

地質과 地形이 山沙汰 및 땅밀림에 미치는 影響¹

趙在奎² · 朴相俊² · 孫斗植² · 朱城賢²

The Effects of Geological and Topographical Features on Landslide and Land-creep¹

Jae-Gyu Jau², Sang-Jun Park², Doo-Sik Son² and Sung-Hyun Joo²

要 約

山沙汰와 땅밀림 發生의 直接的인 原因은 連續降雨量이라고 생각되며 산사태는 화강암과 화강편마암 지대에서 주로 발생하였고 땅밀림은 泥岩地帶에서 발생빈도가 높았다. 이들 母岩의 風化土에 대한 物理的 性質이 山沙汰와 땅밀림 發生에 影響을 주는 것으로 생각된다. 風化土의 土性과 固狀, 含水率, 孔隙率, 密度는 산사태 발생과 관계가 있었다.

花崗岩과 花崗片麻岩의 風化土는 土壤斷面의 上部에 모래함량이 많아 빗물이 쉽게 浸透할 수 있었고 下層部에는 粘土와 微砂土가 많아 浸透水에 의해 飽和된 흙은 粘着力과 剪斷抵抗力이 작아져 쉽게 滑動하며 땅속에는 未風化된 岩盤層이 있어 岩盤위의 흙은 쉽게 飽和되어 滑動이 쉬운 것으로 생각된다. 山沙汰와 땅밀림은 重力에 의해서 아래로 滑動하므로 斜面의 傾斜度가 산사태 발생에 크게 影響을 주었고 土壤의 固狀과 密度는 地塊의 重力과도 관계가 있을 것으로 생각된다.

山沙汰는 突發的으로 發生하므로 예측이 매우 어렵고 風化土의 物理的 性質과 土層아래 岩盤의 有無를 把握하므로 어느 정도 豫測이 가능할 것으로 생각되며 땅밀림은 서서히 進行되므로 發生原因을 除去함으로써 滑動을 어느 정도 阻止할 수 있을 것으로 생각된다.

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the effects of geological and topographical features on landslide and land-creep at the twenty four surveyed sites of Kyungpook province. According to the results obtained, it was concluded that continuous heavy rainfall was one of the primary factors to occur landslide and land-creep. Most of the landslides occurred in the past were concentrated in the granite and granitic gneiss zones, while land-creeps were mainly occurred in the mud-stone zones. Therefore, it was thought that the physical properties such as soil texture, solid phase, moisture contents, density, hardness and porosity rate of weathered granite and granitic gneiss could affect the occurrence of landslide and land-creep. Due to the holding of sand contents in the upper soil layers of weathered granite and granitic gneiss, rainfall could infiltrate into the soil easily. While lower soil layers contained much quantity of clay and silt contents, those soils saturated with rainfall cause to lose viscosity and shear strength. Therefore, it was seemed that landslide was occurred more easily and the saturation of those soils was made much easily by bed rocks under those soils. Landslide and land-creep are slid into lower place by gravitation and slope degree factors. Therefore, prediction of landslide occurrence is very difficult because landslide is occurred abruptly, and physical properties of the soil have to be understood and checking the existence of bed rocks under the soils is not easy, on the other hand, land-creep is progressed very slowly. Therefore, it was suggested that in a degree creeping could be protected by removing of several causing factors.

Key words : geological and topographical features, landslide, land-creep, parent rocks, properties of weathered soil

¹ 接受 2000年 3月 16日 Received on March 16, 2000.

² 慶北大學校 林學科 Department of Forestry, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea.

緒 論

山沙汰(landslide)는 豪雨時 빗물에 의해 飽和된 土塊가 均衡을 잃고 重力에 의해 무너져 내리는 崩壞現象을 말한다. 山地의 7部~8部 稜線에서 發生하는 山沙汰는 아래쪽의 土塊에 壓力을 주어 同時에 崩壞되므로 대체로 被害規模가 크다(細田 豊, 1980; 山田正雄 등, 1986).

山沙汰 및 땅밀림의 發生은 地質, 地形, 土壤 등의 內的 要因과 降雨, 植生, 排水路 등의 外的 要因이 複合的으로 作用한다. 이들 要因중 連續降雨量이 100mm以上일 때 山沙汰發生의 可能性이 있고 200mm以上에서는 大規模의 山沙汰가 發生할 危險성이 높다는 報告가 있다(김교원 등, 1996).

氣象廳의 統計資料에 의하면 慶北地方에서 年降雨量의 54%~56%가 7月~9월에 集中的으로 쏟아지므로 山沙汰 發生率이 높고 最近에는 게릴라式 暴雨가 자주 發生하며 같은 地域에서 週期的으로 發生하고 있다.

山沙汰와 땅밀림은 颱風을 同伴한 集中豪雨時에 發生하므로 直接的인 原因은 降雨量이라고 할 수 있다. 尙州地方은 1980년에 集中豪雨로 406mm, 1998년에 454mm의 비가 왔고 1988년에 奉化地方에 205mm, 榮州地方에도 208.6mm, 1999년에 奉化에 266mm의 暴雨가 쏟아졌다. 1991년에 浦項과 慶州地方에는 各各 395mm, 1998년에 610mm의 集中豪雨가 22年 동안에 週期的으로 왔고 그 때마다 山沙汰 및 땅밀림이 發生하였다.

慶北 北部 地方인 尙州, 奉化, 榮州地方은 山이 높고 險峻하며 地質은 花崗岩과 花崗片麻岩地帶로 山沙汰가 자주 發生하고 浦項과 慶州地方은 泥岩 및 頁岩(shale)地帶로 森林植生の 生長이 不良하며 땅밀림이 자주 發生하는 곳이다.

우리나라의 山沙汰 發生은 1936年 경기도 이남 지방에 3,800ha의 山沙汰가 發生하였고 1962年 순천지방에 123ha, 1964年 경기도 포천 양주지방 97ha, 1972年 경기도 용인과 안성지방에 20ha(우보명, 1976), 1976年 충북 제천과 단양지방에, 1977年 경기도 안양과 시흥지방에 161ha(우보명 등, 1978), 1979年 강원도 평창지방에 38ha(마상규, 1979), 1979年 경남 진해에 16ha(강위평 등, 1986), 1980年 충북 보은지방에 130ha, 1987년 충남 서천, 부여 지방에 318ha, 1991年 경기도 용인, 안성지방에 475ha의 山沙汰가 發生하였다는 報告가 있다(우보명 등, 1996).

1982年 崔 등이 山沙汰의 類型 및 規模, 氣象, 林況, 地形 등에 의한 山沙汰發生原因을 調査하였고, 1983年에도 崔 등은 多變量 分析法에 의한 산사태 발생예지에 관한 調査를 한 바 있다. 林業研究院(1992)에서는 變成岩地帶와 火成岩地帶에서 山沙汰의 發生頻도가 높고 堆積岩地帶에서는 發生頻도가 낮다고 報告하였고 姜 등(1971, 1973, 1974, 1986)은 禿裸地와 地形因子 및 地質因子와의 關係를 數量化에 의해 分析하였고 李(1981)는 우리나라의 森林土壤에 대하여 調査한 바 있다.

