

## 경상남도 합천군 신설도로의 SL-2 암반사면에 대한 지질공학적 고찰

최정찬<sup>1,\*</sup> · 송용선<sup>1</sup> · 라원진<sup>2</sup> · 김남훈<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 환경 · 해양대학 환경지질과학과, <sup>2</sup>리치이엔씨 설계사업부

## An Analysis for Engineering-Geological Factors on the SL-2 Rock Slope along New Road at Hapcheon-Gun, Gyeongsangnam-Do

Jung-Chan Choi<sup>1,\*</sup>, Yong-Sun Song<sup>1</sup>, Won-Jin La<sup>2</sup> and Nam-Hoon Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University

<sup>2</sup>Department of Planning & Design, Rich E & C Co., Ltd.

**요약:** 경상남도 합천군에 건설 중인 도로사면에 당초 설계와는 다른 암질 및 불연속면이 분포하고 있다. 따라서 당초 설계와는 달리 소규모 산사태가 발생되어 정상적인 공사추진에 애로사항이 있으므로, 현장조사 및 실내작업을 통하여 지정된 사면에 대한 전체적인 지질공학적 분석을 하는 것이 본 연구의 목적이다. 이를 위해 측량, 슈미트해머(Schmidt Hammer) 시험, 불연속면 조사를 시행하였고 실내에서 DIPS 프로그램을 이용하여 사면의 안정성을 분석하였다. 분석결과, 평면, 전도 및 쉐기파괴의 가능성이 있으며 용출수가 집중되는 곳이 있으므로 이에 대한 보강 공사가 요구되고 있다.

**주요어:** 도로사면, 산사태, 사면안정성, 용출수

**Abstract:** The road slope at Hapcheon-Gun, Gyeongsangnam-Do is under construction, but actual rock quality & discontinuities on the cut slope are something different from the primary design. Therefore, object of this study is to analyze whole engineering-geological characteristics for this slope through site investigation and laboratory analyses because small scale landslides have been occurred during this road construction. For this object, various analyses were performed such as surveying, Schmidt Hammer test, discontinuity investigation and laboratory analysis using DIPS for evaluating slope stability. As the result, it is identified that reinforcement work is needed because plane, toppling & wedge failures will be possibly occurred and seepages are concentrated at several points.

**Key words:** road slope, landslide, slope stability, seepage

### 서 론

우리나라는 국토의 70% 이상이 산지로 구성되어 있어 도로건설 시 필연적으로 절개면을 발생시키고 있다. 더욱이 국내의 지질 및 기후특성으로 인해 암반대의 노출에 의한 풍화, 여름철의 집중강우로 인한 지표수 침투 및 지하수 용수, 그리고 사계절의 뚜렷한 차이에 의한 동결 및 융해작용 발생 등으로 매년 우기나 해빙기에 낙석, 절개면 붕괴 등이 발생하여 인명피해 및 재산피해, 교통통절 등의 재해가 발생하고 있으나, 도로

자체의 공사에만 주력하는 경향이 있어 안정성이 충분히 검토되지 못하는 경향이 있다(건설교통부, 1999). 본 연구는 합천호~산청IC간 연결도로 확 · 포장 공사 중 경남 합천군 대정면 하금리 소재 터널 시점 갱구부 절개사면에 대해 지표지질조사 등의 현장조사를 통해 절리, 관입경계, 단층 등의 불연속적 지질구조의 방향성 및 분포상태, 암석의 풍화상태, 암석강도 등에 대한 공학적 자료들을 획득하고 기존의 문헌자료와 현장자료를 분석하여 암반사면의 안정성을 분석하는데 그 목적이 있다.

\*Corresponding author: Tel. 82-51-620-6239, Fax. 82-52-628-6432, E-mail: jcchoi@pknu.ac.kr

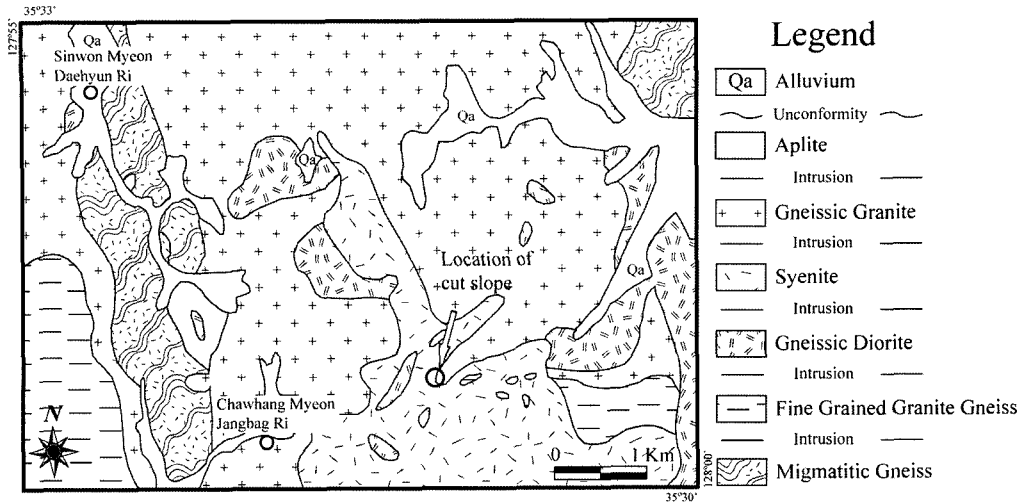


Fig. 1. Geological map for the study area.

### 지질 및 암석기재

연구지역은 1 : 50,000 안의도폭(황인전과 박정서, 1968)의 남동부 지역으로 위도 35°30'~35°33', 경도 127°55'~128°00' 범위에 놓인다. 선캠브리아기 소백산(영남)육괴의 변성암류에 중생대 각종 심성암체들이 관입하였고, 서쪽 남북방향의 신원천과 우측 합천호 유역을 따라 제4기 충적층이 발달되어 있다(Fig. 1).

