

부산지역의 산사태 위험 연구

李 壽 坤¹⁾

¹⁾서울시립대학교 토목공학과

A Study on Potential Risk of Landslide in Pusan

Lee, Su-Gon¹⁾

¹⁾Department of Civil Engineering, College of Urban Sciences, University of Seoul

ABSTRACT

Pusan's reputation as the nation's most crowded city in terms of population density is attributable to its huge mountains which allow only small portion of residential area to its large population. Rapid increase of urban population on limited amount of land had naturally led its developments efforts to mountainous area giving rise to the concern of potential landslide. This study on urban Pusan and 「Landslide Hazard Map」 thereof is prepared in an attempt to avoid disasters created by landslide and also as a reference for city planners.

The Map shows that the area covering 38% to 43% of urban Pusan has the potential for landslide. The study also shows that various civil works involving massive land excavation had been more direct cause of landslides in Pusan than such traditional factors as locations, ground slopes, rock types and topography of the area concerned.

Key words : *landslide, Slope stability, Landslide Hazard Map*

I. 서 론

우리 나라에서 매년 여름에 빈번히 발생하여서 많은 인명과 재산 피해, 교통두절, 공사기간 연장 등 유무형의 국가적인 피해가 막심하다. 부산지역은 인구가 약 500만명으로서 제2의 도시이지만 인구 밀도가 가장 높고 산악지형이 대부분이므로 택지의 부족으로 인하여 산능성 부근까지 개발이 급속하게 진행 중이므로 가파른 경사로 인하여 무계획적인 개발은 차후에 광범위한 산사태 위험을 내포하리라 판단된다. 그러므로 부산지역에서 광역적인 산사태 가능

성을 검토함과 아울러서 재해예방차원의 도시 계획기준인 「산사태 재해 위험도」를 작성하였다.

본 연구방법은 지형, 지질자료를 기본으로 하였고 인공위성 및 항공사진으로 광역적인 지형과 지질특성도 판독하였다. 또한 기존에 부산지역에서 발생한 산사태 다발지역의 자료를 습득하기 위하여 부산 시청 등 관련 부서에서 자료협조를 얻었고 또한 신문지상의 기사자료도 참고하였고 대표적인 산사태지역을 답사하여 지형과 지질특성, 산사태의 현황 및 특성을 확인하였다. 그후에 산사태에 영향을 주는 주

요 자연적인 요소인 지형 및 지질 요소들을 도출하여 컴퓨터로 종합 분석함과 아울러 외국자료도 참고하여 산사태 위험 가능지역을 추출해내는 산사태 재해 위험도를 작성하였다. 그리고 산사태 재해위험도와 실제로 발생한 산사태 다발지역을 서로 비교 분석함으로써 부산지역의 산사태 특성을 분석하였다.

II. 자연 현황

1. 지형지세

부산은 한반도 동남단에 위치한 곳으로 한반도의 척추인 태백산맥의 주맥이 갈라져 그 중간줄기는 원효산, 금정산(790m), 백양산(642m), 구덕산(562m), 다대포로 뻗어 있고, 다른 한줄기는 장산(634m), 금련산(350m), 봉래산 등으로 약 70%가 산으로 형성된 산악지형이 많다. 낙동강 동편에서의 능선의 발달은 바다와 접하는 송도 및 다대포 반도와 영도에서 북북서로 발달되어 있고, 그 북쪽은 더 불규칙한 편으로 대체로 구덕산 지역의 승학산 - 구덕산 - 고원전산 - 수정산 능선은 북동으로, 금련산 지역의 능선들은 남북방향으로 발달되고 있다. 이와 같은 능선발달의 불규칙성은 지질분포와 밀접한 관련을 갖는다고 할 수 있다. 즉 동일암층의 분포가 일정지역에 몰려 분포하는 것이 아니라 곳곳에 고립된 형태로 산재하여 분포한다는 것이다. 더구나 이들 암층들은 우리 나라에서는 비교적 오래되지 않은 지층들로서 기타의 일반적인 변성암류들과 같이 지형발달을 규제하기도 하는 내부구조인 편리, 벽개 등도 발달시키지 않고 있으며, 양산단층, 동래단층을 제외하고는 지형을 규제하는 단층이 뚜렷하게 인시되지 않는다.

또한 부산시의 서쪽으로는 낙동강 하구일대의 거대한 서부평야, 남쪽으로는 바다, 북쪽으로는 금정산 등이 시가지를 자연스럽게 구획하고 있으며 비교적 높고 험준한 금정산(790m)에서 남서방향의 승학산까지 흐르는 산지와 금정산에서 해운대 장산으로 흐르는 남동방향의 구릉성 산지가 선형으로 형성되어 있고 500m 내

외의 이들 구릉성 산지가 부산만을 병풍처럼 둘러싸고 있다. 부산 시가지는 부산항내의 해안 일대와 산지사이의 협곡과 분지를 따라 전개되고 있으며 주도심은 지역의 남북축을 중심으로 발달되어 있어 이들 주요 발전축은 인근 고지대까지 자연발생적으로 주거지가 밀집하는 등 토지 이용 측면에서 볼 때 도시공간 구조가 지극히 불량하다. 황령산, 고원전산, 백양산 등의 산지가 시가지를 분절하고 있고 해발 40m 이상의 높은 지역에 시민의 21%가 거주하고 있다.