母岩의 風化는 化學的 變質, 物理的인 分解, 生物學的인 作用으로 이루어지며 風化에 影響을 주는 因子는 氣候, 構成礦物質의 種類, 節理 및 斷層, 熱水變質作用, 光作用, 鹽基性 및 酸性岩脈, 地形 등이 關係한다(李壽坤, 1993).

浸透된 빗물은 CO_2 와 結合하여 炭酸(H_2CO_3)을 形成하므로써 礦物質의 이온화와 酸化, 還元, 水化作用, 加水分解 등으로 化學的 風化가 일어나며 流出에 의한 岩石의 粉碎와 削磨, 溫度의 變化, 水分의 吸水와 乾燥, 龜裂과 孔隙사이로 浸透한 水分이 收縮膨脹하여 物理的 風化作用이 일어나고 生物에 의한 化學的, 物理的 風化가 일어난다. 礦物質의 種類에 따라 風化速度가 다르고 風化된 土壤은 빗물을 吸水하여 重力에 의하여 아래로 滑動하게 되므로 風化土의 土性도 山沙汰와 땅밀림 發生의 重要한 因子가 된다(李壽坤, 1993).

火成岩인 花崗岩은 長石, 黑雲母, 石英, 其他(鐵, 마그네슘, 칼슘 등)로 構成되어 있고 이들 礦物質들은 溫度變化에 대한 膨脹係數가 서로 다르므로 表面에서 쉽게 風化되지만 그 중 石英은 風化가 잘 되지 않아 磨砂土로 남고 長石의 風化土는 粘土로서 빗물에 의하여 表土는 流失되고 땅속의 粘土는 빗물에 의해 飽和되면 凝集力을 상실하게 되고 黑雲母는 長石보다 먼저 風化되나 進行速度가 느리고 黑雲母에 包含되어 있는 鐵은 酸化鐵이 되어 쉽게 風化되며 다른 土壤을 淡紅色으로 물들게 한다(李壽坤, 1993).

花崗岩은 表面에서 風化되고 땅속 깊이 들어갈수록 風化가 덜 되며 풍화되지 않는 岩盤은 빗물의 浸透를 막아 土塊를 飽和시키고 土層과 境界가 되어 滑動을 쉽게 한다(박병기 등, 1997; 李壽坤, 1993).

花崗片麻岩의 森林土壤은 우리나라 全地面積의 1/3이나 되어 넓은 分布를 하고 南部地方의 花崗片麻岩은 철, 마그네슘 등의 礦物質을 多量 含有

하고 風化土는 粘土의 含量이 많다. 그러나 花崗片麻岩은 花崗岩이 變成된 것이므로 그 風化土는 花崗岩風化土와 性質이 비슷하며 片麻岩類는 層理가 發達되어 層理사이로 물이 스며들어 쉽게 風化될 수 있다. 風化土가 많이 쌓이게 되면 飽和된 土塊는 自體의 荷重에 의해 滑動하게 된다(趙熙斗, 1984, 1997).

花崗岩은 여러 가지 鑛物質로 構成되어 溫度變化에 따라 쉽게 風化되고 花崗片麻岩과 같이 山沙汰의 發生率이 높고 堆積岩의 風化土는 微粒의 粘土가 되므로 表土는 빗물에 의해 流失되고 母岩이 露出되어 山沙汰보다는 땅밀림의 發生率이 높다.

傾斜가 急할수록 重力이 커지므로 山沙汰가 일어날 危險性이 높고 斜面의 形狀은 上昇斜面보다는 下降斜面인 곳에서 山沙汰發生率이 높다. 下降斜面은 빗물이 땅속으로 쉽게 스며들 수 있고 上部分에서 重力을 받아 쉽게 崩壞된다(마호섭, 1987, 1994).

樹木이 山沙汰의 發生에 影響을 준다는 理論과 樹木의 뿌리가 土壤을 緊縛하여 山沙汰를 防止한다는 理論이 있으나(우보명, 1979; 최경, 1982), 실제로 땅속에 岩盤이 있을 때에는 樹木의 뿌리가 땅속 깊이 뻗을 수 없고 颱風이 불 때 오히려 樹木이 흔들려 土塊에 충격을 주어 山沙汰 發生의 原因이 될 수 있다. 또한 暴雨시 樹木의 根系를 통하여 빗물이 땅속으로 쉽게 스며들고 平常時는 땅속의 水分을 吸水·蒸散시킴으로써 土壤水分을 減少시킨다.

땅밀림은 泥岩 및 셰일(shale)의 分布地域에서 자주 發生하며 큰 덩어리의 岩塊가 서서히 滑動하는 現象을 말한다(大塚義之, 1982; 高倉和夫, 1989; 渡正亮, 1974). 셰일(shale)은 堆積岩으로서 뚜렷한 層狀構造를 가지고 있고 그렇지 않은 것을 泥岩이라 한다(嚴相鎬 등, 1964). 泥岩은 碎屑堆積岩으로 未固結 堆積岩이고 이들 堆積岩들은 層理와 葉層이 發達하여 그 틈사이로 물이 스며들어 風化가 쉽게 되고 風化土는 微細粘土가 되어 潤滑劑 役割을 하여 큰 덩어리의 岩塊가 分離되어 서서히 아래로 滑動하게 된다(김영수, 1996; 우보명 등, 1996).

花崗岩, 花崗片麻岩, 泥岩의 風化土에 대한 物理的·化學的 性質은 母岩의 構成成分에 따라 다르지만 朴 등(1997)이 調査한 광주, 전북 익산, 충남 옥천의 花崗岩과 片麻岩類와 이영취(1996)가 調査한 포항의 泥岩의 風化土에 대한 化學的 性質은

風化土중 가장 많은 2酸化硅素(SiO₂)는 花崗岩, 片麻岩, 泥岩에서 各各 69.29%, 61.98%, 64.08%로 큰 差異가 없고 酸化알루미늄(Al₂O)은 13.76%, 19.63%, 11.74%로 片麻岩類에서 높고 酸化鐵은 5.16%, 5.33%, 5.10%로 差異가 없다.

物理的 性質로서 含水比는 各各 16%, 17%, 16.9%로 差異가 없고 粒子의 比重은 2.66, 2.68, 2.48로서 泥岩이 약간 낮은 편이며 土性은 風化程度에 따라 差異가 있다.

