

## 대구지역지층의 지질특성과 대표암반에 대한 발파진동계수산출

안명석<sup>1)</sup> · 김종대<sup>2)</sup> · 김남수<sup>3)</sup>

### Blasting vibration coefficients and mechanical characteristics of Taegu area

Myung-Seog Ahn<sup>1)</sup>, Jong-Dae Kim<sup>2)</sup> and Nam-Soo Kim<sup>3)</sup>

**ABSTRACT** In this study, some laboratory tests and in-situ test were performed for Taegu area. Test blasting was conducted to determine blasting vibration coefficients. The uniaxial strength of rocks vary widely from weathered rock to extremely hard rock. Blasting vibration coefficients, K and n were 114.8, 1.48 for Sungseu site, where rocks show weathered to medium strength.

**Key words** : Taegu, geology, blasting vibration coefficients

**초 록** 본 연구는 대구지역의 대표적인 암석들을 대상으로 일축압축시험 등의 실내 시험과 현장 탄성파속도 시험 등을 실시하여 역학적 특성을 규명하였고, 달서구 성서지역에서 시험발파를 실시하여 발파진동계수를 도출하였다. 그 결과 대구지역의 경상계 퇴적암류는 풍화암에서 경암까지의 다양한 강도 특성을 보였고, 화산암류인 안산암은 경암에서 극경암에 해당되는 것으로 나타났다. 또한 풍화암 내지 보통암에 해당되는 성서지역의 시험발파 결과 발파진동계수 K는 114.8, n은 1.48로 계산되었다.

**핵심어** : 대구지역 암석물성, 발파진동계수

## 1. 서 론

대구지역의 지층은 중생대의 견고한 암반이 지표 가까이 노출되어 있는 경우가 많고 지형적으로는 산악과 구릉지대가 발달하고 있어 암 절취는 대체로 리핑 또는 발파를 이용하여 공사가 이루어지고 있는 실정이다. 발파진동의 추정에 있어서 발파진동상수 및 감쇠지수는 폭약의 종류에 따른 특성, 폭약의 사용량, 전색의 상태와 장약밀도, 자유면의 수, 발파원과 진동측정점까지의 거리, 지층 조건 등에 따라 크게 차이가 나타나고 있다. 특히 발파진동에 영향을 미치는 주요 요소는 화약류의 종류와 장약량, 진동의 전파매질인 지반의 상태, 암석의 강도 및 측정지점간의 거리이다. 이 같은 요소들은 발파진동의 예측을 위하여 먼저 조사되어야 하고, 그 중에서 암반 중의 불연속면의 발달 상황, 암반의 강도 등과 같은 탄성과 전파와 관계가 깊은 지반특성은 진동의 전파 특성에 영향을 미치는 아주 중요한 요인이 된다.

본 연구에서는 대구지역 인근의 지질특성 조사와 암석물성시험, 현장 탄성파 속도를 측정하여 암분류를 하였으

며, 대표지역에서 시험발파를 실시하여 발파진동계수를 구하였다. 본 연구의 진행 과정은 Fig. 1과 같고, 연구 대상 지역의 지질도는 Fig. 2와 같다.<sup>1)</sup>

## 2. 대구인근의 암반특성조사

### 2.1 암석특성조사

문헌조사를 하여 대구지역에 분포하는 지질 개요를 파악하였으며 Fig. 2와 같이 중요 암종에 해당하는 저색실트스톤 지역 1개소, 회색세일 지역 2개소, 슬레이트 지역 1개소, 안산반암 지역 2개소 등 총 6개소에서 암석 샘플을 채취하였다. 그 중 대표적인 것으로 판단되는 4종류의 암석에 대하여 RIX 2000 XRF 분석기로 성분분석을 하였고, 분석한 주성분 원소들은 CIPW 기준법으로

1)정회원, 동서대학교 응용공학부 겸임교수

2)정회원, 동아대학교 지구환경공학부 교수

3)정회원, 전남대학교 공업기술연구소 특별연구원

원고접수일 : 1999년 12월 22일

원고 심사 완료일 : 2000년 5월 19일

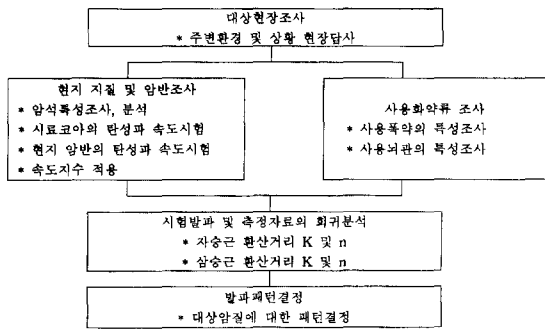


Fig. 1. The flow chart of the study process

구성광물을 산출하여 암석분류에 활용하였다. 암석의 박편은 편광현미경으로 암석의 조직 및 광물조성을 관찰하였으며, 결과는 Table 1,2 및 Fig. 3과 같다.