선캠브리아기 변성암류는 미그마타이트질 편마암과 세립질 화강편마암으로 구분된다. 미그마타이트질 편마암은 심성암류의 관입으로 서쪽의 신원천 방향과 거의 평행하게 분포된 암체와 북동끝 부분에서 합천도폭(장기홍, 1968)지역에 걸쳐 소규모로 분포된 암체로 분리되어 분포한다. 흑운모편마암 내지 편암, 규암 등의 변성퇴적암층과 화강편마암이 교호층을 이룬 미그마타이트질 구조를 이루고 있다. 노두에 따라 변성퇴적암층이 우세하게 나타나지만 전반적으로 화강편마암이 우세하다. 세립질 화강편마암은 산청도폭(김옥준 외, 1964)에서는 세립질 편마상 화강암으로 분류되어 반려암, 섬록암, 섬장암 등의 심성암류 보다 후기에 관입한 것으로 기재되어 있지만 연구지역을 포함한 안의도폭(황인전과 박정서, 1968)에선 이들에 의해 관입당한 선캠브리아기 편마암류로 보았다. 심성암체들내에 소규모의 세립질 화강편마암들이 산재되는 것으로 볼 때 선캠브리아기 편마암으로 보인다.

편마상 섬록암과 섬장암은 연구지역 밖의 남쪽 산청지역에 분포된 반려암과 함께 200 Ma 부근에 이 지역에서 활발했던 심성화성활동(Kim and Turek, 1996)의

산물로, 관입시기에는 약간의 차이가 있지만 성인적으로 관련된 암체들일 것으로 생각된다. 편마상 섬록암은 입도와 유색광물의 함량이 암체 부분에 따라 약간의 변화가 있지만 대체로 조립질이고 일차적 엽리들이 현저하게 발달되었고, 20-30% 정도의 유색광물(주로 각섬석과 흑운모)을 함유하고 있다. 석영은 드물거나 소량이며, 사장석이 주성분 광물로 산출된다. 부분적으로 중립질이거나 유색광물의 함량이 더 높은 경우도 있다. 섬장암은 편마상 섬록암을 관입한 약간 후기의 관입암으로 보이며, 대부분 중-조립질이고 소량의 각섬석 등의 유색광물을 포함한 우백질 암상을 띤다. 풍화에 약한 장석류가 풍부하여 심한 풍화작용으로 신선한 노두를 보기 어렵다. 현미경으로 관찰하면 장석들이 대부분 견운모로 변질되거나 더욱 심하게 풍화되어 고령토화 되어 있다.

편마상 화강암은 담홍색을 띠는 K-장석과 사장석, 석영, 그리고 소량의 흑운모로 구성된 열은 담홍색의 조-중립질 화강암으로 선캠브리아기 편마암류와 편마상 섬록암, 섬장암 등 심성암류를 관입하였다. 현미경으로 관찰하면 장석들이 흔히 고령토화 되어 있다. 편마상 섬록암에 비해 엽리구조는 덜 현저하며 K-장석이 반정을 이룬 반상조직을 보이기도 한다. 관입 시기는 아직까지 알려져 있지 않지만 섬장암을 관입한 주라기 화강암으로 간주되고 있다. 변성퇴적암과 앵피블라이트 등의 잔류물들이 포획암으로 산출된다.

조사지점은 섬장암과 편마상 화강암의 경계 지역으로, 절개된 암반사면에서 섬장암과 이를 관입한 편마암상 화강암이 단층접촉을 보이며 함께 노출되어 있다

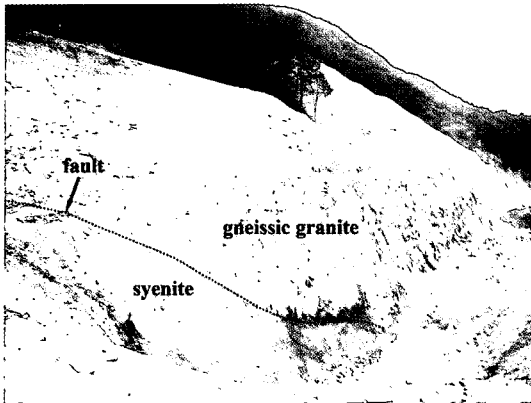


Fig. 2. A photo of the outcrop showing a fault contact between syenite and gneissic granite. Cut slope direction from left to right of photo; N60°E

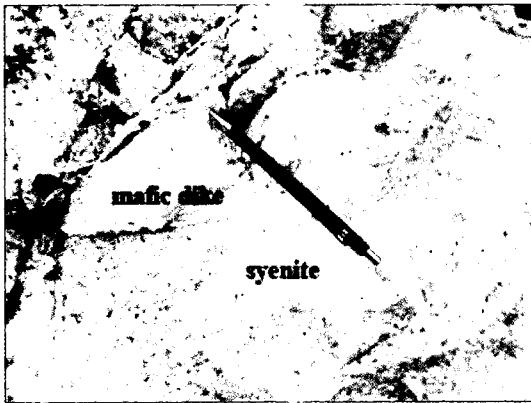


Fig. 3. Syenite intruded by a mafic dike.

(Fig. 2). 소규모의 산성 내지 염기성 암맥들도 관입하여 있고(Fig. 3) 단층작용으로 섭각암이 편마상 화강암에 주입되는 등 복잡한 암석조합을 보인다. 여러 조의 불규칙한 방향의 단층들이 발달하고 있으며(Fig. 4), 단층면에서 관찰되는 단층활선(slickenline)들이 흔하게 관찰된다.

따라서 조사지역은 다양한 화성활동과 더불어 복잡한 구조작용으로 인해 심하게 교란되거나 불규칙한 지질구조를 이루고 있으므로 지반의 공학적 특성이 매우 불리할 것으로 판단된다.

### 현장조사 방법

현장조사의 방법으로는 절개예정인 사면부의 노두에 대해 암반조사 및 슈미트해머(Schmidt Hammer)를 이용한 현장암강도 시험을 실시하였다.

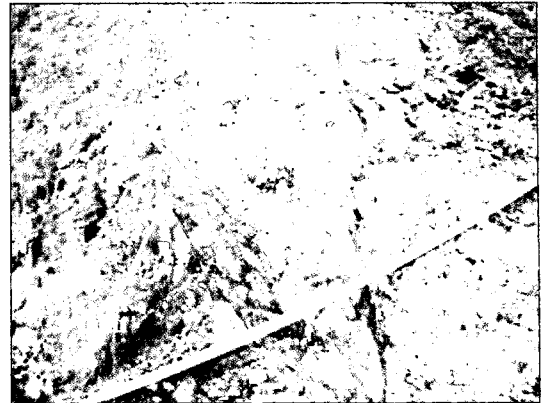


Fig. 4. Fault zone in gneissic granite.