以上과 같이 花崗岩, 片麻岩類, 泥岩의 風化土의 化學的 性質과 含水比, 比重은 큰 差異가 없으나 泥岩의 風化土는 粒子가 가장 작은 粘土性 鐵物質이며 特히 泥岩은 吸水率이 높아 吸水膨脹으로 固結力이 떨어진다. 粘土成分을 많이 含有한 岩石은 乾燥와 濕潤狀態가 反復되므로써 固結性과 強度가 급격히 떨어진다(日浦啓全 등, 1978). 이와 같이 본래의 組織이 破壞되는 現象을 slaking이라고 하며 泥岩地帶에서는 slaking으로 풍화가 쉽게 되고 땅밀림發生의 原因이 된다고 생각한다(이영취, 1996).

泥岩地帶에서는 荒廢地가 많고 森林植生의 生長이 貧弱하여 表土는 빗물에 의해 流失되고 母岩이 露出되는 경우가 많고(鄭印九, 1973) 땅밀림은 서서히 發生하므로 그 徵候를 比較的 쉽게 發見할 수 있으나(桑原啓三, 1977; 岸岡孝, 1963; 中村俊彦, 1981; 村秀田一 등, 1989), 山沙汰는 突發的으로 發生하고 여러 因子가 複合的으로 作用하여 山沙汰가 發生한다(우보명, 1976; 1979). 우리나라에서는 山沙汰와 땅밀림의 被害를 豫防하기 위해 豫防砂防을 하고 있으나 넓은 山地에서 山沙汰 및 崩壞發生豫定地를 豫測한다는 것은 매우 어렵다(우보명, 1984; 최경, 1999; 東義彦, 1981; 森秀人, 1989).

그러므로 山沙汰와 땅밀림이 發生한 地域의 降雨量, 地質, 土性, 土壤의 三相, 密度, 指標硬度, 土深, 傾斜度, 標高, 方位, 植生 등의 要因을 調査하여 山沙汰의 發生豫定地를 分析하고 땅밀림의 滑動을 阻止할 수 있는 方法을 摸索코자 한다.

材料 및 方法

1998年 8月 11日~12日사이의 集中豪雨로 인해 發生한 尙州地方의 山沙汰 發生地 20個所와 1999年 9月 19日~24日사이의 颱風 앤과 바트로 인해

發生한 奉化地方의 山沙汰 發生地 4個所를 調査하였으며 1998年 9月 29日~30日사이의 颱風 예니로 인해 發生한 浦項地方의 山沙汰 發生地 2個所와 땅밀림 8個所를 調査하였고 칠곡군 지천면과 경주시 양북면의 땅밀림을 각각 1個所로 全体 山沙汰 發生地 26個所, 땅밀림 10個所를 調査하였다.

본조사에서 山沙汰와 땅밀림의 구분은 산중북 이상에서 土塊가 순간적으로 붕괴되어 산록부 아래의 전답 및 가옥에 피해를 준것을 산사태로 하였고 土層龜裂의 깊이가 10~15m, 붕괴폭이 30m 이상, 地塊의 流動이 진행중에 있는 것을 땅밀림으로 하였다. 尙州와 浦項地方의 산사태와 땅밀림은 강우량이 적은 1999년 2월 하순~3월 하순까지, 奉化地方의 산사태는 1999년 10월에 각각 조사하였다.

慶北 山林環境研究所 山林事業課에서 調査한 資料를 基礎로 하여 1:50,000 地質圖에서 地質別로 調査地를 選定하였고 한 地域內에 여러 곳에서 山沙汰가 發生한 경우에는 規模가 큰 곳을 調査地로 하고 가능하면 地形과 立地가 다르고 일정한 거리를 두어 調査地를 選定하였다. 그리고 各 調査地에 대해서는 地質別 主母岩, 被害面積, 發生個所數, 風化土의 土性 및 土壤三相, 土壤密度, 土壤硬密度, 土深과 斜面的 傾斜度, 標高, 方位, 植生現況 등을 조사하고 降雨量은 氣象廳의 資料를 참고하였다.

地質別 面積은 1/50,000 地質圖를 planimeter로 3번이상 반복하여 測定하였고 地質은 縮尺 1/50,000 地質圖와 崩壞發生地의 地形圖를 比較確認한 後 崩壞發生地 斜面上에서 採取한 岩石을 慶北 大學校 地質學科에서 確認調査하였다. 土性區分은 山沙汰 發生地와 땅밀림의 崩壞된 場所에서 土壤斷面을 만들어 낙엽층 10cm정도를 제거하고 모암층까지 3등분하여 표토에서 대개 20~40cm, 41~60cm, 61~80cm로 나누어 上中下로 區分하고 이 上中下의 단면에서 採取한 土壤試料를 比重計法으로 國際土壤學會法에 따라 土性を 區分하였다. 100cc 採土圓筒으로 採取한 土壤의 土壤三相과 密度를 調査하였으며 土壤硬도는 山中式 硬度計로 土壤斷面의 깊이別로 區分하여 測定하였다. 土深은 崩壞 發生地에서 表土에서 岩盤까지의 깊이를 測定하였고 傾斜도는 긴 막대를 崩壞斜面上에 놓고 그 위에서 clinometer로 斜面的 傾斜도를 測定하였다. 標高는 altimeter로 崩壞發生地의 標高

를 測定하였고 方位는 各 被害斜面을 clinometer로 8方位로 測定하였다. 林相은 산사태 및 땅밀림의 發生地 周圍의 樹種과 樹齡을 調査하였고 純林과 混淆林으로 區分하여 調査하였다.

結果 및 考察

尙州地方은 1980년에 連續降雨量 406mm에 山沙汰 被害面積은 112.6ha이고 1998년에 連續降雨量 454mm에 被害面積은 174.3ha이었고 奉化地方은 1988년에 連續降雨量 205mm에 山沙汰 被害面積은 38.6ha이며 이 때의 隣近 榮州地方에서도 連續降雨量 208.6mm에 山沙汰 被害面積은 32.6ha이었고 1999년에 奉化地方은 連續降雨量 266mm에 被害面積은 32ha이었다(Table 1).

浦項地方은 1991년에 連續降雨量 395mm에 땅밀림 發生面積은 52.5ha이고, 隣近의 慶州地方은 連續降雨量 394.8mm에 땅밀림 發生面積은 88.1ha이며 1998년에도 浦項은 連續降雨量 610mm에 被害面積은 115.4ha이었다.

이와 같이 慶北의 尙州, 奉化, 浦項地方에서는 豪雨가 쏟아질 때마다 週期的으로 山沙汰와 땅밀림이 發生하므로 降雨量과 密接한 關係가 있다. 우리나라 全域에서 山沙汰發生과 連續降雨量과의 關係를 金 등(1996)이 調査한 바에 의하면 連續降雨量이 100mm以上일 때 山沙汰가 發生할 可能性이 있고 連續降雨量이 200mm以上이면 大規模의 山沙汰가 發生할 危險性이 높다. 特히 1日連續降雨量이 80mm일 때에도 山沙汰의 發生可能性이 있고 1日連續降雨量이 140mm以上일 때에는 大規模의 山沙汰가 發生할 危險性이 높은 것으로 發表하였다. 그러므로 尙州와 奉化 그리고 浦項地方의 連續降雨量은 大規模의 山沙汰와 땅밀림이 發生할 수 있는 降雨量이며 山沙汰와 땅밀림 發生의 直接的인 原因은 降雨量이라 할 수 있다(下川設郎, 1976).

