 과정은 다음과 같다.

- ① 우리나라에 영향을 주는 태풍 자료의 수집과 대상 강우관측지점의 선정
- ② 각 태풍별로 우리나라에 영향을 주는 지속시간의 선정
- ③ 태풍의 지속시간 내에서 우리나라의 강우관측소에서 관측된 시간 강우 자료의 추출
- ④ 추출된 시간 강우자료를 이용하여 태풍별로 지속시간 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 24시간 최대강우량 자료의 구성
- ⑤ 각 태풍별로 강우관측소별 지속시간별 최대 강우량이 발생 하였을 때 태풍의 특성 자료 구축

집중호우에 의한 극한강우사상은 다음과 같이 추출하였다. 관측된 시간강우량 자료를 이용하여 태풍이 우리나라에 영향을 끼치는 기간을 제외한 집중호

우에 의해 발생한 지속시간별 연최대치 강우량 자료를 추출하였다. 따라서 태풍이 우리나라에 영향을 주는 시기로 기상청에서 발표한 기간의 강우자료는 제외하였다. 또한, 집중호우로 인한 연최대치와 비교하기 위하여 모든 호우를 대상으로 한 연최대치 지속시간별 강우량 자료를 추출하였다.

### 3. 태풍과 집중호우에 따른 강우특성

전술한 바와 같이, 우리나라에서 관측한 강우자료와 태풍 자료를 이용하여 태풍, 집중호우 및 전호우 사상을 통한 시간최대강우자료를 구성하였다. 호우의 발생원인별로 구성된 강우자료들의 기초통계량을 산정하여 비교하였다. 단, 태풍 사상에 의한 강우자료는 태풍의 발생갯수만큼인 143개가 있으므로 집중호우 및 전호우 사상에 의한 시간최대강우량과 일관성을 유지하기 위하여 강우량이 큰 순서대로 관측연수만큼만을 분석에 적용하였다. 집중호우는 사상별로 시간최대강우량을 추출하지 않은 이유는 우리나라에서 빈도해석에 쓰이는 자료가 연최대치 자료를 쓰며, 집중호우는 매년 장마 등에 의한 영향으로 꾸준히 발생한다고 판단하였기 때문이다. 그러나 태풍은 우리나라를 매년 내습하는 것이 아니며, 내습했다 하더라도 그 영향이 상당히 미미하여 태풍으로 인한 강우

