

## 부산지역에서의 강우와 산사태의 특성분석

한 중 근

대림대학 토목공학과

### The Characteristics Analysis of Landslides and Rainfall at Pusan Area

**Jung-Geun Han**

Dept. of Civil Engineering, Daelim College

#### ABSTRACT

Most of the natural calamities occurred in South Korea are due to rainfall, which are occurred during rainy season, June to September. The life-calamity reported in those seasons were over 75%, and the dead rate by the rainfall was about 98%. Especially, the disasters occurred in Pusan and Kyongsang-Namdo were highest of the whole country. The capability of landslide in this area was very high, which is included to Class 3 or Class 4 of disastrous risk grade suggested by the GIS system(Lee Su-Gon,1999). Those are based on the characteristics of topographical and meteorological data.

In this study, the rainfall characteristics in Pusan were analyzed through the relationship between the cumulative rainfall and the maximum hourly rainfall. The landslide in this area depends on the elapsed time after maximum hourly rainfall intensity, and the most of landslide in Pusan recorded during within 3 hours after pick-time of rainfall intensity.

Key word : *capability of landslides, rainfall intensity, elapsed time, Pusan*

#### I. 서 론

한국에서 발생되는 자연재해중 그 발생원인을 고려하면 재해발생율중 강우로 인한 재해가 주종을 이루고 있다. 산사태는 대부분의 경우 6~9월 사이에 발생하므로 강우와의 관계를 이용한 산사태의 발생특성 및 강우특성에 대한 연구가 많이 보고되고 있다. 특히, 홍원표 등(1990)은 우리나라의 지형적 특성, 산사태 발생 특성을 강우와 연관지어 최대시간강우강도와

누적강우량의 관계를 이용하여 전국을 지역특성에 맞게 제시하였다. 이수곤(1999)은 부산지역의 산사태위험지역에 대하여 산사태재해위험도를 GIS자료를 이용하여 그 지역의 분포특성을 산사태발생자료를 이용하여 제시하였다. 또한, 김영복(2000)은 충남지역의 상습침수지역에 대한 특성을 누적강우량과 해안성 및 내륙성특성으로 분류지어 지역특성을 설명하였다.

이와같이 산사태의 강우특성은 이미 많은 연구가 진행되어 오고 있으며 이들의 연구결과

선행강우량과 강우강도 그리고 산사태 발생빈도를 분석하여 지역별 특성을 제시하고 있다. 그러나, 산사태 발생이 일어나는 시기가 불명확하게 보고되어 있어 국내에서의 연구결과는 누적강우량, 강우강도에 의한 지형·지질특성 등에 국한되어 실시되고 있는 실정이라 할 수 있다. 따라서, 산사태발생시간을 정확히 알 수 있는 경우 산사태발생과 강우와의 관계를 좀더 실제적으로 고찰할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 부산지역을 대상으로 선택하여 부산지역에서 발생한 산사태를 기존의 강우패턴 분석방법과 산사태발생의 시간의존성에 대한 특성을 분석하여 보고자 한다.

## II. 자연재해

우리나라는 매년 각종 자연재해로 인하여 수백명의 인명과 수천억원의 재산피해를 입고 있다. 우리나라의 자연재해는 기상학적 자연현상에 의하여 발생되고 있으며 지반과 관련된 지반재해의 경우가 많다. 지반공학적 측면에서의 자연재해는 호우시 발생하는 사면붕괴(인공사면붕괴나 산사태), 하천제방붕괴, 옹벽 및 석축붕괴, 폭풍에 의한 해일 방조제붕괴 그리고 동결응해 등을 들 수 있다(홍원표, 1990).

### 1. 강우에 기인한 자연재해

우리나라의 자연재해의 원인으로는 태풍, 호우, 폭풍, 폭풍우, 대설, 폭풍설, 우박, 해일, 기타(낙뢰, 돌풍, 설해, 결빙, 지진 등을 포함) 등을 들 수 있다.