2. 지질, 질리 및 단층, 풍화

부산지역은 국내의 다른 지역에 비하여 암석의 종류가 화강암(심성암), 화산암, 퇴적암 등으로 다양하게 분포하고 있고 단층과 같은 불연속면이 자주 관찰되고 있다(장태우 외, 1983). 각 암종별 지역분포 및 발달특성은 다음과 같다 :

화강암류의 일종인 불국사 관입암류로는 반려암, 각섬석화강섬록암, 흑운모화강암이 있다. 반려암은 진구 전포동 부근에 소규모의 암주상으로 분포되며 안산암질 화산각력암 및 안산암을 관입하고 있다. 각섬석화강섬록암 남구 감만동 부근, 수영 공항 좌측 등지에 소규모로 분포하며 흑운모 화강암은 사상부근과 당감동 부근에서 분포한다. 화산암류의 일종인 안산암류는 금연산일대 및 용호동지역, 서구 송도 괴정동 및 다대포 일대에 분포한다. 암회색응회질 퇴적암은 대연동 일대, 영도구 태종대, 북구 엄궁동 부근에서 분산되고 고립되어 불연속적으로 분포한다. 이 퇴적암은 암회색을 띠는 부분이 가장 많고 회색 암회색을 띠우기도 하는 사암과 이암으로 구성된다. 이 암석은 대연동 일부지역을 제외하고 여러변질을 받다 대개 호온헬스로 산출된다. 특히 엄궁동 부근에서는 바로 접촉하고 있는 화강암으로 부터 열변질을 심히 받아 탈색화 되어 있다. 유문석영안산암질 화산 각력암은 영도에 비교적 넓게 분포되고 해운대 중동 근처에서는 소규모로 분포한다. 유문암질 암석은 남구 민락동, 해운대 우

동, 중동 부근에 주로 분포되며 야외에서는 안산암질 화산각력암, 안산암, 유문 석영 안산암질 화산각력암을 피복하고 있다. 퇴적암류의 일종인 최하부층인 유천층은 서남부와 북동부에 넓게 분포하고 있으며, 금정산 북부 산정, 금정봉 산정과 금연산 산정에서는 안산암질 암석의 상부에 분포한다. 서남부의 다대포 부근에서는 적회색 셰일, 적색 셰일, 회색사암, 역암등으로 구성되며 북동부의 금연산 부근에서는 흑색 내지 암회색의 셰일, 세립사암으로 나타난다. 이들은 후기 화성암의 관입을 접촉변성작용을 받아 호온펠스화로 변질되어있으며, 안산암질 화산각력암은 구덕산 고원전산 승학산 천마산 신평동의 넓은지역에 대규모로 분포하며 그 일대엔 대체로 지형이 높고 험하다. 또 남구 문현동, 우암동 및 용호동, 해운대의 와우산 일대 등에도 넓게 분포하며 이 암은 전반적으로 심한 열변질을 받았기 때문에 신선한 노두보다는 풍화받은 노두 표면에서 각력과 기질과의 경계가 더 뚜렷하다. 일반적으로 괴상(massive)이기는 하지만 용호동, 신평동, 당리동, 고원전산 등지에서 각력이 조립인 것과 세립인 것이 교차하면서 층상구조를 뚜렷하게 보여준다.

부산지역에는 절리와 단층들이 많이 관찰되는데 화강암에는 절리가 많은 편이고 특히 수직절리의 발달이 우세하다. 화산암은 절리가 보통 발달하는데 절리방향이 불규칙한 편이다. 퇴적암에는 층리발달이 뚜렷한 편이다. 단층으로는 양산단층과 동래단층이 있으며, 양산단층은 경주에서부터 시작하여서 남쪽으로 언양, 양산, 김해를 거쳐 낙동강 하구로 내려오는 약 N10E 방향의 대단층으로 일명 언양단층이라고 불리우고 있는 주향이동 단층이다. 동래단층은 울산 양산 동래로 이어 내려와 서면과 영도대교 쪽으로 뻗는 단층이며 양산단층과 거의 평행하게 발달된다. 기타 단층은 송도에서 사하구 하단동으로 연결되는 서북방향의 단층(괴정동 삼성중학교 근처에서 단층으로 확인되며 거의 수직경사를 보여주고 있다.)과 서구 신평동 배고개 부근의 소규모 단층을 제외하곤 확인이

용이하지 않는 추정단층이다.

부산지역의 전반적인 풍화발달 정도는 보통인 편이다(이수곤, 1988, 1993). 부산에서는 산 정상부에는 암석이 돌출된 경우에는 풍화토층의 발달이 거의 없지만 대부분 경사가 급한 산록부에도 풍화토층이 3~4m 두께 이내로 비교적 얇게 남아있고, 산하부와 평지에는 풍화토층이 5~10m 두께로 두껍게 발달하고 있다.

3. 수계 및 지하수

부산지역의 수계는 북에서 남으로 흐르는 낙동강과 수영강이 바로 바다로 유입되고 있고 그 외엔 바다와 연한 육지에서 여러 개의 작은 세천들이 발달되어 있다.(그림 7) 부산에서는 수계부근에서는 지표면 가까이 지하수위가 분포하지만 산지에서는 지표면에서 깊게 지하수위가 위치하므로 지하수위가 다양하게 분포하는데 간혹 지하수가 비교적 파쇄가 많이된 암반틈새로 용출되는 것도 빈번히 관찰된다.

Ⅲ. 부산지역의 산사태 특성

1. 자연적인 산사태

부산지역은 경사가 급한 산록부에도 풍화토층이 비교적 얇게 남아있어서(3~4m 두께 이내), 다음과 같은 산사태가 발생하는 것이 특징이다.

1) 암반 붕괴

경사가 급한 산록부에는 풍화토가 없고 노두가 그대로 노출되어 있어 암반사면의 안정성이 문제가 된다. 수직절리가 우세한 곳은 대체로 층상절리의 발달이 미약하여므로 이 경우에는 수직절리를 따라서 전도파괴(Toppling failure) 형태의 암반낙하가 많은 편이다(Hoek and Bray, 1981). 간혹 수직절리의 발달이 미약한 곳에서 많이 형성하는 층상절리(Sheeting joint)를 따라서 평면파괴(Plane failure) 형태의 암반붕괴도 산록부에서 빈번히 발생한다. 특히 이 층상절리가 극히 풍화되어 있으면 암반의 붕괴 위험성이 증대된다(Hoek and Bray, 1981). 산 상부지

역에서부터 하부지역으로 굴러 떨어진 다양한 크기의 암반들이 관찰되는데 이는 부산지역이 암반 붕괴가 빈번하다는 것을 암시하고 있다.