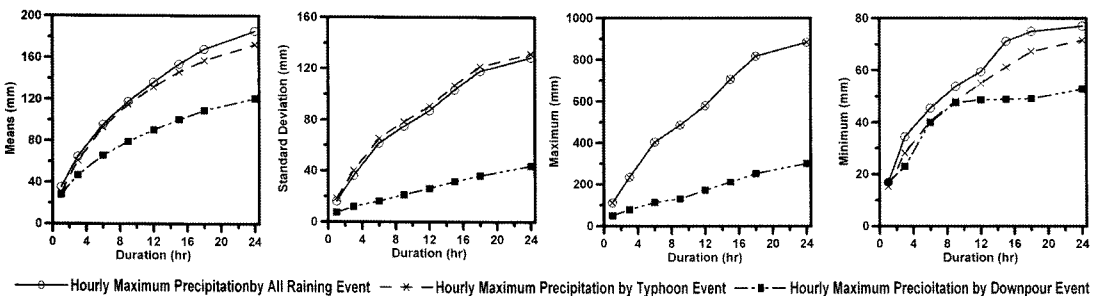


그림 2. 강릉지점의 태풍 및 집중호우에 의한 기초통계분석 결과

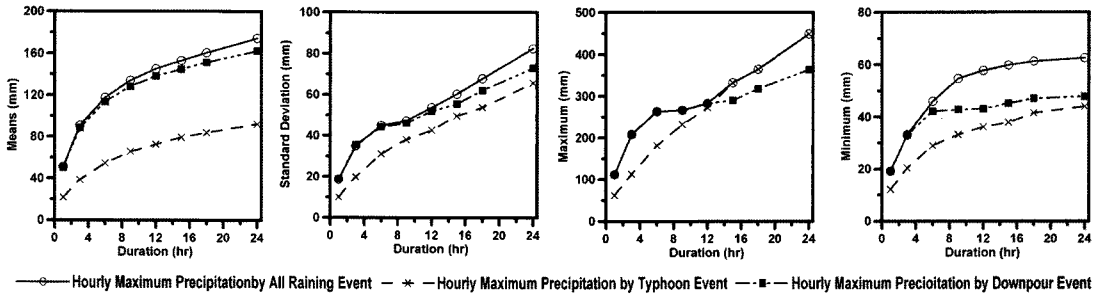


그림 3. 서울지점의 태풍 및 집중호우에 의한 기초통계분석 결과

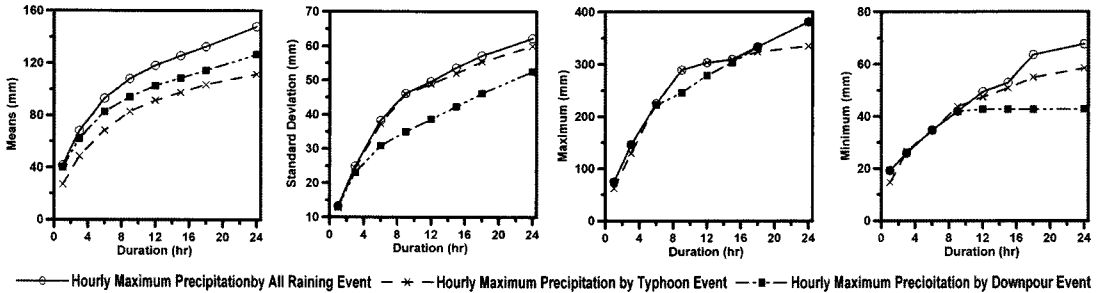


그림 4. 광주지점의 태풍 및 집중호우에 의한 기초통계분석 결과

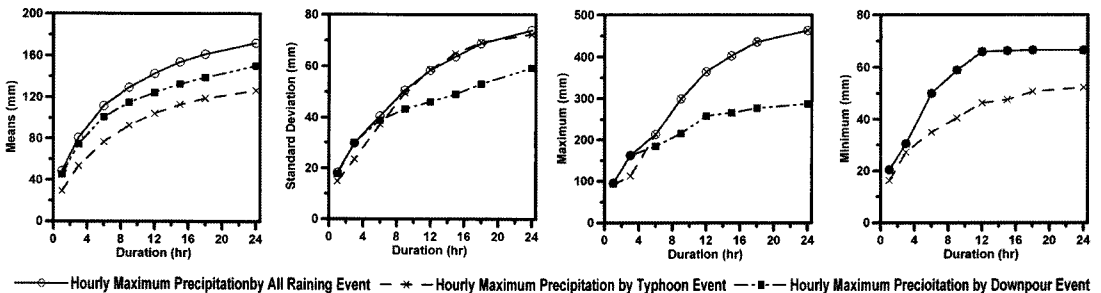


그림 5. 부산지점의 태풍 및 집중호우에 의한 기초통계분석 결과

자료를 활용하기 어려운 경우가 많기 때문이다.  
 분석대상지점으로 선정한 우리나라의 61개 강우관측소 지점의 전체 호우와 태풍사상 및 집중호우사상에 의해 추출된 시간최대강우량 자료를 지속시간 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18 및 24시간에 대해 평균, 표준편차, 최대값 및 최소값을 산정하여 비교·분석하였다. 추출된 강우자료의 기초통계량을 비교 분석한 결과

에서 추출된 지점에 따라 태풍 및 집중호우의 영향이 다르게 나타나는 것으로 분석 되었다. 다음 그림 2~그림 5는 선정된 61개 지점 중에서 강릉, 서울, 광주 및 부산 지점의 기초통계량을 비교한 결과이다. 시간강우량의 평균은 남해안, 영남 및 동해안 지역에서 집중호우보다 더 큰 것으로 나타났으며, 경기도, 충청도, 전라북도, 경상북도 서부 및 강원도 서부 지역의

장마 등과 같은 집중호우에 의해 발생하는 시간강우량이 태풍보다 더 큰 영향을 끼치는 것으로 나타났다.