표 1은 1981년부터 1995년까지 15년간 우리나라에서 발생한 각종 자연재해의 원인을 정리한 결과이다(건설부). 표에서 보는 바와 같이 우리나라에서 발생하는 자연재해의 원인중 큰

원인은 호우, 폭풍, 해일, 우박, 태풍의 순으로 되어 있음을 알 수 있다.

이 중에서 호우에 의한 자연재해 발생빈도는 전체의 35.3%이고, 폭풍 및 폭풍우는 34.8%와 1.0%, 태풍은 8.0%에 달하고 있어 전체 재해발생 원인중 강우에 기인한 재해발생율은 79.1%로 3/4을 넘는다. 또한, 강우와 관련된 재해중의 상당부분이 산사태 발생에 의한 것이다.

### 가. 인명재해와 강우량

1981~1995년 15년간 발생한 년평균강우량은 1,257.4mm로 우리나라 년평균강우량 1,274mm과 거의 비슷한 기록을 보였으며, 1990년 이전의 년평균강우량 1,159mm 보다 년 평균강우량이 약 50mm 정도 상승되었다. 이는 온난화현상에 의한 전세계적 강우증가 추세와 일치하고 있다. 또한, 그림 1에서 보는 바와 같이 6~9월 기간동안 기록된 15년간의 강우집중률은 66.0%를 기록하고 있다. 한편, 강우량패턴에 대한 재

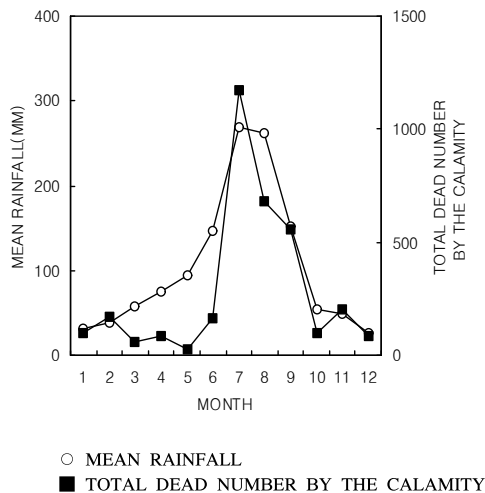


그림 1. 년평균강우량과 재해에 의한 전사망자수 ('81~'95)

Table 1. '85~'95' 사이의 자연재해(건설부)

자연재해 발생원인	태 풍	호 우	폭 풍	폭풍우	대 설	폭풍설	우 박	해 일	기타	계
총발생 회수	32	141	139	4	3	14	40	11	15	399
발생빈도 (%)	8.0	35.3	34.8	1.0	0.8	3.5	10.0	2.8	3.8	100

해사망률도 동일한 경향을 나타내고 있다. 즉, 호우피해가 가장 많이 발생하는 7~9월중의 사망재해율이 75.7%이고, 사망재해중 강우에 의한 사망률은 98.4%이고 이중 6~9월간 발생한 강우에 의한 사망률은 66.3%로 전체사망률의 2/3를 넘는 것으로 기록되었다(그림 2 참조).

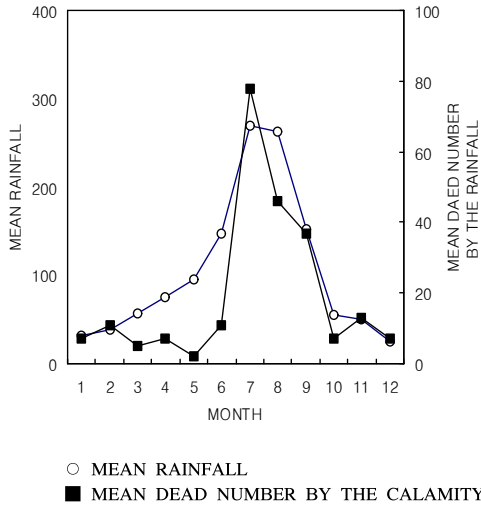


그림 2. 년평균강우량과 호우에 기인한 사망자수 ('81~'95)