尙州地方의 地質(원종관 등, 1969)은 北西쪽의 속리산일대에는 佛國寺花崗岩으로 알카리花崗岩과 石英斑岩으로 構成되어 있고 東쪽은 花崗片麻岩이 넓게 分布하며 南東쪽으로는 大寶花崗岩이 分布하며 花崗岩과 花崗片麻岩 사이에 準片麻岩類가 一部分布하고 이 準片麻岩類는 片岩에서부터 花崗片麻岩에 이르기까지 漸移되어 있다. 南西쪽으로는 堆積岩인 河陽層과 榆川層이 一部分布하고 있다(Fig. 1).

Table 1. The situation of mass-movement occurrence in Kyungsangpookdo (unit : ha)

region \ year	'78	'80	'81	'82	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95	'97	'98	'99	total	%
Sangju	-	112.6 (406)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-	-	174.3 (454)	-	289.9	32.82
Pohang	-	0.9	-	-	4.3	-	-	-	52.5 (395)	-	3.2	-	-	-	115.4 (610)	-	176.3	19.96
Kyungju	2.0	5.2	-	0.4	7.3	-	-	-	88.1 (394.8)	-	16.7	-	-	-	2.5 (610)	-	122.2	13.84
Bonghwa	-	-	2.9	0.4	0.4	38.6 (205)	19.3	11.2	-	-	6.9	2.4	4.1	-	-	32 (266)	118.2	13.38
Yungju	-	-	-	-	-	32.6 (208.6)	10.7	8.0	-	-	2.5	6.9	12	-	-	-	72.7	8.23
Munhyung	-	13.4	2.6	3	-	0.3	-	-	-	-	-	-	3.2	-	-	-	22.5	2.55
Yungchun	-	2.0	-	-	-	-	-	-	15.7	-	-	-	-	-	-	-	17.7	2.00
Yungduk	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7	-	13.4	-	-	-	-	-	17.1	1.94
Uljin	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-	14.9	-	-	-	-	-	16.8	1.90
Chungdo	-	1.5	-	5	-	-	-	-	0.8	-	-	-	-	-	-	-	7.3	0.83
Goryung	-	-	-	7.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.1	0.80
Chungsong	-	0.6	-	-	-	-	-	-	1.5	-	0.4	-	-	3	-	-	5.5	0.62
Yechun	-	-	-	-	-	1.5	-	-	-	-	-	1.4	-	-	-	-	2.9	0.33
Ulreung	-	2.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	0.33
Yungyang	-	-	-	0.1	0.1	-	-	-	1.4	-	-	-	-	-	-	-	1.6	0.18
Dalsung	-	-	0.2	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.11
Sungju	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	0.5	0.06
Andong	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.05
Kyungsan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	0.4	0.05
Sunsan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-	-	-	0.2	0.02
Kunwi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
total	2.0	139.1	5.7	16.8	12.1	73.0	30.0	19.6	165.6	0.4	58.0	13.7	20	3	292.2	32	883.2	100

* parenthesis represents accumulated rainfall when mass-movement occurred. (unit : mm)

Fig. 1. The geological distribution and places(●) which landslide occurred at Sangju and Bonghwa county

Table 2에서와 같이 尙州地方에서 花崗岩의 分布面積은 54,125ha로 全体面積의 43%이고 花崗片麻岩의 分布面積은 29,055ha로 23%이며 片岩類의 分布面積은 20,753ha로 17%이고 堆積岩地帶의 分布面積은 21,557ha로 17%이다. 그리고 堆積岩은 주로 平地에 分布하고 있다.

尙州地方의 山沙汰에 의한 被害面積은 花崗岩地帶에서는 94ha로 全体被害面積의 54%이고 花崗片麻岩地帶에서는 53ha로 30%이다.

尙州地方의 1,000ha當 山沙汰 被害面積과 發生個所數는 花崗岩地帶가 1.74ha에 0.37個所이며 花崗片麻岩地帶에서는 1.82ha에 0.96個所로 被害面積은 花崗岩地帶와 비슷하나 發生個所數는 2.7배나 많다. 그러므로 尙州地方에서의 山沙汰는 花崗片麻岩地帶에서 많이 發生하고 다음으로는 花崗岩地帶, 片岩類地帶의 順이다.

奉化地方의 地質(孫致武 등, 1963; 李種革 등, 1989)은 奉化邑을 중심으로 葉理狀花崗岩이 넓게 分布하고 이 葉理狀花崗岩은 節理가 發達하여 風化된 岩石은 아주 얇은 조각으로 剝離된다. 奉化의 中央部는 東南에서 北西쪽으로는 大寶花崗岩이 길게 分布하며 위의 東北쪽으로는 片麻岩類가 길고 넓은 面積으로 分布하며 南部에는 東에서 西쪽으로 좁은 面積의 混成片麻岩이 分布하고 이 地帶의 아래쪽에 堆積岩인 河陽層이 分布하고 있다(Fig. 1).

奉化地方의 山沙汰는 大部分 花崗岩地帶에서 發生하였고 1,000ha當 被害面積과 發生個所數는 0.49ha

에 0.34個所로 奉化全体山沙汰 發生個所數의 84%이며 花崗岩중에서도 葉理狀花崗岩에서 大部分의 山沙汰가 發生하였고 大寶花崗岩地帶와 片麻岩類地帶 그리고 混成片麻岩地帶에서도 一部 發生하였다. 葉理狀花崗岩은 節理사이로 물이 스며들어 風化가 쉽게 되어 山沙汰 發生率이 높은 것으로 判斷된다.

山沙汰發生과 母岩別 風化土의 物理的 性質과의 關係를 分析하기 위해 主成分分析(Principal component analysis)을 한 結果는 花崗岩地帶와 花崗片麻岩地帶에서 發生한 山沙汰는 Factor 1축을 따라서 分布하고 있으며 그 외의 片岩類와 堆積岩地帶에서 發生한 山沙汰는 Factor 2축을 따라서 分布하고 있어서 山沙汰發生과 母岩은 깊은 關係가 있는 것으로 나타났다.

尙州와 奉化地方의 山沙汰 發生地의 下部層에 岩盤이 있는 곳은 花崗岩에서는 81%, 花崗片麻岩地帶에서는 83%나 되고 이 岩盤層에서 浸透水가 더 내려가지 못하여 風化土層을 飽和시키며 岩盤과 分離되어 滑動을 쉽게 한 것으로 생각된다.