강원도 동부, 동해안 지역, 남해안, 전남 및 경남 지역에서는 태풍 사상에 의해 발생하는 시간강우량의 표준편차가 집중호우에 비해 더 큰 것으로 나타났다. 이는 태풍사상에 의한 시간강우량의 분산이 집중호우보다 큼을 의미하여, 이 지역에서는 태풍사상에 의한 극치강우가 발생할 가능성이 더 크다고 할 수 있겠다. 그리고 경기 및 충청 지역에서는 집중호우에 의한 시간강우량의 표준편차가 더 큰 것으로 나타났다. 또한, 표준편차의 분석 결과에서 특이할 점은 지속시간이 증가하면서 태풍에 의한 시간강우량의 표준편차가 더 커지는 지점이 존재 한다는 것이다. 대표적으로 청주, 대구, 여수, 제주, 서귀포, 정읍, 순천 및 영덕 지점에서 이 같은 현상이 발생하였는데, 이는 짧은 지속시간에서는 집중호우에 의해 극치 강우가 발생할 수 있는 가능성이 더 크지만 지속시간이 길어지면 태풍사상에 의한 극치강우 발생 가능성이 더 커지는 것으로 판단된다. 왜냐 하면, 집중호우는 최근 문제가 되고 있는 돌발 호우나 국지성 집중호우로 짧은 시간에 많은 강우를 발생 시키고 있지만 태풍은 우리나라에 영향을 주는 하루 이상의 시간 동안에 많은 강우를 발생시키기 때문인 것으로 사료 된다.

최대값과 최소값을 분석한 결과는 표준편차의 분석 결과와 비슷한 경향을 갖는 것으로 판단된다. 강원도 동부, 동해안, 남해안, 전남 및 경남 지방은 태풍으로 인해 발생하는 시간강우량의 최대값이 대체로 큰 지점으로 나타났으며, 최소값은 이와 반대의 결과를 보여주었다. 또한, 서울, 서산, 청주, 제주, 부안, 정읍, 순천, 영주 및 구미 지점은 특이하게도 지속시간이 짧을 때는 집중호우에 의한 시간 강우량의 최대값이 발생하였으나 지속시간이 길어지면서 태풍에 의해 최대 강우량이 발생한 것으로 분석 되었다. 따라서 비록 태풍에 의한 시간강우량이 크지 않은 충청도

및 경기도 지역에서도 긴 지속시간에서 태풍으로 인한 극치 강우가 발생 할 있는 것으로 사료 된다.

호우의 발생원인을 태풍과 집중호우로 구분하여 연최대치 자료를 구성하였다. 구성된 연최대치 자료를 빈도해석하여 각각의 확률강우량을 지속시간별로 산정하여 비교하였다.

빈도해석은 매개변수적 지점빈도해석을 수행하였다. 각 확률분포형별로 모멘트법, 최우도법 및 확률가중모멘트법으로 매개변수를 추정하였다. 모멘트법, 최우도법, 확률가중모멘트법의 매개변수는 큰 차이를 보이지는 않았으나, 각 적용 분포형별 적합도 검정 결과와 최근의 추세에 맞추어 확률가중모멘트법에 의해 추정된 매개변수를 이용하였다. 분포형별로 실제 강우 자료와의 적합성을 판단하기 위해 검정, K-S 검정, CVM 검정 및 PPCC 검정을 통해 적합도 검정을 수행한 결과에서 Gumbel 분포형의 적합도가 가장 뛰어난 것으로 분석되었다.

빈도해석 결과에서 집중호우에 의한 확률강우량은 전호우사상을 빈도해석한 quantile보다 작게 산정되었다. 그러나 짧은 지속시간(6시간 이내)에서는 경기 북부 지역에서는 집중호우 사상에 의한 확률강우량이 전호우 사상에 의한 확률강우량보다 더 크게 산정되었다. 이는 돌발호우나 국지성 집중호우 등에 의해 극치 강우가 발생할 가능성이 있을 것으로 판단된다.