나. 강우집중률과 재해현황

최근 10년간(1986~1995) 발생한 시도별 재해현황을 나타내면 표 2와 같다. 이는 지역별, 수계별, 행정단위별 등의 재해분류시 행정단위별 재해빈도가 재해원인에 따른 피해현황이 중복산정된 것이다. 표에서 보는 바와 같이 재해발생 및 재해피해율은 행정단위별로는 경남, 전남순이고 시도별 현황으로는 부산, 광주순으로 재해발생수가 많은 것으로 기록되었다. 따라서, 본 연구에서 다루고자 하는 부산지역은 행정구역별로 경남과 부산을 통합하면 전체의 19.8%를 나타내고 있다.

한편, 우리나라 봄·가을의 강우집중률은 연 강우량의 약 15% 및 20%에 해당하며 겨울의 강우는 대부분 강설에 의하므로 강우집중률은 5~10%정도의 집중률을 나타낸다. 부산지방에 대한 1981년부터 1995년까지 15년간의 강우집중률은 66.3%가 되었으며 부산 및 경남지역의 년평균강우량이 1988년, 1994년 및 1995년을 제외하고는 우리나라 년평균강우량보다 모두 300mm 이상을 기록하였다.

III. 부산지역의 지형 및 강우특성

1. 지형특성과 재해위험도

가. 지형적 특성

우리나라의 지형적 특성은 그림 3에서 보는 바와 같이 3개의 지역으로 구분될 수 있으며 홍원표 등(1990)이 구분한 강우특성과 연관된 지역별 특성을 주요 산맥을 기준으로 구별한 것과 동일하다. 즉, 추가령지구대이남과 태백산맥의 서쪽 그리고 노령산맥과 소백산맥의 북쪽인 중부지역, 노령·소백산맥의 이남인 전남, 경남북 지역인 남부지역, 그리고 태백산맥동쪽인 영동 지역으로 구분될 수 있다. 이중 본 연구에서 다루는 부산지역은 남부지역의 동쪽 끝, 태백산맥의 끝자락에 위치하고 있어 높은 산악지역과 해안이 접한 지역으로써 대부분의 부산은 산등성이며 평야는 김해평야에 접하고 있어 거주지역으로서는 적합하지 않는 지역이라 할 수 있다. 또한, 이수곤(1999)은 부산지역의 산사태재해위험을 사면의 경사도 및 수계연변의 가중치를 고려한 개발특성별 재해위험도를 표시한 것으로 GIS조사 결과를 토대로 부산지역의 지형특성을 그대로 재해위험도 분포를 그림 4와 같이 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 부산지역에서 발생

Table 2. 최근 10년간(1986~1995) 시도별 재해현황

시도	서울	부산	대구	인천	광주	대전	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경북	경남	제주	합계
발생횟수	9	24	1	10	12	9	111	133	83	93	67	180	119	185	18	1,054

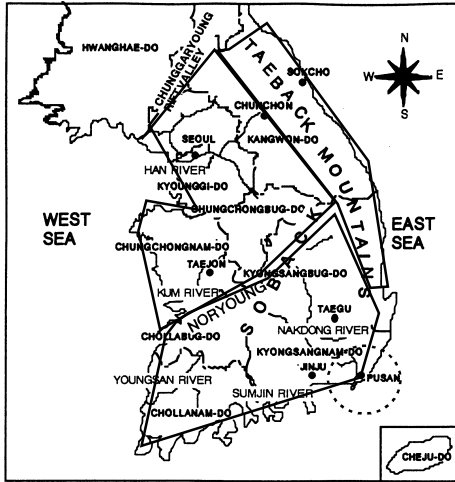


그림 3. 우리나라 지형도

된 산사태는 재해위험도상 Class 3과 Class 4지역에 속하는 지역이 43% 이상을 차지하고 있어 지형상 산사태의 발생가능성은 대단히 높다 할 수 있다.