암석은 일반재료와 같이 시료채취방법 및 시험조건에 따라 역학적 성질이 크게 변화하며, 특히 암석의 강도는 본질적으로 광물조직, 성인, 이력, 산지에 따라 변동범위가 매우 크므로 하나의 공시체의 강도에 대한 측정정도가 원지반 암반의 강도특성을 대표할 수는 없다. 따라서 현장에 분포하고 있는 지반의 강도특성을 보다 신속하고 간편하게 분석하기 위하여 일반적으로 슈미트해머 시험을 실시한다.

슈미트해머는 해머 스프링의 힘 즉, 미리 압축된 스프링에 축적된 힘을 방출함으로써 해머가 암반의 표면에 부딪힐 때 그 반발력을 측정함으로써 구하는 일종의 경도인데 신선하고 단단한 암반일 수록 해머의 튀어 오르는 거리는 크게 된다. 이 튀어 오르는 해머가 충격을 가하기 전에 스프링의 힘에 의하여 움직인 거리에 대한 백분율을 나타내며 이것을 슈미트해머의 반발치 또는 반발계수라고 한다. 슈미트해머는 원래 콘크리트의 압축강도나 탄성계수를 현장에서 간단히 측정하기 위하여 E. O. Schmidt에 의해 고안된 비파괴 시험기이다. 현지 암반의 강도를 가장 손쉽게 추정할 수 있는 방법으로 암반의 절리상태, 암벽의 거칠기, 습윤정도 등에 따라 측정치의 분산이 다소 심하며 암종에 따라 일축압축강도의 환산에 많은 편차를 나타내는 결점이 있으나, 일반적으로 현장에 분포하고 있는 암반의 강도를 추정하기 위해 국내외에서 널리 사용되고 있는 시험이다.

금번 사용된 슈미트해머는 일본 Sanyo Testing Machines Co. Ltd.에서 제작한 Rock Test Hammer (Standard/GS; Sanyo Testing Machins Co., Ltd., 2001)를 사용하여 각 지점별로 실시된 슈미트해머의 평균 반발치를 이용하여 일축압축강도를 산정한다.

본 조사 대상 사면에 대하여는 조사대상 사면의 규

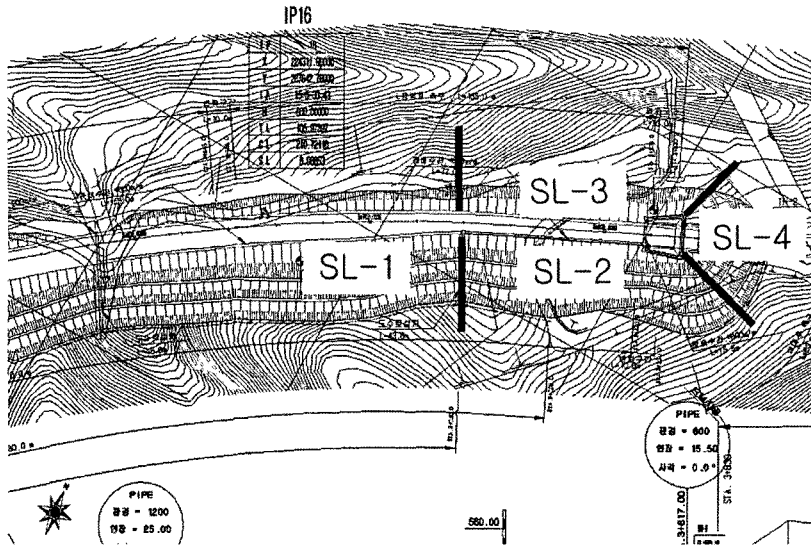


Fig. 5. Location map of the SL-2 slope.

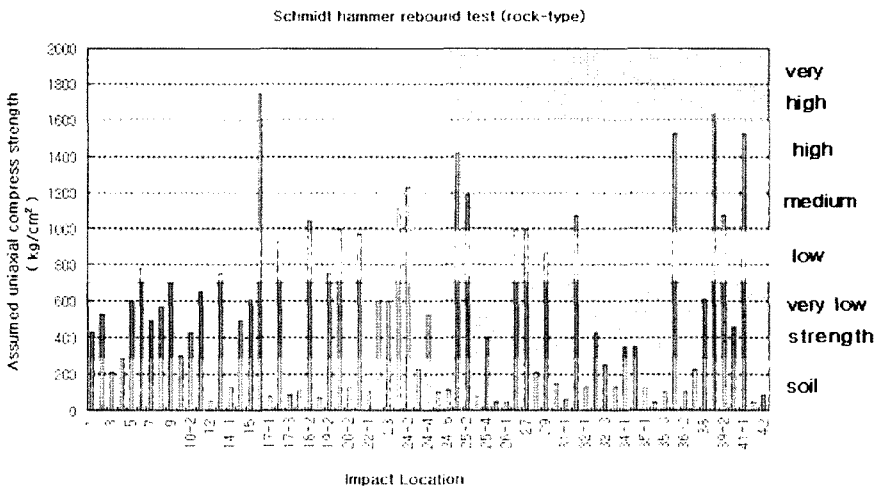


Fig. 6. The result of Schmidt Hammer test for each location.

모를 고려하여, 불연속면의 종류, 방향성 및 상태 사면의 규모와 방향성을 고려하여 명확하게 구분되는 SL-1, SL-2, SL-3 및 SL-4로 총 4구역으로 나누어 측정하였으며, 현장암반강도의 측정은 연속적이라고 판단되는 곳은 한 곳을 대표로 측정하며 암석의 공학적 성질이 달라지리라 예상되는 접촉 주변부는 여러 곳을 임의로 선정하여 실시하는 것을 원칙으로 하여 사면 전 반부에서 측정하였다(Fig. 5). 즉 Fig. 6 및 Table 1에서 35-1, 35-2 및 35-3은 한 장소에서 3군데를 측정한 것이며 파쇄대 왼쪽, 파쇄대 및 파쇄대 오른쪽의 순서로 3번 측정된 것을 나타낸다. 또한 현장조사 시 불연

속적 지질구조, 암반 등이 대부분 풍화토로 피복되어 있어 가능한 원위치와 가깝다고 판단되는 노두에 대해 불연속면의 방향성 측정 및 현장암반강도 시험을 하였다. 본 조사에서는 조사선을 이용한 기법이 적용되었다. 조사선(scanline)을 이용한 조사기법은 불연속면의 표본조사기법으로 종래부터 널리 사용하여 온 기법으로서, 암반에 유한 길이의 조사선을 설정하고 이와 교차하는 불연속면에 대하여 관찰, 기재하는 방법으로 사면을 조성하면서 형성된 소단들에 대해 실시하였다. 불연속면의 조사자료는 DIPS 프로그램을 사용하여 분석하였다.