태풍에 의한 빈도해석 결과는 전호우에 대한 분석 결과보다 크게 산정된 지역이 있는 것으로 나타났다. 지속시간이 12시간 이상으로 길어질 때에 태풍 매개변수적 지점빈도 확률강우량이 매개변수적 지점빈도 확률강우량보다 강원 북부 지역에서 더 크게 나타나고 있다. 또한, 재현기간이 증가할수록 그 차이가 더욱 더 커지는 것으로 분석되었다. 또한, 지속시간 24시간에서 200년빈도에 해당하는 확률강우량을 분석한 결과에서 보면 강원도 북부 지역뿐만 아니라 남동쪽 해안 지역도 태풍 사상에 의한 확률강우량이 더

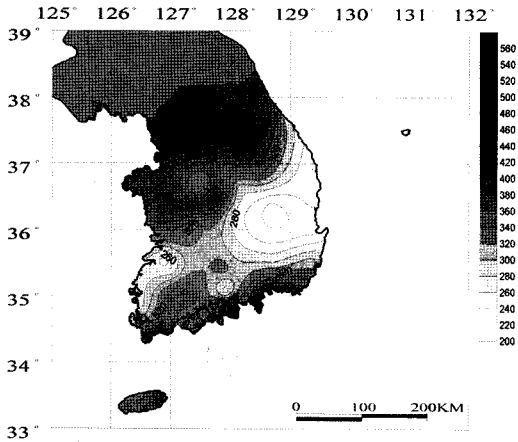


그림 6. 집중호우에 의한 24시간 확률강우량도

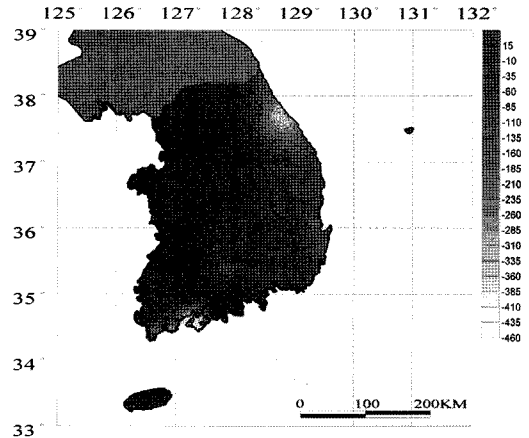


그림 7. 집중호우에 의한 24시간 확률강우량 비교

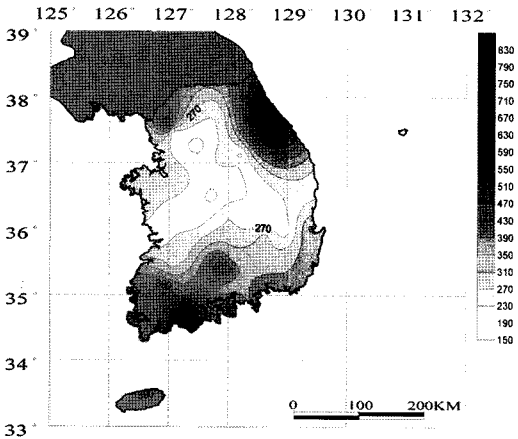


그림 8. 태풍에 의한 24시간 확률강우량도

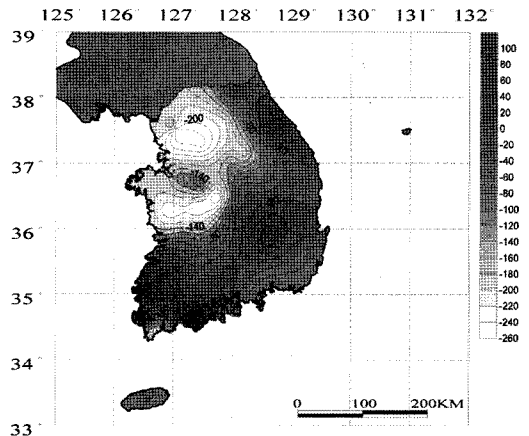


그림 9. 태풍에 의한 24시간 확률강우량 비교

크게 산정되고 있는 것을 알 수 있었다.