2) 토석류 붕괴

경사가 급한 산록부에서 풍화물질이 약 2~3m 두께로 쌓여 있는 풍화토가 토층내에서 붕괴(Debris flow)하거나, 주로 토층과 약간의 풍화암석이 기반암의 상부를 따라서 산사태가 발생(Debris avalanche)한다(Woo and Belt, 1978). 부산의 산 주변에는 표층의 유실을 막기 위하여 석축으로 사방공사한 구조물들이 자주 관찰되는데 이들은 본 지역들이 산사태 상습지역이라는 것을 지적하는 것이다. 이와 같이 국내의 지반에서 많이 발생하는 Debris flow나 Debris avalanche형태의 산사태는 그 모양이 간혹 두, 세개로 꺾이면서 파쇄되는 양상을 보인다. 풍화토가 발달되어 있는 산중턱이나 하부에서 흙과 돌덩어리가 무너져 내리는 Debris flow와 Debris avalanche형태의 산사태는 주로 국부적

으로 가파른 사면(대부분 사면 경사가 30°~40°)에서 일어나면 그 크기는 대체로 전장 높이가 20m 이내로 대체로 규모가 작다. 부산인근의 언양지역에서 조사된 결과는 그림 1과 같다(이수곤, 1988).

상기와 같은 자연적인 산사태 위험성은 다음과 같은 인위적인 요인들로 인하여 더욱 증대되고 있다.

2. 개발에 따른 산사태 가능성의 증대

이수곤(1988)과 건설부(1988)가 조사연구한 바에 따르면 국내의 산사태로 인한 위험은 도시 주변의 주택이 밀집한 급경사 지역이고, 특히 택지의 과도한 개발로 인한 인위적인 사면의 변형(예를 들면, 사면하부를 절개) 요인이 산사태 발생의 주요 원인이라고 밝히고 있다. 급경사 주택 밀집지역에서는 비록 소규모의 산사태 발생으로도 대규모의 인명피해를 초래할 수 있다. 그런데 산지에서의 도시개발에 따른 산사태 발생 가능성은 다음과 같은 3가지 인위적인

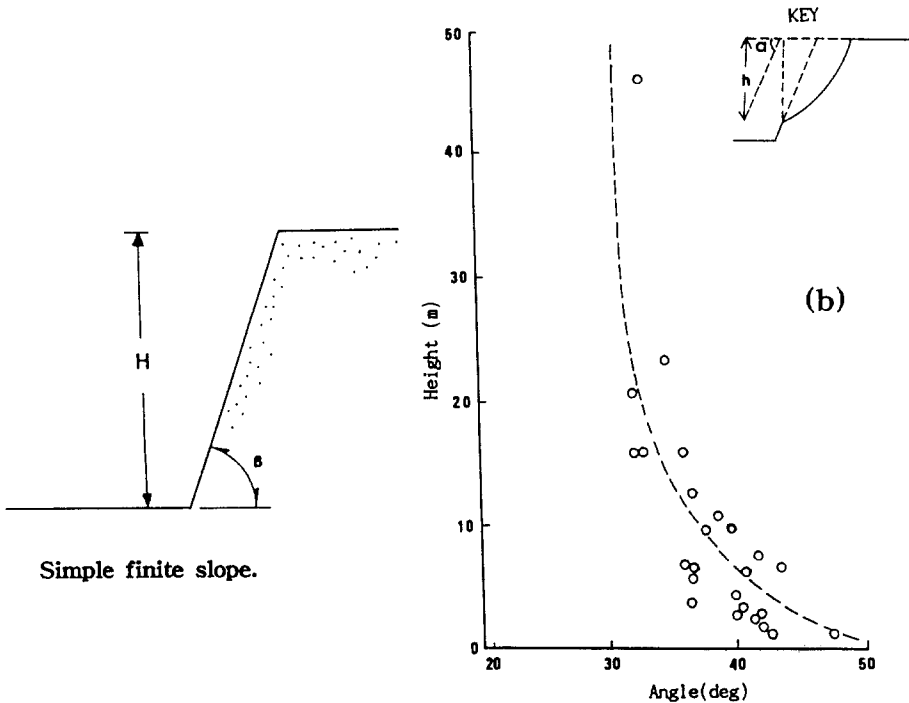


그림 1. 부산인근 언양지역에서의 기존 발생한 산사태 분석결과 : Debris flow와 Debris avalanche 형태의 산사태 규모의 표시로서 지표면 높이와 지표면 경사를 표시.

요인들로 인하여 더욱 촉진되고 있다.

1) 식생의 제거

택지 개발을 위하여서는 부산의 산지에서 울창하게 발달하고 있는 나무를 제거하는 것이 필연적인데, 나무의 제거로 인한 대규모의 산사태 및 토사유출과 강우의 유속을 빠르게 하여 집중강우시 큰 재해를 야기시킬 수 있다. 나무는 지하수의 침투수량 감소시켜서 홍수시 급격한 표면수의 유출을(유속이 빨라진다) 방지하여 강우로 인한 재해를 방지할 뿐만 아니라 지표면의 침식을 줄여 폭우시 과도한 토사 유출로 인한 재해도 방지한다. 매년 부산에서 산사태가 발생하는데 대부분이 도로나 택지개발을 위하여 식생을 제거한 곳에서 발생하고 있는 것으로 분석되고 있는데 이 사실은 식생이 폭우로 인한 재해를 크게 방지하는 효과가 있음을 보여주는 좋은 사례이다.

2) 국부적인 토지 개발시에 과도한 높은 절토 및 안전거리 미확보

급경사지 하부에 주택을 신설하거나 기존주택 부근에 급경사 절개지를 형성할 경우에 절개지와 주택간에 충분한 안전거리를 유지하여야 한다(그림 2).