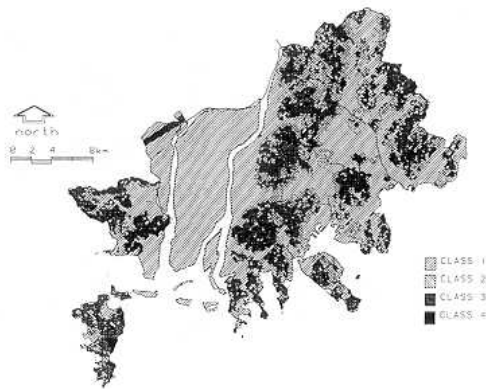


그림 4. 부산지역의 산사태재해 위험도(이수곤, 1999)

나. 지질적 특성

부산지역은 용기지형의 특징을 갖는 동해안선의 직선의 끝자락에 위치하여 한국방향의 특성을 가지고 있으며 백악기의 경상누층군과 불국사 화강암이 분포하는 지역으로 산계(山系)의 방향이 없으며 험준한 지형의 구조를 갖고 있다. 그러나, NS 및 NNE방향의 대단층이 발생하고 있어 소규모의 산계와 단층곡(斷層谷)이 현저히 발달하고 있다. 또한, 북쪽에서 남쪽으로

갈수록 젊은 지질적 특성을 갖고 있고 암종은 화강암, 화산암, 퇴적암등 다양한 분포를 가지고 있으며(장태우외, 1995) 전반적으로 중간 정도의 풍화상태이며 산 정상부에서는 암석이 돌출된 경우 풍화토층의 발달이 거의 없지만 대부분 경사가 급한 산록부에서도 풍화토층이 3~4m 두께 이내로 비교적 얇게 남아 있고 산하부와 평지에도 10m이내의 비교적 두께가 얇은 풍화토층이 분포하고 있다(이수곤, 1999). 한편, 최경(1986)은 산사태발생특성은 자연사면의 경우 사면의 길이가 5m~20m인 경우가 가장 많고 60m 이하가 90%, 1~2m 깊이의 산사태는 90%로 국내에서 발생하는 대부분의 산사태는 소규모라고 제시하였다. 따라서, 부산지역의 산사태 발생가능성은 산록부에서는 천층의 무한사면과괴 발생가능성을 예시할 수 있으며 조사결과와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

2. 부산지역의 강우특성

가. 우리나라의 강우특성

우리나라는 온대성기후에 사계절이 뚜렷하며 계절별 그 특성이 완전히 다르다. 또한, 년평균 강우량이 1,274mm로 다우지역에 속하며 온난 다습한 북태평양고기압인 남동몬순의 영향으로 강우량이 많은 우기와 북서몬순의 건조한 시베리아기압의 영향을 받아 건기의 구별이 뚜렷하다.

이러한 기후특성에 봄철의 온대성 저기압, 여름철의 열대성저기압 및 이동성고기압, 그리고 북태평양고기압과 오호츠크고기압에 의한 전선성강우로 인한 강우의 특성이 우리나라에 영향을 미치는 강우특성이라 할 수 있다. 이를 근거로 홍원표 등(1990)는 지역특성과 강우특성을 근거하여 우리나라의 강우특성이 미치는 영향범위를 3개 지역, 즉, 중부지역(경기도, 충청도, 전남북부지역), 영동지역(태백산맥동쪽지역) 그리고 남부지역(중부지역을 제외한 전라도, 경상도지역)으로 구분하였으며 강우영향특성을 각각, 집중호우, 특별지역, 태풍영향권으로 구별하여 제시한 바 있다.

상기의 연구결과는 단지 전체지역을 구분한

것이므로 김영목(2000)이 제시한 것처럼 그 지역마다 특성이 약간씩 다를 수 있을 것이므로 이를 토대로 그 지역특성을 고찰할 수 있다. 특히, 최근에는 케릴라성 호우특성이 지형특성과 강우특성이 어울려 다르게 분석될 수 있으므로 오히려 홍원표 등(1990)이 제시한 자료를 근거로 지역별 특성을 추가하여 사용하는 것이 합리적일 것이다.