李壽坤(1993)은 우리나라 花崗岩의 風化過程에서 흔히 볼 수 있는 것은 露出된 母岩이 먼저 風化되고 땅속 깊이 들어갈수록 風化가 덜 된 狀態로 남아있고 밑에는 風化되지 않은 岩盤이 있다고 한다. 朴炳基(1973)도 우리나라 花崗岩風化土는 土壤斷面의 上層部일수록 風化가 많이 進行되고 粒度分析에서 細粒土보다는 粗粒土의 量이 많았다고 한다.

Table 2. The occurred area and numbers of landslide and land-creep by parent rocks

(unit : ha)

Style	Parent rock	Area	Occurred area	Occurred numbers	Occurred area per 1,000ha	Occurred numbers per 1,000ha	Bedrock	
							existed places	non-existed places
landslide	granite	116,563.12 (47.5%)	125.05 (60.6%)	41 (47.1%)	1.07 (31.3%)	0.35 (21.6%)	9 (81.8%)	2 (18.2%)
	granitic gneiss	30,833.59 (12.6%)	53.0 (25.7%)	28 (32.2%)	1.72 (50.3%)	0.91 (56.2%)	5 (83.3%)	1 (16.7%)
	schist group	62,172.07 (25.3%)	13.55 (6.6%)	12 (13.8%)	0.22 (6.4%)	0.19 (11.7%)	1 (50%)	1 (50%)
	sedimentary rocks	36,027.22 (14.6%)	14.7 (7.1%)	6 (6.9%)	0.41 (12.0%)	0.17 (10.5%)	3 (75%)	1 (25%)
	total	245,596	206.3	87	3.42	1.62	18	5
average				0.85	0.41			
land-creep	Yeunil group (mudstone)	40,448	4.133	10	0.10	0.25	10 (100%)	-

浦項과 慶州 양북면의 地質(嚴相鎬 등, 1964)은 新生代 第3紀層의 延日層群과 長鬚層群으로 區分되고 延日層群의 대부분은 포항과 흥해에, 一部는 慶州 東海岸에 分布하고 長鬚層群은 연일, 조양, 장기, 구룡포에 分布한다. 延日層群의 上部層은 셰일(shale), 砂岩, 泥岩으로 構成되어 있으나 泥岩이 優勢하고 下部層은 川北礫岩層으로 構成되어 있다. 長鬚層群은 주로 白色 또는 淡灰色의 凝灰岩으로 되어 있으나 砂岩, 셰일(shale) 그리고 礫岩이 다소 夾在되어 있다.

땅밀림은 Table 2와 같이 주로 堆積岩地帶에서 發生하였으며 延日層群의 泥岩地帶에서 集中的으로 發生하였다. 山沙汰의 平均被害面積은 0.118ha 인 데 比하여 땅밀림은 0.483ha로 約 4배나 規模가 크다.

박 등(1997)과 이영취(1996)가 調査한 바에 의하면 母岩別 風化土에 대한 化學的 性質은 큰 差異가 없었다. 花崗岩, 片岩類 및 泥岩의 化學成分 중 2酸化硅素(SiO₂)가 61%~70%로 가장 많고 이 2酸化硅素(Silica)는 땅속에서 물을 吸水하면 실리카겔(SiO₂nH₂O)이 되어 水分子가 적으면 粘着力

이 높으나 水分子가 많으면 粘着力이 떨어지므로 산사태와 땅밀림이 쉽게 일어날 수 있는 化學的 性質이라고 할 수 있다.

母岩別 風化土에 대한 物理的 性質은 Table 3과 같이 土性, 固相, 孔隙率, 含水率, 土壤密度, 硬度 등에 差異가 있는 것으로 나타나고 있다. 土性중 모래함량은 土壤斷面의 上層에 많고 下層으로 내려갈수록 모래량은 減少하고 粘土와 微砂量이 增加하였다. 모래함량과 固狀, 含水率, 孔隙率, 密度, 硬度에 대해 統計分析한 결과, Table 4와 같이 相關關係가 있었다. 즉, 모래함량이 많을수록 固狀과 密度는 증가하고 含水率과 孔隙率은 떨어지므로 土壤의 重量은 증가하였을 것으로 생각되며 孔隙率이 많으므로 含水率은 증가하고 土壤은 쉽게 流動하였을 것이다. 花崗岩風化土에서 모래함량이 73%, 花崗片麻岩 60%, 片岩類 51%, 堆積岩 45%로 차이가 있었다(Table 5). 土壤斷面의 上層部에 모래량이 많은 것은 水의 浸透가 容易하고 下層部에 粘土量이 많은 것은 含水比가 높아 쉽게 滑動할 수 있는 條件을 提供한다. 그러므로 花崗岩과 花崗片麻岩地帶에서 山沙

Table 3. The physical properties of soil of weathered parent rocks

Style	Parent rock	Layer	Soil Texture				Solid phase (%)	Moisture content (%)	Porosity (%)	Density (g/cm ³)	Hardness (mm)
			soil texture	sand (%)	silt (%)	clay (%)					
landslide	granite	upper	SL	77.05	10.73	12.22	55.17	15.09	44.83	1.11	0.78
		middle	SL	73.40	12.75	13.85	54.28	14.82	45.72	1.21	1.05
		lower	SCL	69.01	15.50	15.49	57.05	13.78	42.95	1.28	1.29
		whole	SL	73.16	12.99	13.85	55.50	14.56	44.50	1.20	1.04
	granitic gneiss	upper	SCL	66.79	18.00	15.21	42.51	18.89	57.49	1.02	0.61
		middle	CL	57.36	21.71	20.93	44.77	19.83	44.66	1.06	0.92
		lower	CL	57.27	22.06	20.67	45.20	19.36	44.23	1.09	1.10
		whole	CL	60.47	20.60	18.93	44.16	19.35	48.79	1.06	0.88
	schist group	upper	CL	57.75	20.95	21.30	38.55	22.25	61.45	1.00	0.61
		middle	LiC	48.00	22.80	29.20	47.10	22.45	52.90	0.95	0.48
		lower	LiC	48.00	22.80	29.20	47.10	22.45	52.90	0.95	0.48
		whole	LiC	51.25	22.18	26.57	44.25	22.38	55.75	0.97	0.52
sedimentary rocks	upper	LiC	47.48	24.14	28.38	40.67	24.35	51.83	0.92	1.11	
	middle	LiC	45.30	24.40	30.30	45.20	16.32	54.80	0.90	1.18	
	lower	LiC	44.50	24.12	31.38	42.00	16.88	58.00	1.01	1.26	
	whole	LiC	45.76	24.22	30.02	42.62	19.18	54.88	0.94	1.18	
land-creep	sedimentary rock (mudstone, shale)	upper	SC	57.38	15.05	27.57	48.59	24.79	51.41	0.97	1.26
		middle	LiC	53.91	17.97	28.12	52.58	23.90	47.42	1.03	1.06
		lower	LiC	54.66	16.37	28.97	48.73	24.40	51.27	0.99	1.11
		whole	SC	55.32	16.46	28.22	49.97	24.36	50.03	1.00	1.14

Table 4. Correlation between physical properties of weathered soil in landslide occurred