Table 1. Result of the field survey for the study site

| I.D.<br>of cut slope                      | Station<br>NO.           | Coordinate (TM)          |    | Schmidt<br>Hammer<br>Value (R) | qu<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Rock classification              | Remark                               |
|---|--------------------------|--------------------------|----|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
|   |                          | x                        | y  |                                |                             |                                  |                                      |
| SL-1<br>(the bottom of<br>cut slope)      | #1                       | 224364.422<br>287680.745 |    | 40                             | 426                         | very low<br>strength rock        | syenite                              |
|   | #2                       | 224360.848<br>287675.396 |    | 43                             | 527                         | very low<br>strength rock        | syenite                              |
|   | #3                       | 224353.969<br>287666.661 |    | 30                             | 210                         | very low<br>strength rock        | syenite                              |
|   | #4                       | 224345.865<br>287655.04  |    | 32                             | 283                         | residual soil                    | gneissic granite                     |
|   | #5                       | 224339.062<br>287644.26  |    | 43                             | 603                         | very low<br>strength rock        | gneissic granite                     |
|   | #6                       | 224330.754<br>287632.594 |    | 47                             | 783                         | low strength rock                | gneissic granite                     |
|   | #7                       | 224317.392<br>287613.707 |    | 42                             | 491                         | very low<br>strength rock        | gneissic granite                     |
|   | #8                       | 224308.883<br>287603.271 |    | 44                             | 565                         | very low<br>strength rock        | syenite                              |
|   | #9                       | 224300.893<br>287589.526 |    | 47                             | 699                         | very low<br>strength rock        | gneissic diorite                     |
|   | #10-1                    | 224293.878<br>287578.799 |    | 35                             | 299                         | soil                             | syenite                              |
| #10-2                                     |                          |                          | 40 | 426                            | very low<br>strength rock   | gneissic diorite                 |                                      |
| SL-1<br>(the upper part of<br>No.1 bench) | #11                      | 224365.816<br>287658.038 |    | 46                             | 651                         | very low<br>strength rock        | gneissic granite                     |
|   | #12                      | 224357.719<br>287652.716 |    | 11                             | 55                          | soil                             | gneissic granite<br>(weathered zone) |
|   | #13                      | 224352.987<br>287647.117 |    | 48                             | 750                         | low strength rock                | gneissic granite                     |
|   | #14-1                    | 224350.317<br>287643.469 |    | 25                             | 148                         | soil                             | gneissic granite<br>(fault zone)     |
|   | #14-2                    |                          |    | 42                             | 491                         | very low<br>strength rock        | gneissic granite                     |
|   | #15                      | 224343.943<br>287631.946 |    | 45                             | 607                         | very low<br>strength rock        | gneissic granite                     |
|   | #16                      | 224336.959<br>287622.665 |    | 60                             | 1752                        | very high<br>strength rock       | gneissic granite                     |
|   | #17-1                    | 224325.439<br>287605.875 |    | 18                             | 90                          | soil                             | gneissic granite<br>(shear zone)     |
|   | #17-2                    |                          |    | 51                             | 927                         | low strength rock                | gneissic granite                     |
|   | #17-3                    |                          |    | 21                             | 111                         | soil                             | gneissic granite<br>(shear zone))    |
| #18-1                                     | 224316.856<br>287592.147 |                          | 22 | 119                            | soil                        | syenite                          |                                      |
| #18-2                                     |                          |                          | 51 | 1039                           | medium<br>strength rock     | syenite                          |                                      |
| #19-1                                     | 224340.309<br>287614.84  |                          | 15 | 73                             | soil                        | gneissic granite<br>(shear zone) |                                      |
| #19-2                                     |                          |                          | 48 | 750                            | low strength rock           | gneissic granite                 |                                      |

Table 1. (continued)

| I.D.<br>of cut slope                       | Station<br>NO. | Coordinate (TM) |            | Schmidt<br>Hammer<br>Value (R) | qu<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Rock classification        | Remark                                |
|--|----------------|-----------------|------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
|  |                | x               | y          |                                |                             |                            |                                       |
| SL-1<br>(the upper part<br>of No. 1 bench) | #20-1          | 224332.149      | 287605.88  | 52                             | 995                         | low strength rock          | syenite                               |
|  | #20-2          |                 |            | 23                             | 128                         | soil                       | syenite<br>(shear zone)               |
|  | #21            | 224322.254      | 287589.029 | 50                             | 968                         | low strength rock          | syenite                               |
|  | #22-1          | 224316.325      | 287573.22  | 20                             | 104                         | soil                       | gneissic granite<br>(shear zone)      |
|  | #22-2          |                 |            | 43                             | 603                         | very low<br>strength rock  | gneissic granite                      |
|  | #23            | 224314.31       | 287558.46  | 43                             | 603                         | very low<br>strength rock  | gneissic granite                      |
| SL-1<br>(the upper part of<br>No. 2 bench) | #24-1          | 224340.182      | 287605.085 | 52                             | 1107                        | medium<br>strength rock    | gneissic granite                      |
|  | #24-2          |                 |            | 55                             | 1231                        | medium<br>strength rock    | gneissic granite                      |
|  | #24-3          |                 |            | 31                             | 226                         | soil                       | gneissic granite<br>(weathered zone)  |
|  | #24-4          |                 |            | 43                             | 527                         | very low<br>strength rock  | gneissic granite                      |
|  | #24-5          |                 |            | 20                             | 104                         | soil                       | gneissic granite<br>(weathered zone)  |
|  | #24-6          |                 |            | 19                             | 115                         | soil                       | gneissic granite<br>(weathered zone)  |
| SL-1<br>(the upper part of<br>No. 3 bench) | #25-1          | 224336.098      | 287585.81  | 57                             | 1417                        | very high<br>strength rock | gneissic granite                      |
|  | #25-2          |                 |            | 53                             | 1188                        | medium<br>strength rock    | gneissic granite                      |
|  | #25-3          |                 |            | 15                             | 87                          | soil                       | gneissic granite<br>(weathered zone)  |
| SL-1<br>(the upper part of<br>No. 4 bench) | #25-4          |                 |            | 37                             | 400                         | very low<br>strength rock  | gneissic granite<br>(decomposed rock) |
|  | #25-5          |                 |            | < 10                           | < 51                        | soil                       | gneissic granite<br>(weathered zone)  |
| SL-2<br>(the upper part of<br>No. 1 bench) | #26-1          | 224287.008      | 287519.907 | 12                             | 59                          | soil                       | gneissic granite<br>(weathered zone)  |
|  | #26-2          |                 |            | 52                             | 995                         | low strength rock          | gneissic granite<br>(decomposed rock) |
|  | #27            | 224286.859      | 287540.268 | 52                             | 995                         | low strength rock          | gneissic granite                      |
|  | #28            | 224281.002      | 287530.509 | 30                             | 210                         | soil                       | gneissic diorite<br>(shear zone)      |
|  | #29            | 224275.936      | 287519.423 | 50                             | 864                         | low strength rock          | gneissic granite                      |
|  | #30            | 224270.969      | 287509.697 | 25                             | 148                         | soil                       | gneissic granite<br>(tension crack)   |
| #31-1                                      | #31-1          | 224258.529      | 287484.56  | 15                             | 73                          | soil                       | gneissic granite<br>(wthered zone)    |
|  | #31-2          |                 |            | 53                             | 1068                        | medium<br>strength rock    | gneissic granite<br>(decomposed rock) |