나. 부산지역의 강우특성

우리나라는 기후적 측면으로 보면 열대지역과 한대지역의 경계지역에 위치하고 있으므로 전선, 고기압, 저기압 등의 통과가 빈번하다. 전술한 바와 같이 우리나라의 강우는 년평균 강우량의 약 70%가 6월에서 9월 사이에 집중강우형태로 발생하고 있다.

부산지역의 1982~1991년의 10년간 호우 및 태풍피해로 인한 주요 산사태 발생빈도를 살펴보면 표 3과 같다. 표에서 보는 바와 같이 부산지역은 7, 8월의 호우, 태풍의 영향을 많이 받는 것을 볼 수 있다. 또한 산사태 발생빈도는 1985년 1회, 1987년 6회, 1989년 7회, 1991년 9

Table 3. 강우로 인한 산사태 발생빈도(부산, '82-'91)

구 분	6	7	8	9	계
발생회수	-	8	15	-	23
빈도(%)	-	35	65	-	100

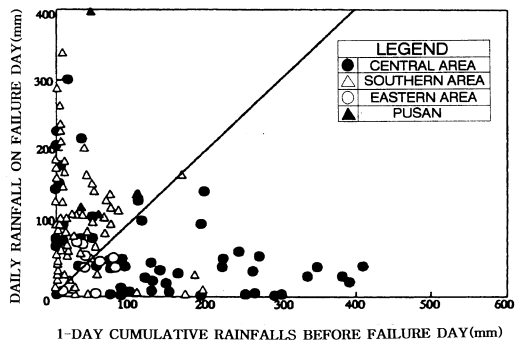


그림 5. 산사태발생일의 일일강우량과 발생전일의 1일 누적강우량과의 관계

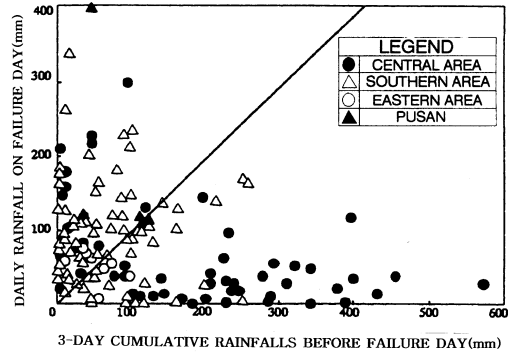


그림 6. 산사태발생일의 일일강우량과 발생전일의 3일 누적강우량과의 관계

회를 기록하였으며, 이때 사용된 산사태발생위치는 강우량 분석지점이 동일하여 중복되어 표시되었다.

한편, 부산지역에서 발생된 산사태와 강우의 관계를 홍원표 등(1990)이 제시한 국내 강우량 조사분석방법에 따라 부산지방에서 발생된 산사태를 선행강우량의 관계로 표시하였으며, 산사태 발생일전 1일, 3일 그리고 7일간의 강우량에 대해 각각 그림 5~그림 7로 도시하였다.

그림에서 보는 바와 같이 부산지역에 대한 강우특성은 홍원표 등(1990)이 구분한 지역적 강우특성과 일치하는 것을 알 수 있다. 즉, 남부지역에서의 산사태 발생형상과 거의 일치하며 부산지역에서의 산사태와 태풍에 의한 호우에 영향을 많이 받는다고 할 수 있다.