Properties	Sand	Solid phase	Moisture content	Porosity	Density	Hardness
Sand	1.000	0.716**	-0.632**	-0.601*	0.839**	0.014
Solid phase		1.000	-0.738**	-0.760**	0.789**	0.192
Moisture content			1.000	0.511*	-0.734**	-0.566*
Porosity				1.000	-0.731**	-0.353
Density					1.000	0.329
Hardness						1.000

** : Correlation is significant at the 0.01 level * : Correlation is significant at the 0.05 level

Table 5. The sand content of upper soil layer by parent rock (unit : numbers)

parent rocks sand content(%)	granite	granitic gneiss	schist group	sedimentary rock
	86~90	1(9.1%)		
81~85	2(18.2%)			
76~80	3(27.3%)			
71~75	4(36.3%)	2(33.3%)		
66~70	1(9.1%)	1(16.7%)		
61~65		3(50.0%)		
56~60			2(100%)	1(25%)
51~55				1(25%)
46~50				
41~45				1(25%)
36~40				
31~35				1(25%)
total	11	6	2	4

汰의 發生率이 높고 片麻岩과 堆積岩은 上層部에 粘土와 微砂土의 含量이 높아 빗물의 浸透가 어려울 것으로 생각된다.

朴炳基(1974)는 花崗岩風化土의 透水性을 調査한 結果 土壤粒子의 構成과 다짐도에 따라 透水係數가 다르고 土壤粒子가 작을수록 透水係數가 낮았다고 하였다. 林炳祚(1974)는 花崗岩의 風化土는 水分에 의해 飽和되면 土壤의 粘着力은 거의 零이 되고 含水比가 增加함에 따라 剪斷抵抗角은 거의 直線的으로 減少한다고 하였다. 그러므로 風化土의 粘土는 水分에 의해 飽和되면 粘着力과 剪斷抵抗力이 작아져서 쉽게 滑動할 수 있다. 花崗岩의 固相은 花崗片麻岩과 片麻岩類보다 1.25배 높고 堆積岩 보다는 1.3배 많다. 여기에 土塊의 比重을 곱한다면 土塊自體의 重量은 훨씬 커질 것으로 생각된다.

土深이 깊을수록 山沙汰 被害面積은 크고 土深의 깊이가 60cm~90cm에서 山沙汰發生率은 73%

나 되고 61cm~70cm에서 35%, 71cm~80cm는 23%로 山地에서 山沙汰는 土深 61cm~80cm에서 發生率이 가장 높다(Table 6). 땅밀림에서는 風化되지 않은 岩塊가 滑動을 하므로 Table 5에서와 같이 土深과는 關係가 없는 것으로 나타났다. 斜面傾斜度는 Table 7에서와 같이 斜面의 傾斜度 31°~35°에서 山沙汰發生率은 15%이며 36°~40°에서 35%이고 41°~45°에서는 42%이므로 山沙汰發生率이 가장 높고 45°以上에서는 發生率이 떨어진다. 그러므로 山地에서 山沙汰發生은 傾斜度 36°~45°에서 77%로서 山沙汰發生率이 가장 높다. 땅밀림은 31°~35° 사이에서 많이 發生한 것으로 나타나고 있으나 發生件數가 여러 傾斜度에 分散되어 있으므로 크게 影響을 주지 않는 것으로 생각된다. 땅밀림發生은 地下水의 上昇과 關係가 깊고 서서히 滑動하므로 斜面의 傾斜度는 크게 影響을 주지 않을 것으로 생각된다.

Table 6. The occurred area and numbers of landslide and land-creep by depth of weathered soil (unit : ha)

depth (cm)	landslide		land-creep	
	area	numbers	area	numbers
20 and below	-	-	2.727 (56.4%)	4 (40%)
31~40	-	-	0.967 (20.0%)	2 (20%)
41~50	0.385 (12.6%)	1 (3.8%)	-	-
51~60	0.305 (10.0%)	4 (15.4%)	-	-
61~70	0.774 (25.3%)	9 (34.6%)	0.607 (12.6%)	1 (10%)
71~80	0.649 (21.2%)	6 (23.1%)	-	-
81~90	0.595 (19.5%)	4 (15.4%)	0.532 (11.0%)	3 (30%)
100 and over	0.349 (11.4%)	2 (7.7%)	-	-

Table 7. The occurred area and numbers of landslide and land-creep by slope degree (unit : ha)

slope degree	landslide		land-creep	
	area	numbers	area	numbers
20° and below	-	-	2.338 (48.3%)	2 (20%)
20°~25°	-	-	-	-
26°~30°	0.168 (5.5%)	1 (3.8%)	0.345 (7.1%)	1 (10%)
31°~35°	0.338 (11.1%)	4 (15.4%)	0.964 (19.9%)	4 (40%)
36°~40°	1.754 (57.4%)	9 (34.7%)	0.874 (18.1%)	2 (20%)
41°~45°	0.702 (23.0%)	11 (42.3%)	0.312 (6.6%)	1 (10%)
46°~50°	0.095 (3.0%)	1 (3.8%)	-	-

崔 등(1982)은 평창, 보은, 영월, 정선, 광양, 보성, 안성의 山沙汰에서 斜面의 傾斜度 30°~35°에서 가장 많이 발생하였고 姜과 麻 등(1988)은 경남지역의 山沙汰에서 사면의 傾斜度 26°~30°에서 發生件數 30%, 被害面積 31%로서 가장 많았다고 보고하였다. 高橋(1971)는 日本의 시라地帶에서 36°~40°에서 44.2%의 山地崩壞가 일어났다고 하였다. 그러므로 경사도와 산사태발생은 장소에 따라 다소 차이가 있었다. 이것은 降雨量, 地被植生, 風化土의 土性이 산사태에 관여함으로 경사도와 산사태발생은 장소에 따라 차이가 있을 수 있다. 산사태발생지는 土塊가 崩壞되어 원래의 縱斷斜面形을 판단한다는 것은 매우 어려우나 崩壞地의 縱斷斜面은 대부분 下降斜面이었다.

標高와 山沙汰發生과의 相關關係는 없었으나 대개 400m以上에서는 山沙汰發生率이 적었으나 山沙汰發生과 標高는 關係가 없는 것으로 생각되며 標高가 낮을수록 地下水水位가 높으므로 땅밀림과는 關係가 있을 것으로 생각되나 100m~200m에서 發生率이 50%로서 가장 높다. 그러나 땅밀림은 發生個所數가 적었으므로 正確한 判斷은 어려웠다.

山沙汰 및 땅밀림의 發生과 斜面의 方位와의 相關關係는 없는 것으로 나타났으며 降雨前線과 斜面의 方向에 따라 降雨量의 差異가 있을 수 있으나 山沙汰와 地滑地는 集中豪雨에 의해 發生하므로 斜面의 方位와는 關係가 없을 것으로 생각된다.