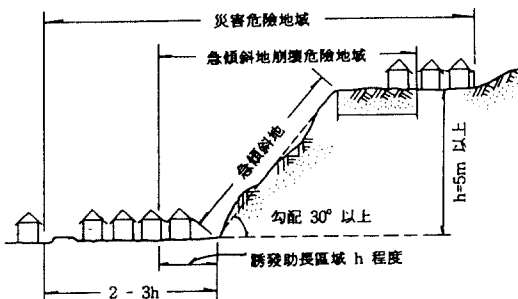


그림 2. 급경사지 붕괴위험지역의 설계 요령

이에 대한 국내 기준도 있는데, 대한주택공사의 경우는 “절개지(옹벽) 높이의 거리 이상 이격하여서 건물을 배치하도록 규정”하였다. 그리고 건설부 법규(1995)는 “비탈면 높이 만큼의 이격거리를 확보하여서 건물을 배치하여야

하나, 단 예외규정으로서 그 비탈면의 토질과 경사도 등으로 보아 건축물의 안전상 지장이 없다고 인정하는 경우에는 그러하지 아니한다”고 정의하였다. 여기서 안전하다고 누가 판단하는가에 대해서는 명확한 규정이 없으므로 건축주가 임의대로 이러한 예외규정에 따라서 비탈면에 바짝 붙여서 건축물을 지어도 가능하도록 허용하였다. 또한 일본의 기준은 “급경사지 높이(5m 이상의 경우)의 거리정도를 붕괴위험 구역으로 지정하여 주택을 지을 수 없도록 규정”하였다(Nakamura, 1990). 그러나 현재 부산의 산지에서는 급경사 지역의 토지이용을 극대화하기 위해서 재개발 등의 가옥건설을 위한 평탄면 조성을 위하여 높은 절토와 성토작업과 급경사의 높은 옹벽공사가 수행되고 있으나 충분한 안전거리를 지킬 여유토지가 부족하여 급경사의 높은 옹벽과 옹벽인근의 많은 기존가옥이 위험상태에 놓여 있다.

또한 옹벽뒤의 성토층이 충분히 다져지지 않을 경우 집중강우시 붕괴의 위험이 있고, 또한 옹벽시공시에 보조하여 사용하는 앵커는 충분한 지지력을 지녀야 한다. 특히 암반 절토사면에서는 암반내에 발달하고 있는 불연속면(절리, 단층)의 정밀조사에 따른 앵커시공이 필수적인데 국내의 토목공사시에 이의 실지 수행이 미흡하여 불안한 옹벽상태인 경우도 간혹 발생하곤 한다. 또한 앵커내의 금속보강재의 부식 문제로 인하여 장기적인 관점에서 앵커의 연약화로 인한 옹벽의 붕괴도 우려된다. 부산지역의 산지에서의 택지개발시 높은 옹벽들에서는 배수관 설치가 미흡(적재적소 및 충분한 깊이로 배수관 사용이 미흡)하여, 배수관 이외의 부분에서도 지하수의 유출이 관찰되는데, 사면 붕괴의 중요 요인중의 하나가 과도한 수압이므로 집중호우시 이러한 불충분한 옹벽들의 붕괴가 우려되며 실제로 부산에서도 여름철에 옹벽들이 자주 붕괴되는 주요한 원인이다. 또한 홍콩에서는 7.5m 이상의 높은 절토는 금지되므로 이보다 깊은 절토공사는 해당공사 구간의 안전뿐만 아니라 인근지역의 안전까지도 증명할 수 있어야만 한다. 그러나 국내에는 절토사면의

경사도 뿐만 아니라 높이에 대한 뚜렷한 기준이 없으므로 위험을 가중시키고 있다.

3) 광역적인 토지개발에 따른 전반적인 사면안정 대책의 결어

국내에서의 대규모 토목공사시 수행하는 환경영향평가(환경청, 1988)가 부산지역의 전반적인 도시계획을 고려한 택지개발 차원에서 수행되지 않고 국부적인 단독택지의 개발만 무계획적으로 이루어지고 있으므로 곳곳에 위험요소들이 점차로 증대되고 있다. 절토, 성토, 표토 제거, 나무제거, 굴삭 등의 토목공사시에 단독사업 대상지역 뿐만 아니라 주변 인접 영향권까지 미칠 요인을 고려되어야 하고, 또한 장·단기적인 환경영향 요인도 포함시켜서 고려되어야 한다. 예를 들면, 최근 부산지역의 산지에서 택지개발시에 산 계곡부에서도 주택의 증축이 많이 이루어지고 있는데, 그 유역은 전반적으로 체계적인 배수시설 공사없이 국부적으로 작은 배수시설만 하여 오히려 폭우시 계곡부의 물의 흐름을 막아서 대규모의 피해를 야기시킬 소지가 있다. 전반적인 배수시설 공사없이 택지개발을 수행하여 많은 인명 및 가옥피해를 야기시키는 경우가 부산에서는 매 여름마다 반복되고 있는데 1991년에 태풍 글래디스에 동반된 집중호우로 인하여 부산을 포함한 경남·북지방에서 103명의 인명피해와 수백채의 가옥 등의 파괴로 1천 5백여억원의 재산피해가 발생하였는데 대부분이 산사태와 관련이 있는 것으로 집계되었다.

특히 인명피해도 집중호우시 대부분 토목공사와 관련된 산사태에 의한 것이라고 분석되었다. 그러므로 부산지역에서 광역적인 개발에 따른 전반적인 산사태 발생에 의한 피해가능지역을 분석하기 위하여 산사태 재해위험도를 작성하였다.

IV. 산사태 재해 위험도 작성

1. 기본 개념

70년대 이후에 선진국에서는 산사태 피해를

최소화하기 위한 방법으로 산사태 발생가능성이 높은 지역을 사전에 파악하여 국토의 효율적인 관리 및 개발계획에 충분한 자료를 제공하기 위하여 산사태 위험도 평가(Landslide risk assessment)를 위한 산사태 재해 위험도(Landslide hazard map)를 작성하고 있다. 항공사진 판독과 현장조사로서 사면경사, 사면의 표면조건 등을 파악하여 숫자나 문자형태로서 위험등급을 구분하는 것으로서 홍콩의 GASP(Geotechnical Area Studies Programme), 프랑스의 ZERMOS(Zones Exposed to Risks of Soil Movements), 이태리의 INSTAB System 등이 있다. 이들 중에서 홍콩의 방법이 비교적 널리 인용되고 있다. 완만한 택지가 부족한 홍콩에서는 현재 우리나라에서 수행하는 바와 같이 산악지대에서도 주택개발을 우선적으로 추진하여 왔다. 그러나 1972년과 1976년에 산경사지에서 대규모 산사태로 인하여 아파트가 붕괴되어서 67명의 인명 피해를 경험한 후로는 주택개발보다는 사면안정을 최우선적인 과업으로 정하여 미개발지에 대해서는 토지이용의 난이도에 따라 산사면을 구분하는 「토목적인 토지이용도」(Geotechnical Land Use Map)를 작성하여 이에 따라서 토목공사를 허가하고 있다(GCO, 1984). 홍콩은 산사태의 주요 요인으로 알려진 강우, 지질형태(주로 화강암으로 이루어져 있다) 및 산사태의 유형도(debris flow와 debris avalanche가 주요형태) 우리 나라와 비슷하고, 뿐만 아니라 지형도 우리 나라와 같은 급경사 지역이다. 국내에서는 아직까지 외국처럼 산사태 재해위험도까지 고려하여 체계적인 도시개발이 이루어진 예가 없으므로 부산지역의 산사태 대책수립의 모델로서 홍콩의 자료를 주로 이용한다.