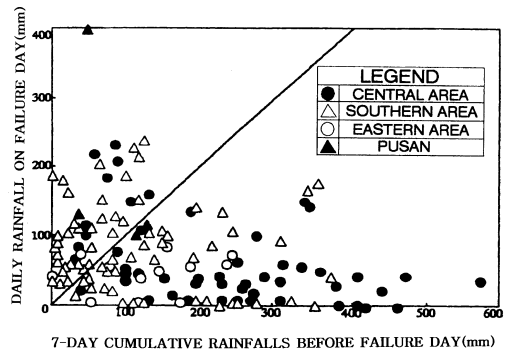


그림 7. 산사태발생일의 일일강우량과 발생전일의 7일 누적강우량과의 관계

강우강도와 관련한 부산지역에서의 산사태 발생은 그림 8~10에서 보는 바와 같이 남부지역의 강우특성과 전형적인 연관성을 보여준다. 최대시간강우강도와 관련한 부산지역의 산사태발생시기는 최대시간강우강도가 기록되는 때 혹은 직후에 거의 발생되고 있다. 따라서 본 지역에서는 누적 강우량보다도 강우강도에 많은 영향을 받으며, 최대시간강우강도와 시간강우강도의 발생빈도는 산사태 발생의 중요한 요소이다.

3. 산사태발생빈도와 강우

산사태 발생빈도와 강우강도 그리고 누적강우량의 관계를 홍원표 등(1990)이 제시한 방법을 토대로 하여 부산지역에서 발생한 산사태발생지점의 중복을 고려하여 그림 11과 같이 나타내었다. 또한, 홍원표 등(1990)이 제시한 바와 같이 부산지역의 산사태 발생규모를 산사태발생회수를 바탕으로 소규모(3개소 이하), 중규모(19개소 이하) 그리고 대규모(20개소 이상)로 구분하여 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 부산지역에 발생한 산사태는 중규모이상의 대규모파괴가 발생한 것을 볼 수 있다. 또한, 부산지역에서 발생한 강우특성을 최대시간강우강도와 파괴당일 및 전일의 누적강우량과의 관계로 다시 검토하여 부산특성에 맞는 기준을 재설정하면 다음과 같이 조사되었다.