深根性이고 뿌리가 많은 樹種은 土壤粒자를 緊縛할 能力이 있어 山沙汰의 發生을 抑制할 수 있을 것으로 생각되나 山沙汰 發生地는 82%가 땅속에 岩盤 혹은 굵은 자갈層이 있어 뿌리가 더 이상 밑으로 뻗지 못하고 뿌리 채 뽑혀 있었다.

山沙汰發生地의 7部~8部 稜線에는 주로 소나무의 純林이고 참나무類와 소나무의 混淆林이 약간 있으며 過去 砂防地로서 아까시나무 및 오리나무林이 一部 있었다. 소나무의 뿌리는 옆으로는 많이 뻗었지만 깊이 내려가지는 못하였으며 山麓部에 참나무類가 있는 곳에서 山沙汰가 停止된 痕跡을 볼 수 있었다. 樹齡은 15年生~35年生이었으나 소나무林은 대부분 25年生~30年生이었다.

森林植生이 山沙汰發生을 抑制한다는 理論도 있으나 땅밀에 岩盤이 반친 곳에서는 深根性樹種이라도 뿌리가 깊이 뻗지를 못하고 土塊의 滑動과 함께 뿌리 채 뽑히는 경우가 많고 山沙汰가 7部~8部 稜線에서 發生하는 것은 바람의 影響을 받아 樹幹이 흔들려 土塊의 滑動에 影響을 줄 수 있다

고 생각되며 땅밀림은 岩塊가 滑動하므로 森林植生과는 關係가 없는 것으로 생각된다.

땅밀림은 서서히 進行되고 그 徵候를 比較的 쉽게 發見할 수 있으므로 땅밀림의 滑動을 阻止할 수 있는 方法을 研究해야 할 것이다. 우선 빗물이 갈라진 틈 사이로 들어가지 않게 윗부분을 切取하여 틈사이를 메우고 땅밀림은 地下水의 上昇으로 發生하므로 地下水位를 低下시켜야 하며 地下水를 排出하기 위해 보링을 하여 集水井을 設置하고 排水管을 통해서 地下水를 排出시키므로 岩塊의 滑動을 어느 정도 막을 수 있다고 생각된다. 땅밀림은 重力에 의해 아래로 미끄러져 가므로 윗쪽부분을 切取하여 重量을 줄여주고 切取한 흙을 아래부분에 쌓아 盛土하므로써 滑動에 대한 抵抗力을 增加시킬 수 있고 基盤岩까지 말뚝(pile)을 박아 땅밀림의 進行을 中斷시키는 方法이 있다.

結 論

山沙汰와 땅밀림의 發生原因을 調查하여 發生原因을 除去함으로써 土塊의 滑動을 어느 정도 阻止할 수 있는 方法을 究明코자 하였다.

慶北의 尙州와 奉化 그리고 浦項과 慶州地方에는 集中豪雨가 週期的으로 發生하고 大規模의 山沙汰와 땅밀림이 發生하였다.

山沙汰와 땅밀림 發生의 直接的인 原因은 連續降雨量으로 尙州와 奉化地方에는 山沙汰가 자주 發生하였고 浦項과 慶州地方은 땅밀림이 比較的 많이 發生하는 地域으로서 山沙汰는 花崗片麻岩地帶에서 發生頻도가 높고 그 다음은 花崗岩地帶이며 땅밀림은 第3紀層인 延日層群에서 주로 發生하였으며 主母岩은 泥岩으로 未固結된 岩石이다.

風化土의 物理的 性質이 山沙汰發生에 많은 影響을 주며 土壤斷面의 上層에는 모래량이 많고 下部로 내려갈수록 모래량은 감소되고 粘土量은 增加하여 산사태발생에 影響을 미친 것으로 생각된다. 上層部 모래량은 花崗岩地帶에서는 77%, 花崗片麻岩은 66%로 빗물의 浸透가 容易하였을 것으로 判斷되고 片岩類는 58%, 堆積岩은 48%로 傾斜地에서 빗물의 浸透가 쉽지 않았을 것으로 推測된다. 下層部의 粘土는 浸透된 빗물에 의해 飽和狀態가 되면 潤滑作用을 하여 土塊가 쉽게 滑動하게 된다.

花崗岩과 花崗片麻岩은 表面에서 風化되어 땅속 깊이 내려갈수록 未風化된 岩盤層이 82%나 되

어 빗물의 浸透를 막고 滑動面의 土塊를 쉽게 飽和시킬 수 있다.

花崗岩의 風化土는 固相이 많으며 土壤密度가 높고 花崗片麻岩은 固相은 떨어지나 密度가 높아 重力의 影響을 크게 받아 滑動이 쉽게 된 것으로 推測된다.

土深 61cm~80cm에서 山沙汰 發生件數는 많았으나 土深이 깊을수록 被害規模는 오히려 컸다.

斜面의 傾斜는 41°~45°에서 山沙汰 發生頻도가 가장 높았고 被害面積은 36°~40° 사이에 가장 컸으므로 山沙汰는 36°~45° 사이에서 많이 發生하였다.

땅밀림은 岩塊가 滑動하므로 斜面의 傾斜와는 큰 關係가 없는 것으로 생각되나 20°以上에서 發生하였다.

標高와 斜面의 方位는 山沙汰發生과는 關係가 없는 것으로 생각되며 植生과 山沙汰發生과의 關係는 花崗岩과 花崗片麻岩地帶에서는 下部層에 岩盤과 자갈層이 있어 風化土를 쉽게 滑動시킬 수 있었고 樹木이 뿌리를 뺄지 못하여 土壤粒子에 대한 緊縛效果보다는 오히려 颱風이 불 때 樹幹이 흔들려 土塊에 충격을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

堆積岩의 層理와 葉理사이의 風化土는 地下水位의 上昇으로 土塊가 分離·滑動하여 龜裂이 생길 때 그 사이로 빗물이 스며들어 膨潤하여 서서히 流動하므로 땅밀림이 發生할 수 있고 龜裂사이로 빗물이 들어가지 않게 틈사이를 메우고 地下水는 밖으로 排出시키고 上部를 切土하여 重量을 줄이며 切土한 흙은 下部에 쌓아 滑動을 防止하고 말뚝(pile)을 下部岩盤까지 박아 滑動하는 岩塊를 阻止시킬 수 있을 것이다.