2. 연구 장비

연구자료를 전산정보화하기 위해 사용된 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어는 다음과 같다: 하드웨어는 메인 시스템(Main System)으로서 SUN SPARC II, IBM PC AT 586을 사용하였고 입력장치는 X-Y Digitizer A0 size(Calcomp

4500)와 마우스를 사용하였다. 출력장치는 Laser Printer(Qunix QLBP 3000)와 X-Y Plotter(Cal-comp Pacesetter)가 사용되었다. GIS용 소프트웨어로서 ESRI사의 ARC/Info와 CADD용 소프트웨어로서 AutoCADD와 LandCADD가 사용되었다.

3. 컴퓨터 분석방법

본 연구를 위한 컴퓨터 분석과정은 다음과 같이 4단계로 나눌 수 있다: 기초도면 작성 및 입력, 경사도분석 및 3차원 모형을 위한 TIN 분석, 수계 연변지역을 설정하기 위한 완충지역(buffer zone) 분석, 정해진 기준에 의해 분석된 자료를 종합분석하기 위한 도면중첩분석(Overlay analysis). 각 과정별 세부내용을 보면 다음과 같다.

1) 기초 도면 작성 및 입력

분석을 위한 주제별 도면들은 국립지리원 제작 기본도면인 부산직할시 지형도(1:25,000 항측도)를 근거로 AutoCAD과 ARC/INFO ADS 모듈을 이용하여서 디지털이저로서 컴퓨터에 입력하였다. 또한 부산·가덕 지질도(한국자원연구소, 1983) 및 수계도(1:25000 항측도를 이용하여 작성)도 입력하였다. 본 관련자료들은 근거 자료 도면의 작성원리인 UTM(Universal Transverse Mercator) 좌표계를 이용하여 AutoCAD 도면 영역내의 UCS(User Coordinate System) 좌표계상에 입력하였다. 따라서 X좌표는 동서방향, Y좌표는 남북방향, Z좌표는 고도를 지정함으로써 3차원의 공간상에 위치시키게 된다. 지형등고선은 항측도를 이용하여 평면상의 위치를 디지털이저로 입력하였고, 고도좌표값은 10m 간격으로 수치화하여 입력하였다. 또한 각 기초도면의 수정 및 편집을 위하여 AutoCAD의 Layer 및 Wblock의 개념을 이용하여 도면 상호간 위상관계의 정확도를 중시하였다.

2) 경사도 분석 및 3차원 모형을 위한 TIN 분석

입력된 지형도에 GIS내의 고도값의 속성자료

처리과정을 거쳐 ARC/INFO의 TIN(Triangulated Irregular Network) 모듈을 이용하여 3D 모형을 제작하고, 0~15°, 15~30°, 30~60°, 60° 이상 등으로 경사등급을 부여하여 경사도면을 작성하였다.

3) 수계 연변지역을 설정하기 위한 버퍼 분석

수계연변은 일반적으로 사태의 가능성이 더욱 높다고 할 수 있다. 이러한 요소를 고려하기 위해 본 광역지역에 대한 분석연구에서는 20m 폭으로 완충지역(Buffer zone)을 설정하였다.

4) 정해진 기준에 의해 분석된 자료를 종합분석하기 위한 도면중첩분석

도면중첩분석(Overlay analysis)을 위하여 우선 다음에 근거하여 산사태 위험도 분석기준을 작성하였다.

산사태는 상부 사면의 균열이 생성됨으로서 시작되며, 균열들은 물이 채워져 상부 토양을 약하게 하고 동시에 그들을 아래쪽으로 이동시키는 응력을 증가시킨다. 결국 산사태는 토양층이나 암반층의 경계를 따라 상부 지층이 아래로 이동하는 전단파괴(Shear failure)의 결과이며, 이러한 산사태를 일으키는 중요한 요소들은 지표경사, 지질, 지하수, 지표수, 강수량, 토양성질, 식생 등이 있는데 홍콩에서의 산사태 붕괴 사례를 조사 검토한 결과 주로 사면경사도에 영향을 받은 것으로 연구되었다. 이 밖에 부수적인 영향으로는 부적절한 배수시설이 있으나 그 영향은 크지 않았다. 홍콩에서는 대부분의 산사태가 30° 이상의 급경사지에서 발생하므로 주택지역의 위험도 판정은 경사도 30°를 기준으로 구분하고 있다. 또한 일본에서도 급경사지의 주택주변의 위험기준으로서 경사도 30°를 역시 기준으로 하고 있다. 그리고 국내에서 조사된 건설부 자료(건설부, 1988)에도 30°~35° 사면에서 산사태가 집중되는 것으로 조사되었다. 또한 이수곤(1988)은 산사태의 위험가능성을 추정하는 방법으로서 실제로 발생한 산사태의 원 지형경사와 산사태 규모로서의 산사

태 수직높이의 관계를 조사하였는데(그림 1) 이 자료도 국내의 화강암 지역에서 30°~45° 경사에서 산사태가 많이 발생한다고 보고하고 있으므로 하한 경계값인 30°를 부산지역의 산사태 위험기준으로 하였다. 특히 홍콩지역의 기준에는 포함되어있지 않으나 우리 나라에서는 산사태로 인한 대규모 인명과 재산피해는 산사태시 상부쪽에서 흘러내린 토사, 암석들이 덮이는 계곡부 주변에서 발생하므로 계곡부 주변도 위험한 요소로서 가중치를 두었다. 본 연구에서는 위와 같은 점을 고려하여 부산지역의 특성에 적합한 산사태 재해 위험도 평가기준(표 1)

과 산사태 재해 위험도 등급기준(표 2)으로 분석하였다.