2.2 암석강도시험

일축압축강도의 측정에는 Universal Testing Machine을 사용하였고, 압중별 탄성과 속도 및 내압강도는 건설표준품셈을 적용하였으며, 시험결과는 Table 3과 같다.

2.3 현장 탄성과파속도시험

대구지역의 대표 암반으로 판단되는 저색실트스톤과 회색 셰일의 호층을 이루고 있는 달서구 성서 지역을 대상으로 현장 탄성과 속도를 측정하였다. 탄성과파속도 측정

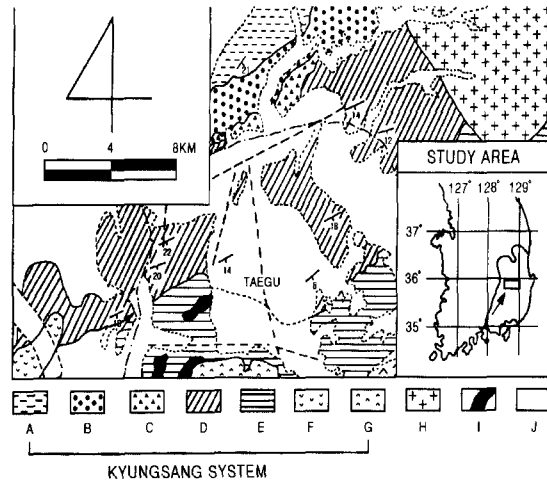


Fig. 2. Geological map of Taegu-Konch area (A:Chilgok Fm, B:Silla Fm, C:Hakpong Fm, D:Haman Fm, E:Panyawol Fm, F:Andesitic porphyry, G:Andesitic breccia, H:Granitics rock, I:Felsic dyke, J:Alluvium)

은 Handy Viewer(OYO)를 사용하여 타격점과 1.0m 간격으로 센서를 설치하여 측정하였고, 그 결과는 Table 4와 같고, Fig. 4는 측정지역의 Contour map이다.

탄성과파속도 측정결과 전체 지역에 대한 평균 탄성과파속도는 1,188 m/sec 이며 주축선에 대한 평균 탄성과파속도는 1,088 m/sec 이었다. 이 때 탄성과파속도의 범위는

Table 1. Results of chemical analysis for major rocks in Taegu area

|                     | No | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | MgO  | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | L01   | Total  |
|---------------------|----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------|--------|
| red siltstone       | 1  | 56.30            | 15.63                          | 5.67                           | 0.06 | 2.97 | 7.28  | 2.30              | 3.55             | 0.60             | 0.17                          | 8.70  | 103.23 |
| gray shale          | 2  | 51.90            | 15.86                          | 6.07                           | 0.13 | 4.10 | 11.60 | 2.34              | 2.71             | 0.51             | 0.22                          | 12.00 | 107.44 |
| gray shale          | 3  | 52.77            | 15.44                          | 5.44                           | 0.11 | 5.10 | 11.72 | 1.61              | 2.92             | 0.47             | 0.21                          | 13.37 | 109.16 |
| dark gray siltstone | 4  | 58.32            | 15.97                          | 6.63                           | 0.06 | 3.71 | 6.47  | 1.85              | 3.31             | 0.59             | 0.19                          | 9.480 | 106.58 |
| andesite porphyry   | 5  | 53.47            | 14.39                          | 8.46                           | 0.15 | 2.18 | 4.42  | 5.73              | 1.84             | 1.17             | 0.47                          | 5.790 | 98.07  |
| andesite porphyry   | 6  | 58.15            | 13.82                          | 5.81                           | 0.04 | 2.24 | 2.78  | 7.29              | 1.60             | 0.61             | 0.27                          | 1.20  | 93.81  |
| andesite porphyry   | 7  | 62.01            | 14.39                          | 3.62                           | 0.03 | 1.16 | 3.01  | 7.83              | 1.48             | 0.37             | 0.26                          | 0.90  | 95.06  |
| andesite porphyry   | 8  | 61.38            | 13.85                          | 3.41                           | 0.04 | 1.69 | 2.61  | 8.81              | 1.23             | 0.44             | 0.23                          | 1.30  | 94.99  |