Table 1. (continued)

| I.D.<br>of cut slope                       | Station<br>NO. | Coordinate (TM)          |   | Schmidt<br>Hammer<br>Value (R) | $q_u$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Rock classification        | Remark                                  |
|--|----------------|--------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|---|
|  |                | x                        | y |                                |                                |                            |   |
| SL-2<br>(the upper part of<br>No. 1 bench) | #32-1          | 224254.776<br>287475.298 |   | 21                             | 133                            | soil                       | gneissic granite                        |
|  | #32-2          |                          |   | 38                             | 429                            | very low<br>strength rock  | gneissic diorite                        |
|  | #32-3          |                          |   | 30                             | 247                            | soil                       | syenite                                 |
|  | #33            | 224236.38<br>287467.638  |   | 21                             | 133                            | soil                       | syenite<br>(weathered zone)             |
|  | #34-1          | 224262.315<br>287522.944 |   | 35                             | 350                            | very low<br>strength rock  | gneissic granite                        |
|  | #34-2          |                          |   | 35                             | 350                            | very low<br>strength rock  | gneissic granite                        |
|  | #35-1          | 224255.447<br>287504.131 |   | 21                             | 133                            | soil                       | syenite<br>(boundary of fault)          |
| SL-2<br>(the bottom of<br>cut slope)       | #35-2          |                          |   | 14                             | 68                             | soil                       | syenite<br>(shear zone)                 |
|  | #35-3          |                          |   | 21                             | 111                            | soil                       | gneissic diorite<br>(boundary of fault) |
|  | #36-1          | 224251.134<br>287496.863 |   | 58                             | 1521                           | high strength rock         | syenite<br>(boundary of fault)          |
|  | #36-2          |                          |   | 22                             | 119                            | soil                       | gneissic diorite<br>(boundary of fault) |
|  | #37            | 224248.522<br>287487.16  |   | 31                             | 226                            | soil                       | syenite                                 |
| SL-4 (the bottom<br>of cut slope)          | #38            | 224236.218<br>287487.433 |   | 45                             | 607                            | very low<br>strength rock  | syenite                                 |
|  | #39-1          | 224234.723<br>287504.754 |   | 59                             | 1633                           | very high<br>strength rock | syenite                                 |
|  | #39-2          |                          |   | 53                             | 1068                           | medium<br>strength rock    | syenite                                 |
| SL-3<br>(the bottom of<br>cut slope)       | #40            | 224247.177<br>287525.709 |   | 41                             | 457                            | very low<br>strength rock  | syenite                                 |
|  | #41-1          | 224251.119<br>287535.234 |   | 58                             | 1521                           | high strength rock         | syenite                                 |
|  | #41-2          | 224253.294<br>287538.832 |   | < 10                           | < 51                           | soil                       | gneissic diorite<br>(fault zone)        |
|  | #42            | 224255.173<br>287541.646 |   | 18                             | 90                             | soil                       | gneissic diorite                        |

### 현장암반강도시험 결과 분석

슈미트해머를 이용한 현장암반강도시험을 실시하여 실내에서 일축강도로 환산하였으며 건설공사표준품셈의 암분류기준에 따라 표기하였다(건설진흥회, 1998; Fig. 6 참조).

본 지역은 복잡한 지구구조작용으로 인하여 퇴적암과는 달리 암석의 횡적인 변화가 비교적 큰 편이며, 단층작용과 풍화작용은 이러한 횡적 변화를 더욱 크게

기여하고 있는 것으로 조사되었다.

일반적으로 편마상 화강암은 풍화에 강하며, 강도가 큰 것이 대부분이나 현장에서 실시된 강도시험결과 편마상 화강암은 극경암~풍화토의 강도분포를 보였다(Fig. 7). 이러한 강도변화를 자세히 살펴보면 풍화작용이 적은 신선한 부분에서는 비교적 강한 암석강도분포를 보이지만 핵석풍화대, 단층파쇄대, 타 암종과의 경계부에서는 풍화토 정도의 강도를 보이고 있어 같은 편마상 화강암내에서도 강도의 변화가 큰 것으로 조사되었다.

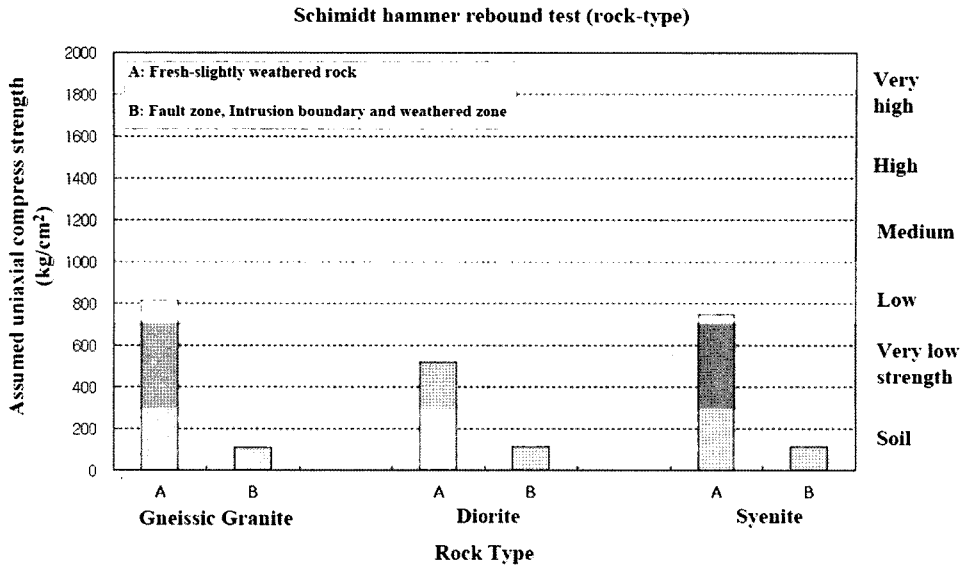


Fig. 7. The result of Schmidt Hammer test for rock types.