산사태 재해위험도를 구성하는 도면은 부산지역의 3차원 입체지형도(그림 3), 지형 표고도(그림 4), 지질도(그림 5), 지표 경사도(그림 6), 수계 완충지역도(그림 7)이다.

V. 연구결과

1. 각 요소별 특성

부산지역의 지형경사, 암석분포, 수계발달의 각 요소별 특성은 다음과 같다: 지형경사가 0

표 1. 산사태 재해위험도 평가기준

분 석 요 소	등 급 및 점 수				참 고 도 면
경 사 (가중치×5)	0~15° 1(5)	15~30° 2(10)	30~60° 3(15)	60° < 4(20)	Slope map
수계연변 (가중치×2)	20m < 1(2)		< 20m 2(4)		Stream buffer map

표 2. 산사태 재해위험도 등급기준(참고도면 : 그림 8의 산사태 재해위험도)

토지등급	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
종합점수	< 12	12~17	17~22	22 <
개발특성	사면이 안정되어 개발하여도 좋다	사면이 대체적으로 안정되어 있으나 개발시 주의 요망	사면이 불안정하므로 개발이 부적합하다	사면이 매우 불안정하므로 개발이 매우 부적합하다

그림 3. 부산지역의 3차원 입체 지형도

그림 4. 부산지역의 지형 표고도

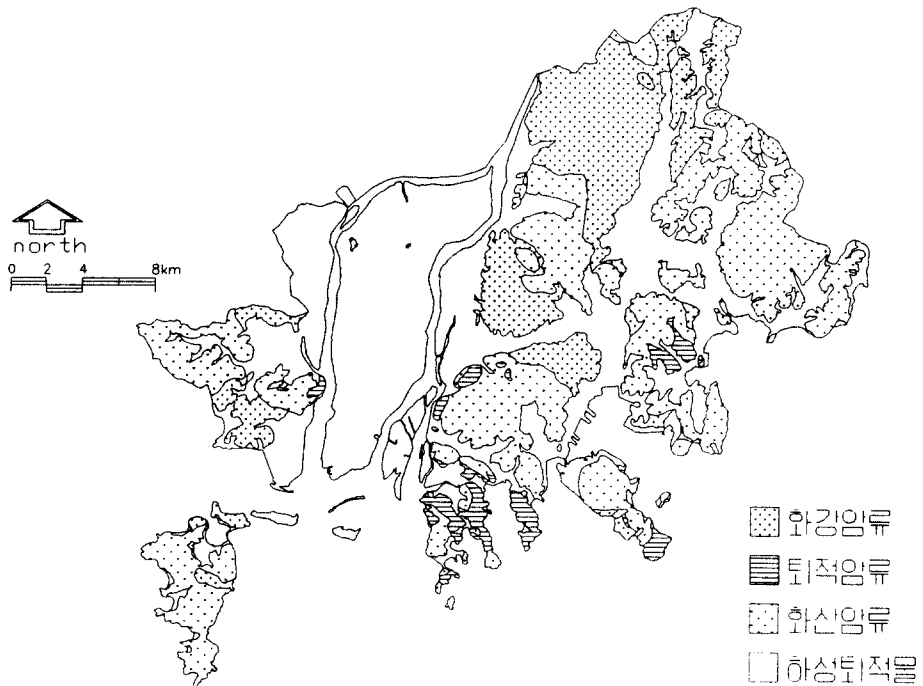


그림 5. 부산지역의 지질도

그림 6. 부산지역의 지표 경사도

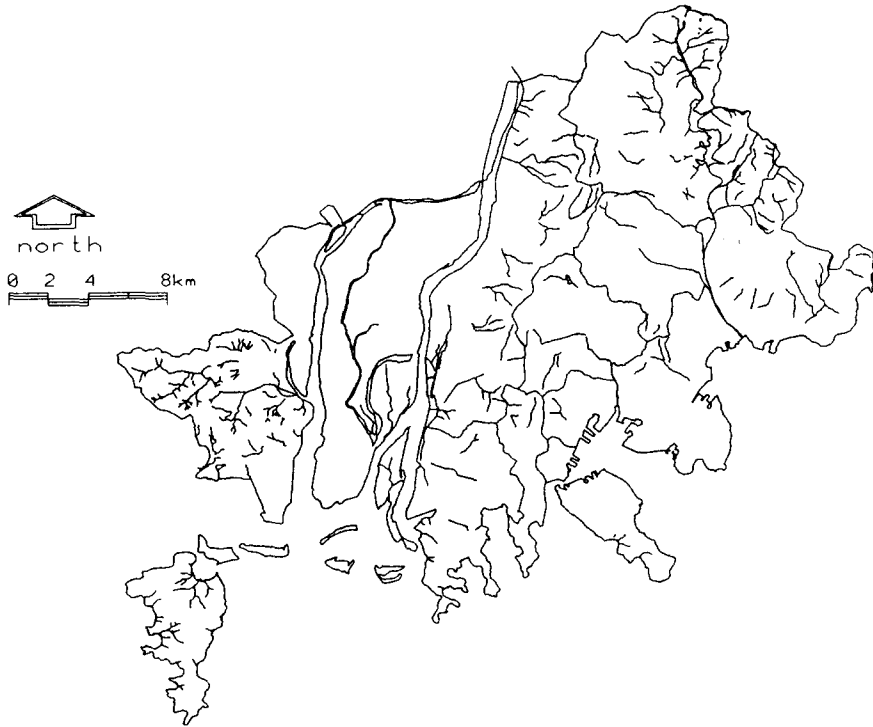


그림 7. 부산지역의 수계 완충지역도

그림 8. 부산지역의 산사태 재해 위험도

~15°인 경우가 50%, 15°~30°인 경우가 12%, 30°~60°인 경우가 30%, 60° 이상인 경우가 8%이다(그림 6). 그리고 암석은 화강암류가 20%, 퇴적암류가 8%, 화산암류가 22%이고, 하성퇴적물은 50%이다(그림 5). 암석종류별 지형경사를 파악해보면 화강암류, 퇴적암, 퇴적암류의 지형경사는 가파른 편이다. 화강암류와 화산암류는 60° 이상의 매우 가파른 곳의 대부분을 구성하고 있으며 간혹 퇴적암류도 부분적으로 분포한다. 30°~60°인 가파른 곳은 화강암류, 퇴적암류, 퇴적암류가 골고루 분포한다.