이는 태풍 사상이 우리나라에 영향을 주는 기간은 보통 하루 이상이며, 집중호우보다 긴 시간 동안에 많은 강우를 발생시켜 우리나라에 큰 피해를 야기할 수 있는 가능성이 매우 큰 것으로 사료 된다. 반면에 집중호우로 인한 짧은 지속시간의 확률강우량이 큰 경기 지역은 태풍 사상에 의한 확률강우량이 전호우 사상에 의한 확률강우량보다 많이 작게 나타났다.

#### 4. 태풍특성을 고려한 여름강수량 예측

우리나라의 집중호우는 앞서 분석한 바와 같이 주로 태풍으로 기인하는 경우가 많다. 이러한 관점에서 본 장에서는 태풍특성을 고려하여 여름강수량을 예측하기 위한 방법론을 소개하고자 한다. 모형 및 연구결과는 권현한과 문영일(2007)과 Kwon et al.(2008)이 발표한 내용을 중심으로 요약하였다. 본 연구의 주

표 1. 우리나라의 영향을 준 태풍의 특성치와 여름강수량과의 상관관계

태풍특성	5월	6월	7월	8월	9월	10월	전체 태풍	전체열대성 저기압	태풍 지속시간	열대성 저기압 지속시간
서울	-0.05	0.00	-0.06	0.00	0.18	0.14	-0.05	0.11	-0.06	0.30
목포	-0.05	0.47	-0.15	0.00	0.09	0.38	-0.16	0.27	-0.20	0.31

된 목적은 기상정보를 고려하여 확률론적으로 여름강수량을 추정할 수 있는 모형을 구축하고자 한다. 이를 구현하는데 있어서 확률론적인 개념을 도입하였으며 각 특성이 갖는 영향정도를 추정하고 최종적으로 10년 빈도의 강수량이 발생할 확률을 이들 기상정보를 조건부로 하는 분포형으로 제시하고자 한다. 즉 기상정보를 조건으로 한 우기 강수량의 변화 양상을 확률로 제시하고자 하며 이를 위하여 Logistic 회귀분석 방법을 도입하였다. 본 연구에서 고려한 기상정보는 크게 해수면온도(Sea Surface Temperature, SST), General Circulation Model(GCM), 국내에 영향을 준 태풍의 특성 등을 잠재적으로 여름강수량 모형을 위한 인자로 고려하였으며 구축된 모형을 토대로 각 기상인자들이 갖는 영향을 정량적으로 평가하고자 한다.

국내에 영향을 준 태풍을 검토한 결과 5월부터 10월까지 분포되어있으며 이를 반영하여 연구대상 강수량을 5월부터 10월까지의 총 강수량으로 한정하였으

며 1958년부터 2001년까지의 서울, 목포 강수량을 연구 대상으로 고려하였다. 본 연구에서는 주된 통계기법으로서 Markov Chain Monte Carlo 모의를 이용한 계층적(hierarchical) Bayesian 기법과 Logistic 회귀분석을 접목시켰으며 각 독립변수가 갖는 특징과 확률분포를 평가하였다. 계층적 Bayesian 분석은 타 통계기법에 안정적으로 매개변수와 관련된 사후분포(posterior distribution)를 추정할 수 있으며 각 매개변수들이 갖는 상대적 중요도 및 불확실성을 보다 효과적으로 평가할 수 있다.

우선 태풍 특성치와 서울과 목포 우기 강수량과의 상관관계를 표 1에 나타내었으며 t-검정을 고려하면 0.29이상의 상관관계는 신뢰수준 95%에서 통계적으로 유의하다. 표에서 보듯이 두 지점 모두에서 열대성저기압의 지속시간이 상대적으로 상관성이 있는 것으로 나타났으며 서울지방에 비해 목포지방이 태풍의 영향이 더 큰 것으로 나타났으며 태풍의 이동 패턴을 고려하면 물리적으로도 타당한 결과로 사료된다.