특히 원지반의 지표와 가까운 풍화대에서는 핵석풍화 양상이 두드러져, 핵석과 핵석주변부의 강도차가 아주 큰 것으로 조사되었다. 그러므로 이 구간의 대표적 강도물성치는 핵석을 제외시킨 핵석주변부 풍화토의 강도를 고려대상으로 삼아야 할 것이다.

섬장암은 일반적으로 주 조성광물인 장석류가 풍화에 매우 약하기 때문에 지표로 노출된 섬장암의 경우 풍화가 되지 않은 신선한 면을 보기가 아주 어렵다. 현장 조사에서도 대부분 연암정도의 강도 분포를 보였으며, 특히 단층면 부근과 풍화대, 타 암석과의 접촉경계부에서는 풍화토 정도의 강도분포를 보이고 있다(Fig. 7). 그러나 편마상 섬록암을 관입한 일부 섬장암의 접촉경계부(타격지점 #41-1)에서는 경암 이상의 강도를 보이는데, 이는 관입시의 고온, 고압환경에서 변질작용을 받은 영향으로 사료된다(Fig. 6).

편마상 섬록암은 본 지역에서 관입의 선후 관계가 모호하고 부분부분 관입한 형태로 관찰된다. 크게 마그마의 관입시 들어온 맥상의 형태와 단층작용과 수반된 지구조작용으로 관입된 형태가 관찰되었다. 그러므로 편마상 화강암과 섬장암에 비해서 비교적 약하여 풍화암에서 풍화토의 강도를 보이고 있다(Fig. 7).

결론적으로, 본 지역의 주 구성 암석인 섬장암질암과 편마상 화강암에 대한 현장강도 시험결과를 일축압축강도로 환산하였을 때, 신선한 암석의 경우 각각 평균치 1,096 kg/cm<sup>2</sup>, 963 kg/cm<sup>2</sup>으로 계산되어 보통암 정도의 강도를 보여준다.

### SL-2 암반사면 안정 해석

SL-2 암반사면은 전반적으로 편마상 화강암이 널리 분포하고 우측상부에서 풍화대가 깊게 발달되어 있으며, 사면좌측 갱구부 사면과의 경계부는 섬장암과 단층으로 접하고 있다. 이 단층의 접촉부에는 녹회색 점토가 10~20 cm로 매우 두텁게 충전되어 있으며, 이 주 단층면을 따라서 많은 양의 용출수가 발생되고 있다(Fig. 8). 사면 상부에는 핵석풍화대가 발달하고 있으며, 중앙부 1단 소단 위에는 50 cm<sup>3</sup>~2 m<sup>3</sup>의 비교적 큰 암괴를 형성하고 있으나, 우측부에서 풍화대가 사면 내부로 깊게 침투하고 있다. 핵석은 일반적으로 점이적으로 심부를 향하여 단계적으로 풍화되어 풍화토 및 풍화암으로 변질되는 것과는 달리 수직 및 수평절리를 통하여 물이 침투하여 이 부분부터 풍화되어 중간에 신선한 암석이 존재하고 주변부는 풍화암 내지 풍화토로 변환 특이한 형태를 말한다(이수근, 1993).

이미 파괴가 발생된 인장균열은 크게 두 개조의 방향으로 발달하는데 단층으로 이루어진 N28°E, 83°NW 인장균열군 Cr-1과 이와 사교하는 절리와 단층들로 이루어진 N84°W, 74°NE 인장균열군 Cr-2이다. Cr-1 인장균열의 불연속면은 방해석이 두텁게 피복되어 있으며, 풍화되어 있다. SL-2 사면에서 서로 사교하면서 발달하는 두 단층대와 주 절리군 2개조가 동일한 방향성을 가진다. 그러므로 SL-2 사면의 단층들은 절리들이 발달하여 형성된 것으로 생각된다. 현장조사 당시에서도



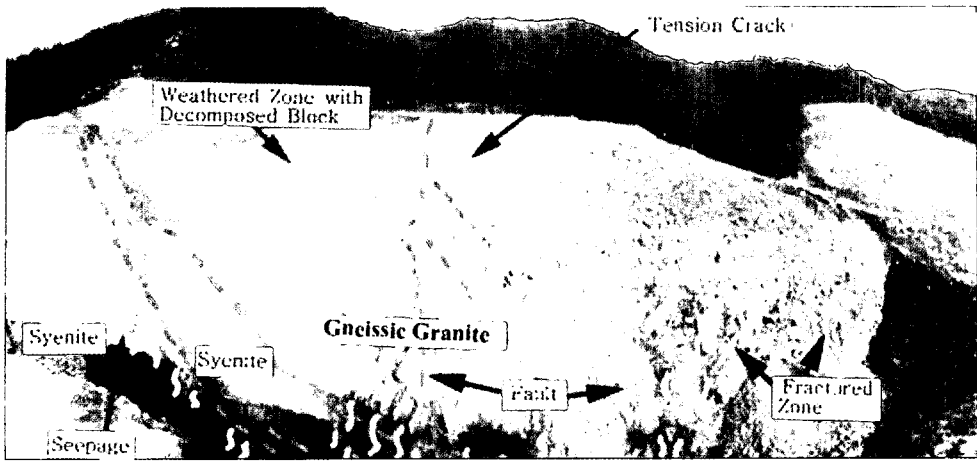


Fig. 8. Photo showing the SL-2 slope (blue dash line, fault; green dash line, fractured zone; pink solid line, tension crack; pink curved line, seepage). Cut slope direction from left to right of photo; N60°E.