Table 2. Results of CIPW for andesite porphyry

| No. | Q    | Or    | Ad    | An   | Ac   | Di   | Wo   | Hy   | Hm   | Il   | Tn   | Ap   | Total  |
|-----|------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------|
| 5   | 4.26 | 11.80 | 52.59 | 8.80 | 0.00 | 6.13 | 0.00 | 3.05 | 9.18 | 0.35 | 2.66 | 1.21 | 100.03 |
| 6   | 3.92 | 10.21 | 66.60 | 0.29 | 0.00 | 8.23 | 0.00 | 2.21 | 6.27 | 0.09 | 1.50 | 0.69 | 100.02 |
| 7   | 6.71 | 9.29  | 69.87 | 0.00 | 0.43 | 6.62 | 1.80 | 0.00 | 3.70 | 0.07 | 0.88 | 0.65 | 100.01 |
| 8   | 2.95 | 7.76  | 68.74 | 0.00 | 9.53 | 8.37 | 0.00 | 0.61 | 0.34 | 0.09 | 1.03 | 0.58 | 100.01 |

remarks Q: Quartz, Or: Orthoclase, Ad: Albite, Ac: Acmite, Di: Diopside, Wo: Wollastonite, Hy: Hypersthene, Hm: Hematite, Il: Ilmenite, Tn: Sphene, Ap: Apatite.

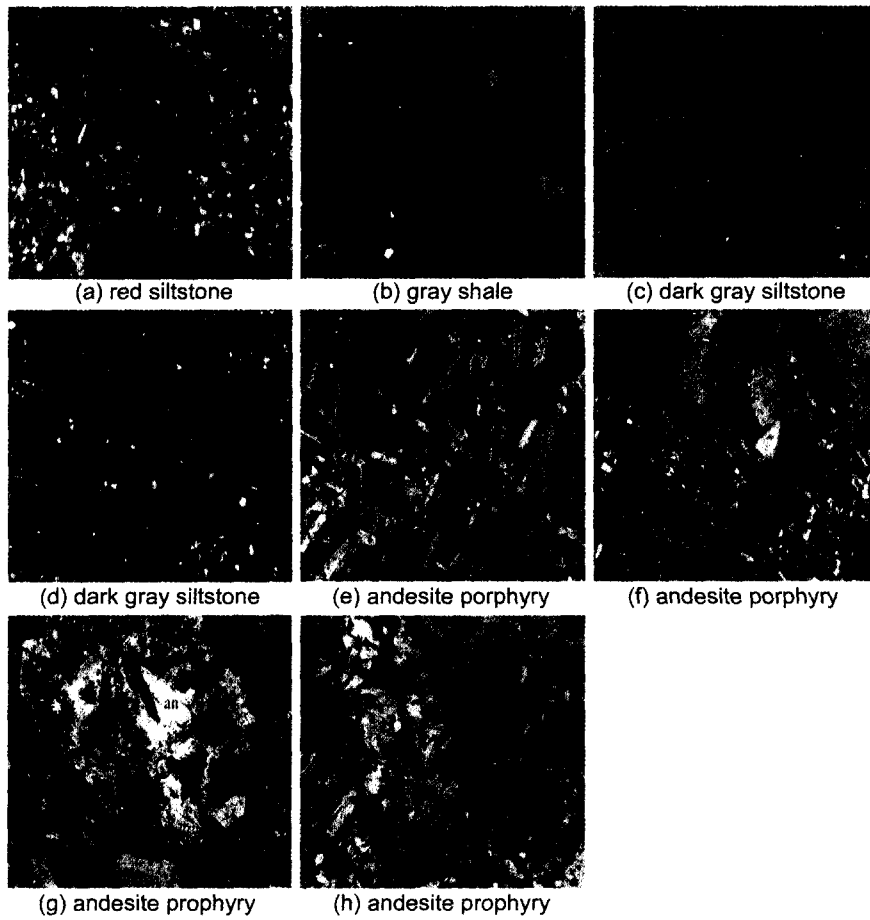


Fig. 3. Photomicrograph of the tested rocks (ca:calcite, cd:clay ball, e:epidote, q:quartz, s:sericite, o:oligoclase, p:plagioclase, r:rutile, s:sericite)

Table 3. Results of laboratory tests

|                     | UCS (kg/cm <sup>2</sup> ) | Elastic wave velocity (m/s) | Rock classification | Remark          |
|---------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|
| Red siltstone       | 730                       | 4,370                       | Soft rock           | Vertical        |
|                     | 780                       | 3,990                       | Soft rock           | Vertical        |
|                     | 780                       | 2,180                       | Soft rock           | Vertical        |
|                     | 1,056                     | 5,800                       | Medium rock         | Vertical        |
| Gray shale          | 333                       | 5,510                       | Medium rock         | Horizontal      |
| Dark gray siltstone | 667                       |                             | Medium rock         | Point load test |
|                     | 1,128                     |                             | Medium rock         |                 |
|                     | 950                       |                             | Soft rock           |                 |
| Andesite porphyry   | 1,418                     | 5,440                       | Hard rock           |                 |
|                     | 1,485                     | 5,650                       | Hard rock           |                 |
|                     | 2,417                     | 5,590                       | Very hard rock      |                 |
| Andesite porphyry   | 2,820                     | 5,630                       | Very hard rock      |                 |
|                     | 2,732                     | 5,680                       | Very hard rock      |                 |
|                     | 3,375                     | 5,570                       | Very hard rock      |                 |
| Andesite porphyry   | 2,518                     | 4,740                       | Very hard rock      |                 |
|                     | 1,946                     | 4,650                       | Very hard rock      |                 |