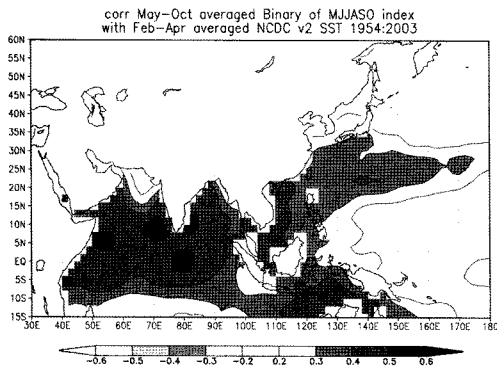


그림 10. 서울지방 강수량(5월-10)과 SST와의 상관관계

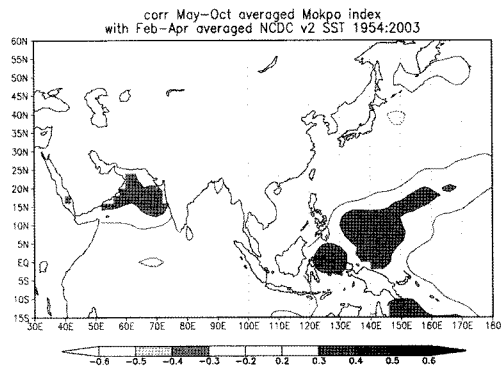


그림 11. 목포지방 강수량(5월-10)과 SST와의 상관관계

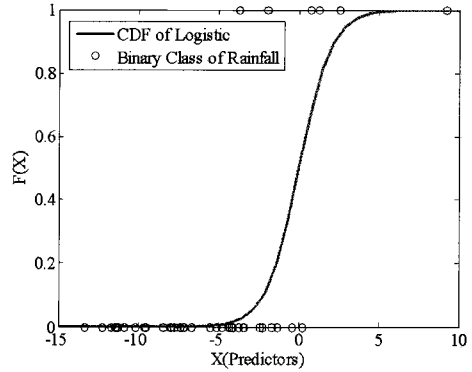
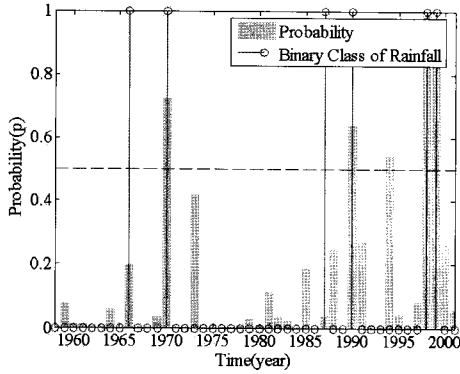


그림 12. 태풍의 발생 특성에 따른 평년강수량 이상의 강수가 발생할 확률 및 누가확률밀도함수(서울)

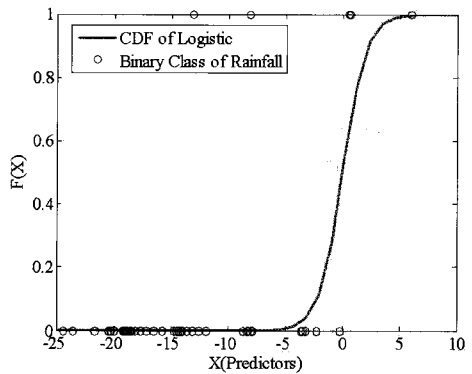
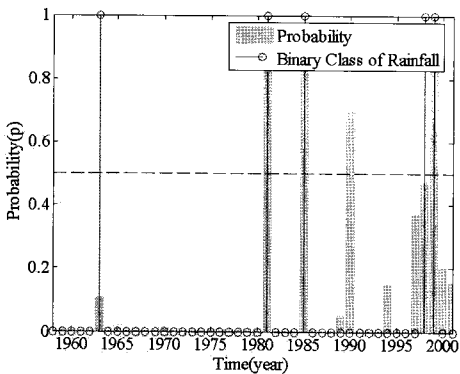


그림 13. 태풍의 발생 특성에 따른 평년강수량 이상의 강수가 발생할 확률 및 누가확률밀도함수(목포)

태풍의 발생은 해수면온도와 연관성이 매우 크며 이를 고려하기 위해서 해수면온도를 모형의 예측인자로 활용하였다. 해수면온도와 서울, 목포지점여름강수량과의 상관관계를 나타내면 다음 그림10, 그림11과 같다.