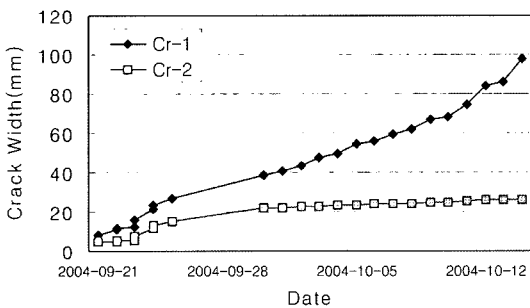


Fig. 9. Temporal variation of the tension crack width.

인장균열에서 낙석이 발생할 정도로 계속 파괴가 진행 중에 있었으며, 시간에 따른 인장균열의 발달경과를 관찰한 바에 의하면 N28°E, 83°NW 인장균열군(Cr-1)은 계속적으로 균열폭이 확장되고 있는 반면 N84°W, 74°NE 인장균열군(Cr-2)은 수렴하는 것으로 나타나 균열 폭의 확장이 더 이상 진행되지 않는 것으로 사료된다(Fig. 9). Cr-1의 인장균열의 끝단은 2단 소단 위 사면의 중심부까지 연장되어 가고 있는 반면 Cr-2는 Cr-1에 구속되어 Cr-1 인장균열면에서 끊어지고 있고 Cr-1의 균열폭이 Cr-2보다 매우 넓다. 그러므로 실제 파괴면은 Cr-1일 것으로 판단되고 Cr-2는 사면체의 거동에 따른 응력을 견디지 못하여 생긴 2차적인 인장균열로 사료된다. 따라서, 파괴가 진행중인 SL-2 사면에서의 파괴 메카니즘은 전도파괴의 가능성이 높은 Cr-1과 Cr-2의 불연속면들이 사면하부 절개로 인한 지지력 감소로 인해 사면체의 자중이 전도파괴의 운동방향(현장

에서 관찰시 계곡부 방향)으로 쏠려 파괴가 발생되고 있는 것으로 사료된다. 실제 현장에서의 제 1소단부 파괴는 외형상 썩기파괴처럼 관찰되는데, 계곡부로 전도파괴가 발생되지만, 암체들을 밀리면서 저항력이 없는 자유면(절개사면)으로 부분파괴가 발생된 것으로 사료된다. 그러므로 썩기파괴처럼 발생된 제 1소단부의 이완된 암블록을 제거할 시에 오히려 지속적인 추가 파괴가 발생되어 파괴영역이 더욱 커질 것으로 사료되므로 Cr-1과 Cr-2의 전도파괴를 억제하는 근본적인 대책이 요구된다.

SL-2 암반사면의 평면파괴 해석 결과 비교적 밀집도가 약한 N80°W, 43°SW의 절리군이 평면파괴 가능성이 있는 것으로 분석되었다(Fig. 10). 이 절리군은 절리간격이 30 cm 가량이며, 절리면이 RMR 정성적 절리면 거칠기 분류 중 거침(rough) 정도의 거칠기를 가진다.

SL-2 암반사면의 전도파괴 해석결과 전도파괴의 가능성이 아주 높은 것으로 분석되었다. 이 불연속면들은 인장균열 Cr-1과 인장균열 Cr-2가 속한 두 불연속면에 해당하며, 단층과 단층작용으로 생긴 절리로 매우 연약한 전단강도를 가지므로 전도파괴 가능성이 큰 것으로 사료된다(Fig. 11).

SL-2 암반사면의 썩기파괴 해석결과, SL-2에서 비교적 우세하게 발달하는 N26°W, 86°SW의 절리군이 평면파괴의 가능성이 있었던 N80°W, 43°SW 절리군과의 교점, 랜덤하게 발달한 N36°E, 44°SE과의 교점, 그리고 N80°W, 43°SW와 N36°E, 44°SE와의 교점에서 썩기파괴의 가능성이 큰 것으로 판단된다(Fig. 12).

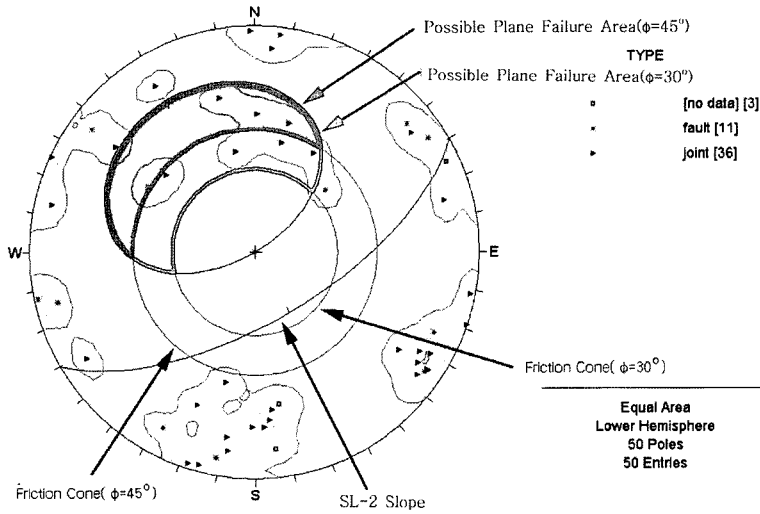


Fig. 10. Result of plane failure analysis.

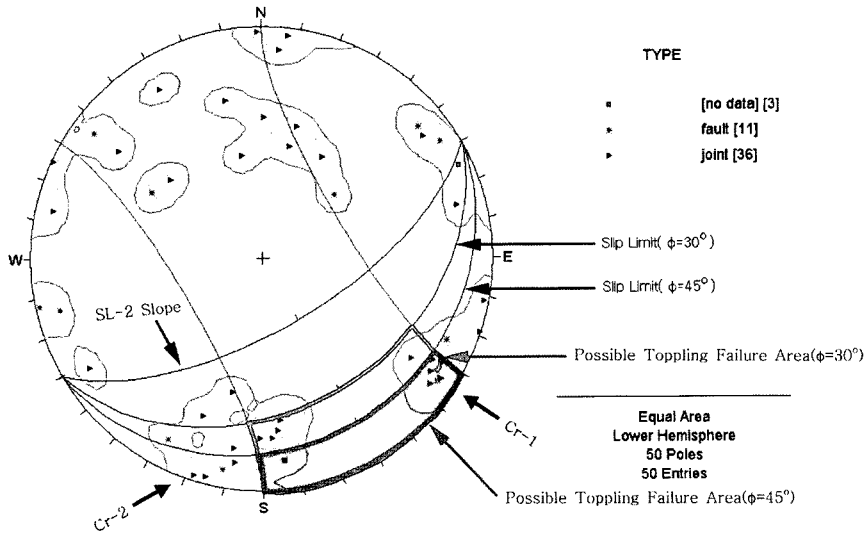


Fig. 11. Result of toppling failure analysis.