부산지역의 지질이 복잡하므로 수계는 대체적으로 여러 갈래로 산만한 편인데 암종별 수계특성은 다음과 같다(그림 7): 부산에서의 수계발달은 보통인데 산지에 많으나 평지에는 드문편이다. 화강암류, 화산암류는 산지를 형성하므로 작은 규모의 수계가 많고 암질에 따른 특성은 다음과 같다: 화강암류는 암질이 비교적 균질하므로 수지상 형태(Dendritic drainage pattern)인데 비하여, 화산암류는 Dome 형태

중양에서 바깥쪽으로 향하는 방사상 형태(Radial pattern)으로 발달하고 있으나, 퇴적암류는 수계의 발달이 미약한 것이 특징이다. 그리고 하성퇴적물에는 작은 규모의 수계 발달은 적은 편이지만 낙동강과 같은 큰 규모의 수계는 뚜렷하게 발달한다. 수계 가까이에 위치하는 부산지역의 약 5~10%가 산사태 발생시 수계 주변에서 위험한 완충지역(Buffer zone)내에 있다.

2. 종합적인 특성

상기의 지형경사, 암석분포, 수계발달 인자들을 종합적으로 통합하여서 산사태 재해위험정도를 컴퓨터로서 분석하여보면 Class 1은 45%이고, Class 2는 12%, Class 3은 35%, Class 4는 8%이다(그림 8). 즉 부산은 산악지형이 많으므로 우리 나라의 다른 대도시에 비하여 산사태 위험가능성이 훨씬 광범위하게 분포한다. 지역별로 검토해보면, 화성암류, 화산암류, 퇴적암류로서 이루어진 부산일원은 38%가 비교적 가

표 3. 부산의 기존 산사태 다발 지역

연 번 No.	위 치			산사태지역 (ha)	위 치
	구	동	지 번		
1	동 구	수정 3동	산24-2	0.4	협성 APT 뒤 보광사 밑
2		범일 6동	산64-100	0.03	
3	동 래 구	온천 3동	산188	0.28	제2터널 위 사직고교 뒤 사직국교 뒤 인생문고개 옆 우성 유토피아 102동 뒤
4		거제 4동	산57-1	0.4	
5		거제 4동	산73-5	0.05	
6		사직 2동	산34	0.45	
7		온천 3동	산220	0.09	
8		명륜 2동	100-232	0.04	
9		명장 2동	산92-2	0.07	
10		복 천 동	산1-1	0.08	
11		복 천 동	산2-2	0.20	
12	북 구	덕천 2동	산48	0.084	화명주공 APT 뒤 덕회동사무소 뒤 구포국민학교 뒤
13		덕천 1동	산143-33	0.06	
14		만덕 1동	산253	0.011	
15	해운대구	우 1 동	산139-120	0.17	해운대중 뒤,한독유치원 뒤 삼화 방직 후문 무지개 연립 가동 영광 재활원 뒤
16		반여 1동	산282-1	0.033	
17		반여 3동	산137-9	0.01	
18		반송 2동	산16-1	0.057	
19		반여 2동	산147-5	0.03	
20		반여 1동	산285-2,6	0.06	
21	금 정 구	장전 2동	산45-55	0.3	청송암 뒤 유스호스텔 옆 금단부락 뒤 태광산업 뒤 본동마을 입구 신천부락 뒤 정수암 고개너머 동사무소 맞은편 동문 밑
22		구서 1동	산43-1	2.0	
23			74-4,7		
24		구서 1동	산43-1	0.1	
25		오 룬 동	산126-3	0.1	
26		선 동	산24	0.4	
27		금 정 동	산69	4.45	
28		금 정 동	산36	1.25	
29		부곡 1동	산138-38	0.2	
30		서 3 동	산119	3.5	
31		서 2 동	산22-3	0.3	
32		서 4 동	산78	2.4	
33	서 구	서대신동	3가 2-1	2.0	대신공원 시립도서관 뒤 혈청소 체육공원 입구 동양시멘트 입구
34		암 남 동	산123-1	0.03	
35		암 남 동	산123-1	0.02	
36	부산진구	전 포 동	산16	2.53	
37		당감 4동	산16	0.06	
38		초 읍 동	산40-2	0.03	
39		범천 2동	1302-352	0.02	
40		범천 2동	산53-5	0.04	
41		부암 2동	산25-1	0.30	
42	남 구	문현 2동		0.3	세화여실 진입로 밑 남일고교 뒤 생아 APT 뒤 산
43		망미 1동		0.7	
44		광안 1동	1046-7	1.0	

파른 지형을 형성하므로 수계지역 인근까지 포함하면 약 43%가 Class 3과 Class 4로서 광역적으로 산사태로 인한 위험 가능성이 크다. 그러므로 산사태 위험가능성으로 인하여 부산지역에서 광역적으로 개발이 제한되어야하는 지역은 지형 경사가 30° 이상인 산지와 하천 중에서 수계의 20m 주변이다. 이밖에 작은 규모의 산사태도 국부적인 토목공사로 인하여 야기되므로 도처에서 발생할 수도 있다.

여러 자연적인 요인들이 산사태 발생에 미치는 효과를 파악하기 위하여 수계도 위에 표 3에서 나타난 부산지역의 기존 산사태 31다발지역을 중첩하였다(그림 9).