이러한 정보들을 활용하여 모형의 입력자료로 활용하여 결과를 도출하였다. 그림 12와 13은 추정된 모형을 바탕으로 실제 10년 빈도 강수량의 발생형태를 확률로 나타낸 것으로 그림에서 원은 실제 강수상이 10년 빈도 보다 많은 경우를 1로 그렇지 않은 경우를 0을 의미한다. 막대그래프는 모형으로부터 추정

된 확률을 나타내며 즉, 본 모형은 Bernoulli 사상이므로 확률이 0.5를 넘는 경우 사상이 발생할 가능성이 크다는 것을 의미한다. 이들 결과들을 토대로 실제 사상과의 일치여부를 검토한 결과 93%의 일치율 7%의 불일치의 결과를 얻을 수 있었으며 모형의 구성이 타당성이 있음을 시사하고 있다. 그림에 오른쪽 그림은 최종적으로 추정된 10년 빈도 강수량의 발생 누가확률밀도함수를 나타내며 여기서 축은 기상정보를 고려한 독립변수들의 조합을 나타내며 축은 이들 독립변수를 조건부로 추정된 누가확률밀도함수를 나타낸다.



## 5. 결론

우리나라에서 발생하는 극한강우사상의 발생원인은 크게 태풍과 집중호우로 구분할 수 있다. 태풍과 집중호우의 발생특성은 각각의 원인에 따라 상이한 특징을 갖고 있는 것으로 나타났다. 지역적으로 남해안과 동해안은 태풍의 영향을 많이 받으며, 발생하는 강우량의 불확실성이 매우 큰 것으로 나타났다. 반면에 집중호우는 경기와 충청 지역을 중심으로 장마철에 큰 호우를 유발시키는 것으로 나타났다. 또한 지속시간에 있어서도 태풍이 집중호우에 비하여 긴 시간동안에 중호우를 발생시키는 것으로 분석되었다. 호우의 원인별로 발생한 강우량의 평균은 집중호우가 큰 경우가 많았으나, 최대값은 태풍에 의한 경우가 많이 나타났다. 또한, 표준편차의 분석에서도 태풍에 의하여 발생하는 강우량의 편차가 보다 크게 계산되었다. 이는 태풍이 갖는 호우 특성은 여러 기후·기상학적 조건에 따라 큰 편차를 갖으며, 태풍 사상별

로 발생시키는 강우량의 차이가 매우 큰 것으로 확인할 수 있다. 따라서 우리나라에 극한강우를 유발시키는 호우사상을 집중호우와 태풍으로 구분하여 분석한 결과는 지속시간과 지역에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다. 그러므로 수공구조물의 설계시에 중요도와 지역에 따른 호우발생원인에 대한 검토를 수행해 볼 필요성이 있는 것으로 판단된다.

이러한 점에서 태풍특성과 같은 기상인자를 적극적으로 고려한 수문해석기법이 필요하며 본 연구에서는 계절강수량에 영향을 줄 수 있는 기상인자를 고려함과 동시에 이들 인자를 조건부로 하는 10년 빈도 강수량의 발생 확률을 분포형으로 제시하였다. 계층적 Bayesian Logistic 회귀분석을 이용하여 10년 빈도 이상의 강수량이 발생할 확률을 추정하였으며 서울과 목포 2지점 모두에서 44년 중 3개년을 제외한 41년에서 실측 자료와 동일한 정 분류율(classification rate)을 얻을 수 있었다. ☞

## 참고문헌

1. Kwon, H., Khalil, A., Siegfried, T. (2008), Analysis of Extreme Summer Rainfall, Using Climate Teleconnections and Typhoon Characteristics in South Korea, Journal of the American Water Resources Association, vol. 44, no. 2, pp. 436-448
2. 기상청(1996) 태풍백서.
3. 권현한, 문영일, 2007, 기상정보 및 태풍특성을 고려한 계절 강수량의 확률론적 모형 구축, 대한토목학회 논문집, Vol.27 No.1B, pp. 45-52.
4. 임기석, 최은호, 전무갑, 지흥기, 이순탁, (2002), "우리나라 태풍/전선의 이동과 호우 특성", 한국수자원학회 학술대회지 논문집(II), 한국수자원학회, pp. 1161-1166.