引用 文 獻

1. 강위평. 1971. 花崗岩地帶 荒廢地 土壤의 性質에 關한 研究. 文教部 研究報告書 農學係 3:1~10.
2. 강위평. 1973. 禿裸地와 地形因子와의 關係. 韓國林學會誌 18:13~16.
3. 강위평. 1974. 禿裸地와 地形因子와의 關係. 韓國林學會誌 22:63~65.
4. 姜渭平·村井宏·大村寬·麻鎬燮. 1986. 數量化(II)에 의한 山沙汰 斜面의 危險度 判別. 韓國林學會誌 75:32~37.
5. 강위평·마호섭·정모근. 1988. 87年 颱風 5

- 號에 依한 慶南地區의 山沙汰에 關한 研究. 韓國林學會誌 77(3) : 276~282.
6. 김교원·김상규·우보명. 1996. 봉적토 사면의 포행성 지반활동. '96 사면안정 학술발표회 : 33~52.
 7. 김영수·박시현·유철호. 1996. 포항지역 이암 풍화토의 공학적 특성. 사면안정 학술발표회 요지 : 114~121.
 8. 마상규. 1979. 山沙汰發生地와 被害危險地의 環境學的 解析과 豫防對策. 韓國林學會誌 45 : 11~25.
 9. 마호섭. 1987. 山地斜面崩壞危險의 豫知에 關한 研究. 慶尙大學校 博士學位論文.
 10. 마호섭. 1994. 山地斜面的 崩壞危險度 豫測 모델의 開發 및 實用化 方案. 韓國林學會誌 83(2) : 175~190.
 11. 朴炳基. 1973. 花崗岩質 風化土의 特性 研究 (I) - 光州地域 花崗岩質 風化土의 物理的 性質을 中心으로 - 대한토목학회지 21(4) : 200.
 12. 朴炳基. 1974. 花崗岩質 風化土의 特性 研究 (II). - 光州地域 花崗岩質 風化土의 物理的 性質을 中心으로 - 대한토목학회지 22(2) : 214.
 13. 박병기·강명선·이강일·이광찬·임은상. 1997. 花崗土의 剪斷強度 및 變形特性. 한국지반공학회지 13(4) : 177~195.
 14. 孫致武·金洙鎮. 1963. 地질도폭 설명서(춘양). 국립지질조사소 : 1~28.
 15. 嚴相鎬·李東雨·朴奉淳. 1964. 地질도폭 설명서(포항). 국립지질조사소 : 1~21.
 16. 우보명. 1976. 土壤浸蝕에 作用하는 몇 가지 要因의 影響에 關한 研究. 韓國林學會誌 29 : 54~101.
 17. 우보명. 1979. 산사태 재해의 특징과 예방대책. 산림 160 : 37~43.
 18. 우보명. 1984. 韓國의 山沙汰防災對策에 關한 研究. 韓國林學會誌 63 : 51~60.
 19. 우보명·임경빈·이수욱. 1978. 安養地域에 있어서 豪雨에 依한 山沙汰發生에 關한 實態 調査와 豫防對策에 關한 研究. 韓國林學會誌 39 : 1~34.
 20. 우보명·박재현·최형태·전기성·김경훈. 1996. 休石洞 땅밀림型 山沙汰의 發生特性에 關한 研究 (I). 國林學會誌 85(4) : 565~570.
 21. 우보명·박재현·최형태·전기성·김경훈. 1996. 休石洞 땅밀림型 山沙汰의 發生特性에 關한 研究 (II). 韓國林學會誌 85(4) : 571~576.
 22. 원종관·김기태. 1969. 地질도폭 설명서(상주). 국립지질조사소 : 1~34.
 23. 李壽煜. 1981. 韓國의 森林土壤에 關한 研究 (II). 韓國林學會誌 54 : 25~35.
 24. 李壽坤. 1993. 花崗岩의 風化. 地質學會誌 29(4) : 396~413.
 25. 이영휘. 1996. 포항 이암층의 slaking, 팽창 및 전단강도 특성. 한국지반공학회지 12(2) : 33~42.
 26. 李種革·李尙憲·張泰雨. 1989. 풍기도폭 지질보고서. 韓國動力資源研究所 : 1~14.
 27. 林炳祚. 1974. 물이 花崗土의 工學的 性質에 미치는 影響 - 특히 剪斷特性의 變化에 대하여 - 대한토목학회지 22(2) : 75~81.
 28. 林業研究院. 1992. 山林의 公益的機能의 計量化 研究(II) 제2차년도 연차보고서 科學技術處 : 106~107.
 29. 鄭印九. 1973. 泥岩地帶 荒廢林地의 地被植生造成方法에 關한 研究. 韓國林學會誌 19 : 1~23.
 30. 趙熙斗. 1984. 花崗岩風化土의 力學的 性質에 關한 研究. - 剪斷強度의 影響要素와 堅密度에 對하여 - 韓國林學會誌 66 : 16~36.
 31. 趙熙斗. 1997. 우리나라 南部地域 花崗片麻岩質 森林土壤의 土壤生成. 韓國林學會誌 86(2) : 186~199.
 32. 최 경. 1982. 山沙汰 發生原因에 關한 研究. 林業試驗場 研究報告 29 : 7~37.
 33. 최 경. 1983. 山沙汰 發生豫智에 關한 研究 - 多變量 分析法에 依한 - 林業試驗場 研究報告 30 : 109~130.
 34. 최 경. 1999. 균열 및 침하로 인한 산사태 방지대책. 산림 1999. 4. : 62~63.
 35. 犬塚義之. 1982. 北松型地すべりの特徴. 第17回 治山林道研究發表論文集 : 310~313.
 36. 高橋正佑. 1971. シラ地帯における山腹崩壞について. 日本林學會九州支部研究論文 25 : 220~222.
 37. 高倉和夫. 1989. 島原半島の地すべり. 第24回 治山林道研究發表論文集 : 328~332.
 38. 渡正亮. 1974. 地すべりの調査. 新砂防 Vol. 27, 3(94) : 41~51.
 39. 東義彦. 1981. 上矢山地區の地すべり防止事業. 第16回 治山林道研究發表論文集 : 245~247.

40. 桑原啓三. 1977. 地下水變動による斜面崩壊の豫測. 土と基礎 Vol. 25, 238 : 11~17.
41. 細田豊. 1980. 斜面長と斜面崩壊との關係. 91回 日林論 : 437~438.
42. 山田正雄・田中清可・申潤植. 1986. 山腹斜面崩壊に關する物理モデルの適用について. 一昭和 57年 長期豪雨災害地例-. 新砂防 Vol. 38(6) : 17~25.
43. 森秀人. 1989. 野呂川北澤地區(無名澤)の地すべり性崩壊對策. 第24回 治山林道研究發表論文集 : 130~137.
44. 岸岡孝. 1963. 地形因子との關係. 日林誌 45 (11) : 381~384.
45. 日浦啓全・佐久恭二・大手桂二・武居有恒. 1978. 風化花崗岩類地帯における斜面崩壊に關する研究(1)-風化度と21セソ斷特性について. 京都府立大學學術報告農學 30 : 47~57.
46. 中村俊彦. 1981. 地すべり發生豫知についての研究(I). 第16回 治山林道研究發表論文集 : 162~163.
47. 村秀田一・久永喜代志. 1989. 油谷町白木地區地すべりについて. 地すべり學會關西支部現地討論會 : 15~28.
48. 下川説郎. 1976. 降雨條件と山地崩壊. 日林誌 58(4) : 136~140.