그후에 산사태에 영향을 미치는 지형위치, 지형경사, 지질, 지형 등의 자연적인 요소들을 종합하여 평가한 산사태 재해위험도(그림 5, 6, 7, 8)와, 산사태가 실제로 빈번히 발생하는 대표적인 31지역(그림 9)을 서로 비교하여 각 자료들과의 상관관계를 파악하였다. 그 결과 지

형이 가파른 지역이나 특별한 암석종류가 산사태 위험가능성을 높게 하는 것이 아니며 자연적인 요인보다도 각종 토목공사시 인위적인 굴착으로 인하여 국부적으로 산사태가 발생하는 것이 특징이라는 사실을 파악하였다. 이와 같이 본 연구에서 광역적인 산사태 가능성을 판단하기 위하여 산사태 위험재해 위험도를 작성하는 중요한 분석요소로서 사용된 지형경사는 자연지면의 경사이므로 자연지면의 경사는 낮으나 인위적인 굴착공사로 인한 국부적인 급경사 지역은 본 연구에서는 고려되지 않고 있으므로, 차후 현장조사 후에 위험지역으로 판명되면 부분적으로 보완하여 보강하는 점도 역시 고려하여야 한다(Hoek and Bray, 1981). 그러므로 비교적 산악지형이 많고 암석분포도 복잡한 부산지역은 광역적인 산사태 가능성 뿐만 아니라 국부적인 택지나 도로개발에 따른 소규모의 산사태 가능성도 많으므로, 도시계획적인 측면에서 산사태 가능성을 충분히 고려할 필요가



그림 9. 부산지역의 산사태 발생 위치도

있다.

VI. 고 찰

1. 부산지역은 산악지형이 많으므로 우리 나라의 다른 대도시에 비하여 산사태 위험가능성이 훨씬 광범위하게 분포한다. 부산지역에서 컴퓨터분석을 거쳐서 작성된 산사태 재해위험도에 따르면 부산지역은 38%가 비교적 가파른 지형을 형성하므로 수계지역 인근까지 포함하면 약 43%가 Class 3과 Class 4로서 광역적으로 산사태로 인한 위험 가능성이 크다.

2. 산사태에 영향을 미치는 지형위치, 지형경사, 지질(암석종류), 지형 등의 자연적인 요소들을 종합하여서 평가한 산사태 재해위험도와, 산사태가 실제로 빈번히 발생하는 지역을 서로 비교해보면 지형이 가파른 지역에서 산사태 발생 가능성이 높은 것이 아니고, 또한 특별한 암석종류가 산사태 위험가능성이 높은 것도 아니다. 그러므로 부산지역에서의 산사태는 자연적인 요인보다도 각종 토목공사로 인한 인위적인 굴착으로 인하여 국부적으로 산사태가 발생하는 것이 특징이다. 부산지역은 국내의 다른 지역에 비하여 암석의 종류가 화강암(심성암), 화산암, 퇴적암 등으로 다양하게 분포하고 있고, 단층과 같은 불연속면이 자주 관찰되고 있으므로 국부적인 산사태를 방지하기 위해서는 이러한 지질요소들이 산사태 발생에 미치는 효과가 크리라 판단되므로 이들의 발달특성을 고려하여서 부산지역에 맞는 산사태 원인 조사와 이에 따른 방재대책이 뒤따라야 할 것이다. 이와같이 부산지역의 산사태는 천재만이 아니고 인재적인 측면이 많으므로 완벽한 방재대책과 아울러서 광역적인 산사태 가능성을 분석할 수 있는 산사태 재해위험도를 도시계획 측면에서도 고려하여 계획적인 개발을 수행한다면 산사태 피해를 획기적으로 줄일 수 있을 것이다.

3. 이를 위해서는 현재와 같이 부산지역에서 장·단기의 산사태 안정성검토와 대책없이 수행하고 있는 무계획적인 택지개발은 산사태 안정적인 측면에서도 지양되어야 한다. 산사태

재해 위험도(Landslide hazard map)에 따라 개발이 부적합한 곳은 개발을 유보하거나 최소화하도록 한다. 특히 Class 3과 Class 4로 분류되는 지역에서는 산사태(사면붕괴)로 인한 위험요소가 완전히 해소될 때까지는 주택 등의 건물이 들어설 수 없도록 건축허가를 통제하여야 할 필요가 있다. 급 경사지에서의 토목공사는 전문가의 철저한 사면안정을 위한 조사와 검토가 공사전에는 물론 시공중에도 이루어져야 한다.

4. 본 연구에서 개발된 GIS 방식에 의해 산사태 발생 예상지역을 제시하였는데 산사태 발생 예상지역에 대한 연구는 물질들의 물성분석, 시험시추, 지구물리탐사 및 토목지질공학적인 모델, 지하수, 토양성질, 식생영향 등이 추가로 연구해야하나, 주어진 제약조건에 의해 그 중에서 일부의 조건에 의해 분석되었으며, 더 많은 자료가 수집되면, 본 연구에서 개발된 GIS 데이터베이스에 변수를 추가하여 더욱 정확한 분석이 가능할 것이다.

VII. 인용문헌

1. 건설부. 1988. 방재종합대책 중장기계획 조사보고서(3권), 701pp.
2. 건설부. 1995. 주택건설기준에 관한 규칙 제7조(수해방지).
3. 이수곤. 1988. 한국의 산사태 조사연구, 한국동력자원연구소, 165pp.
4. 이수곤. 1990. 지반공학과 자연재해 중 (I) 암반사면. 대한토질공학회지 6(4) : 89-102.
5. 이수곤. 1993. 화강암의 풍화, 대한지질학회지 28(7) : 20-38.
6. 장태우·강필중·박석환·황상구·이동우. 1983. 부산·가덕의 지질도(1 : 50,000). 한국동력자원연구소.
7. 환경청. 1988. 환경영향평가서 작성지침서 (도시 및 아파트 지구의 개발사업편).
8. GCO(Geotechnical Control Office). 1984. Geotechnical Manual for Slopes. (2nd ed.), Government Press, Hong Kong, 295pp.

-
9. Hoek, E. and Bray, J. 1981. Rock Slope Engineering(3rd ed.). Inst. Min. Metall., London. 358pp.
 10. Nakamura, H. 1990. Landslide prevention law and law concerning prevention of failure of steep slopes in Japan. Landslide News(International Newsletter Published by the Japan Landslide Society) 4 : 28-30.
 11. Woo, B. M. and Belt, G. H. 1978. Landslide and its related phenomena in Kwanak-San area. College of Agriculture. Seoul National University, Suwon, Korea. Bull. Seoul Nat. Univ., Forests, 14, 71-96.

接受 1999年 5月 3日