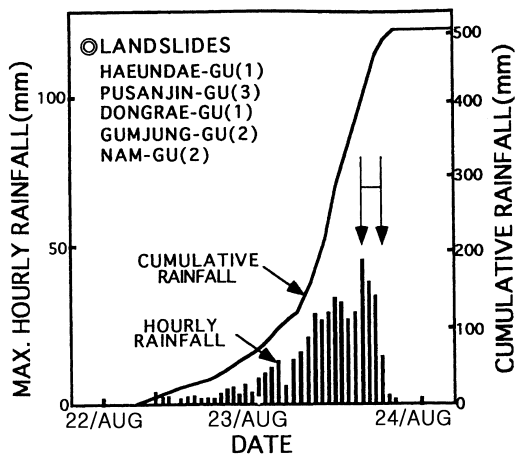


그림 8. 1991년 부산에서 일어난 산사태와 강우강도

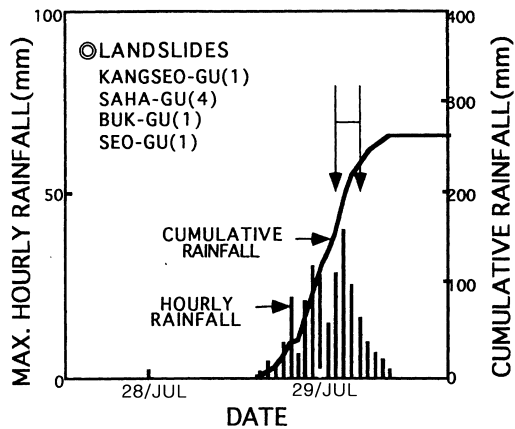


그림 9. 1989년 부산에서 일어난 산사태와 강우강도

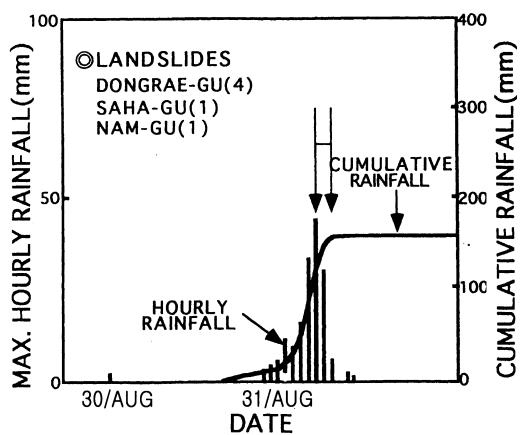


그림 10. 1987년 부산에서 일어난 산사태와 강우강도

즉, 산사태발생가능성 95%이상의 경우에 대하여 소규모파괴의 최대시간당 강우강도와 누적강우량은 각각 10mm-40mm에서 18.4mm-79.7mm, 중규모파괴는 15mm-80mm에서 23mm-110mm로 그리고 대규모 산사태의 경우, 시간 최대강우강도와 누적강우량은 35mm-80mm에서 각각 42.8mm와 153.2mm로 재평가되었다. 즉 홍원표(1990) 등에 의해 제안된 산사태발생예보 체계는 그 지역특성에 맞추어 조절하여 제시하는 경우, 부산지역은 약간 상향 조정하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 한편, 부산지역에서 일어난 산사태는 최대시간강우강도와 누적강우량은 각각 재 고찰된 파괴규모중 중규모파괴이상의 파괴규모로 나타났다.

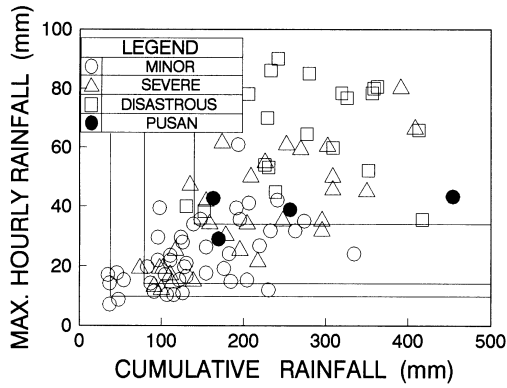


그림 11. 부산지역의 10년간 산사태 발생규모별 최대 시간 강우강도와 누적강우량(전일+당일)의 상관도

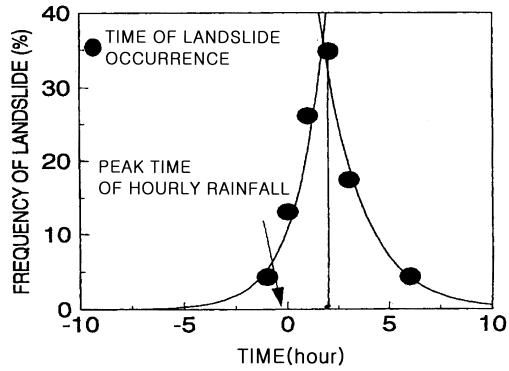


그림 12. 산사태발생 시간특성

#### IV. 산사태발생의 시간의존성

부산지역에서 발생한 산사태를 산사태발생빈도와 산사태발생시간 관계를 그림 12와 같이 나타내었다. 이때 적용된 산사태발생시간은 그림 8~그림 10중에서 시간단위의 오차를 갖는 산사태발생시간 자료를 선정하여 적용하였다. 그림에서 보는 바와 같이, 산사태 발생의 빈도는 최대시간강우강도로 기록하기 직전부터 급격히 증가하며, 최고 강우강도 발생시간후 1.8 시간에서 산사태발생 최대 빈도 36.7%를 나타내었다.

또한, 산사태 발생빈도는 최대강우강도 발생 시간후 3시간동안의 빈도는 90%를 넘는 것을 알 수 있다. 따라서 시간에 대한 최대시간강우강도의 관계를 고려하여 볼 때 밀접한 관련이 있음을 알 수 있으며 부산지역에서 발생한 산사태는 최대시간강우강도와의 관계를 고려하여 보면 최대시간강우강도 발생시간부터 3시간까지 가장 많이 발생하였음을 알 수 있었다. 따라서, 부산지역의 경우 강우강도패턴을 자세히 조사하고 산사태발생시간을 좀더 정확히 조사한다면 부산지역에서의 산사태발생예측면에서 새로운 특성을 조사·예측할 수 있을 것으로 사료된다.