### 결론 및 제언

본 지역의 주 구성 암석인 섬강암질암과 편마상 화강암에 대한 현장강도 시험결과를 일축압축강도로 환산하였을 때, 신선한 암석의 경우 각각 평균치 1,096 kg/cm<sup>2</sup>, 963 kg/cm<sup>2</sup>으로 계산되어 보통암 정도의 강도를 보여 주나, 단층대 및 절리대를 통한 강우의 침투로 차별풍화가 진행되고 있다.

평사투영해석 결과, SL-2 사면에서는 평면, 전도 및 췌기파괴의 가능성이 있는 것으로 해석되었으며 특히

전도 및 췌기파괴의 가능성이 높은 것으로 나타났다.

파괴가 진행중인 SL-2 사면에서의 파괴 메카니즘은 전도파괴의 가능성이 높은 Cr-1과 Cr-2의 불연속면들이 사면하부 절개로 인한 지지력 감소로 인해 사면체의 자중이 전도파괴의 운동방향(현장에서 관찰시 계곡부 방향)으로 쏠려 파괴가 발생되고 있는 것으로 사료된다. 인장균열은 크게 두 개조로 방향으로 발달하는데 단층으로 이루어진 N28°E, 83°NW 인장균열군 Cr-1 이와 사교하는 절리와 단층들로 이루어진 N84°W, 74°NE 인장균열군 Cr-2이다. 인장균열의 발달경과를

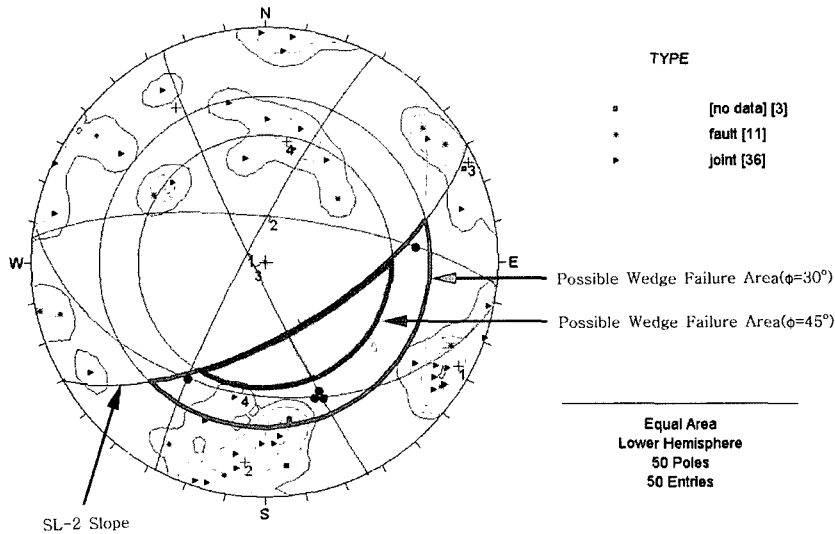


Fig. 12. Result of wedge failure analysis.

관찰한 바에 의하면 N28°E, 83°NW 인장균열군은 계속적으로 균열폭이 확장되고 있는 반면 N84°W, 74°NE 인장균열군은 수렴하는 것으로 나타나 균열 폭의 확장이 더 이상 진행되지 않는 것으로 사료된다. 실제 현장에서의 제 1소단부 파괴는 외형상 썩기파괴처럼 관찰되는데, 계곡부로 전도파괴가 발생되지만, 암체들을 밀리면서 저항력이 없는 자유면(절개사면)으로 부분파괴가 발생된 것으로 사료된다. 그러므로 썩기파괴처럼 발생된 제 1 소단부의 이완된 암블록을 제거할 시에 오히려 지속적인 추가 파괴가 발생되어 파괴영역이 더욱 커질 것으로 사료되므로 Cr-1과 Cr-2의 전도파괴를 억제하는 근본적인 대책이 요구된다.

SL-2 암반사면은 전반적으로 편마상 화강암이 널리 분포하고 우측상부에서 풍화대가 깊게 발달되어 있으며, 사면좌측 갱구부 사면과의 경계부는 섭장암과 단층으로 접하고 있다. 이 단층의 접촉부에는 녹회색 점토가 10~20 cm로 매우 두텁게 충전되어 있으며, 이 주 단층면을 따라서 많은 양의 용출수가 발생되고 있다. 중앙부 1단 소단 위에는 50 cm<sup>3</sup>~2 m<sup>3</sup>의 비교적 큰 암괴를 형성하고 있으나, 우측부에서 풍화대가 사면 내부로 깊게 침투하고 있어 이 부분에서도 용출수가 나오므로 향후 이 부분들에 대한 차수공법을 시공해야 할 것이다.

사면 상부에는 핵석풍화대가 발달하고 있는데, 절개사면이 완성된 후 세월이 지나면 주위의 마사토가

빗물에 씻겨 침식당할 경우 내부의 신선한 암괴가 하부로 굴러 떨어져 사고를 일으킬 위험성이 많으므로 이에 대한 보강대책이 요구된다.

참고문헌

건설교통부, 1999, 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용 II, p. 260.  
 건설진흥회, 1998, 건설공사표준품셈 암분류기준, p. 92-93.  
 김옥준 홍만섭, 박희인, 박양대, 김기태, 윤선, 1964, 한국 지질도 1:50,000 산청도폭 설명서. 국립지질조사소, p. 25.  
 이수곤, 1993, 서울일원의 화강암과 편마암 절취사면의 안정성연구, 제2집, 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표집, p. 167-189.  
 장기홍, 1968, 한국지질도 1:50,000 합천도폭 설명서. 국립지질조사소, p. 21.  
 황인전과 박정서, 1968, 한국지질도 1:50,000 안의도폭 설명서, 국립지질조사소, p. 25.  
 Kim, C.B. and Turek, A., 1996, Advances in U-Pb zircon geochronology of Mesozoic plutonism in the southwestern part of Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 30, p. 323-338.  
 Sanyo Testing Machins Co., Ltd., 2001, Instruction Manual on Rock Hammer, p. 18.

(2005년 8월 3일 접수; 2005년 9월 10일 채택)