#### V. 결론 및 요약

강우로 인하여 발생하는 산사태 발생기록에 근거하여 부산지역의 산사태발생특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 우리나라에서 발생하는 재해중 강우에 의한 피해는 약 70% 이상이며 그중 전체 인명피해의 약 70%는 우기철에 발생하는 것으로 조사되었다.
2. 부산 및 경남지역의 강우집중률에 따른 재해발생빈도는 행정구역별 및 시도별 구분에서 최고치를 나타내었다. 이러한 특성은 GIS기법을 이용한 기존의 재해위험도분석 결과와 일치하였다.
3. 부산지역의 강우패턴은 지형·지질 및 기상학적으로 남부지역의 전형적인 경향과 비슷하며 기존에 제시된 최대시간강우강도와 누적강우량을 이용하여 검증할 수 있었다.
4. 산사태발생규모에 대한 강우패턴은 기존 예보시스템과 거의 일치하였고, 부산지역의 경우 강우강도의 경우 약 5~10mm, 누적강우량의 경우 30~70mm 정도 상회하는 예보기준의 재고찰이 필요함을 제시되었다.
5. 부산지역의 산사태발생가능성을 예측하기 위하여 최대시간강우강도발생 시점을 기준으로 나타내면 최대강우강도가 기록된 후 90%이상의 산사태발생빈도를 보인 최대강우강도발생후 3시간이내에서 가장 크게 나타나고 있다.

상기와 같이 산사태발생시기를 정확히 알 수 있는 경우 각 지역별 산사태발생시스템의 확립에 보다 나은 자료로 활용할 수 있을 것이므로, 산사태발생의 규모 및 발생시기 등의 정확한 조사가 반드시 필요할 것이다.

### 인 용 문 헌

- 姜胃平·禹保命. 1981. 85년 7월 釜山 門峴洞 山沙汰 災害에 關한 研究. 韓國林學會誌. 70 : 77-83.
- 건설부. 1981-1995. 재해년보.
- 김영목. 2000. 한국지반공학회지.
- 내무부. 1995. 재해연보, pp.36-41, 746-789.
- 이수곤. 1988. 한국의 산사태 조사연구, 한국동력자원연구소. 165pp.
- 이수곤. 1999. 부산지역의 산사태 위험 연구. 환경복원녹화기술학회지. 2(2) : 9-23.
- 元種寬외 5인. 1995. 地質學原論. 祐成出版社.
- 장태우·강필중·박석환·황상구·이동우. 1983. 부산·가덕의 지질도(1 : 50,000). 한국동력자원연구소.
- 최 경. 1986. 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구. 강원대학교 박사학위논문.
- 한중근. 1997. 역지말뚝을 이용한 사면의 안정 해석 및 설계. 중앙대학교 박사학위논문.
- 홍원표. 1990. 우리나라의 자연재해 상황통계. 대한토목학회. 7(1) : 93-99
- 홍원표·한중근·김상규·김마리아·김윤원. 1990. 강우로 기인되는 우리나라 사면활동의 예측. 대한토질공학회지. 6(2). 55-63.
- Brand, E. W. 1985. Special Lecture, landslides in Hong Kong. 8th SAGC. Kuala Lumpur. Malaysia : 1-15.
- Brand, E. W., Prenchitt, H.B. and Phillipson, H.B. 1984. Relationship between rainfall and landslides in Hong kong. Proc. of 4th ISL, Toronto : 377-384.
- Lumb, P. 1975. Slope Failure in Hong kong. Quart. Jour. of Engineering. Geology. London. 8 : 31-65.

接受 2000年 12月 3日