Table 4. Results of elastic wave velocity in field test

| No. | Distance (m) | T (ms) | Elastic wave velocity(m/s) |       |
|-----|--------------|--------|----------------------------|-------|
| 01  | geo.1geo.2   | 1      | 1.1                        | 909   |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.8                        | 1,250 |
| 02  | geo.1geo.2   | 1      | 0.7                        | 1,428 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.8                        | 1,250 |
| 03  | geo.1geo.2   | 1      | 1.0                        | 1,000 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 1.0                        | 1,000 |
| 04  | geo.1geo.2   | 1      | 1.1                        | 909   |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.9                        | 1,111 |
| 05  | geo.1geo.2   | 1      | 1.1                        | 909   |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 1.0                        | 1,000 |
| 06  | geo.1geo.2   | 1      | 1.1                        | 909   |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 1.0                        | 1,000 |
| 07  | geo.1geo.2   | 1      | 1.1                        | 909   |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.9                        | 1,111 |
| 08  | geo.1geo.2   | 1      | 1.0                        | 1,000 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.6                        | 1,660 |
| 09  | geo.1geo.2   | 1      | 0.9                        | 1,111 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.9                        | 1,111 |
| 10  | geo.1geo.2   | 1      | 0.8                        | 1,250 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.9                        | 1,111 |
| 11  | geo.1geo.2   | 1      | 0.9                        | 1,111 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.8                        | 1,250 |
| 12  | geo.1geo.2   | 1      | 0.7                        | 1,428 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.7                        | 1,428 |
| 13  | geo.1geo.2   | 1      | 1.1                        | 909   |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 1.7                        | 588   |
| 14  | geo.1geo.2   | 1      | 1.1                        | 909   |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.6                        | 1,660 |
| 15  | geo.1geo.2   | 1      | 1.0                        | 1,000 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.6                        | 1,660 |
| 16  | geo.1geo.2   | 1      | 0.7                        | 1,428 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.7                        | 1,428 |
| 17  | geo.1geo.2   | 1      | 0.8                        | 1,250 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.7                        | 1,428 |
| 18  | geo.1geo.2   | 1      | 0.8                        | 1,250 |
|     | geo.2geo.3   | 1      | 0.8                        | 1,250 |

625~1,666 m/sec 로 풍화암으로 판단되었다. 또한 탄성과속도 측정 결과를 (1)식에 대입하여 속도지수를 구하면,

$$V_I = \left( \frac{V_F}{V_L} \right)^2 \quad (1)$$

여기서  $V_I$ 는 속도지수,  $V_L$ 는 신선암의 탄성과 속도,  $V_F$ 는 현지암반의 탄성과 속도이다. 측정된 현지암반의 평균 탄성과속도는 1,188 m/sec, 신선암의 탄성과속도는 4,230 m/sec 일 때 속도지수는 0.08로 시험 대상인 대구성서 퇴적암은 매우 불량한 암질로 분류되었다.<sup>2)</sup>

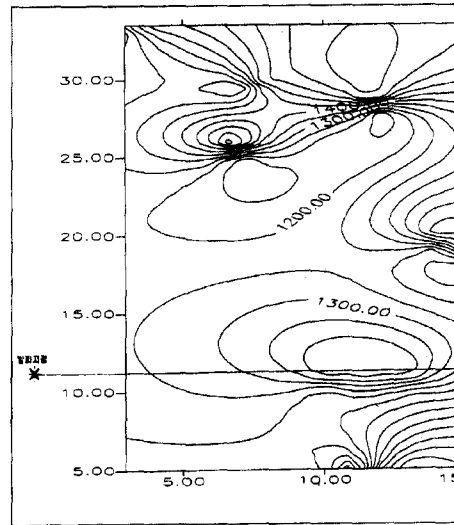


Fig. 4. The contour map of elastic wave velocity

### 3. 발파진동계수 산출

#### 3.1 시험발파 및 발파진동계수 산출

대상 지역에 대하여 시험발파를 실시하였다. 천공은 비트 직경 75 mm의 공압 크롤러 드릴을 사용하여 천공장 2.8m 4공, 5.8m 5공으로 총 45공을 천공한 후, 지발전기회관을 사용하여 6회에 걸쳐 발파 하였으며, 이때 발생하는 소음 및 진동을 현장 내 64.8m, 127m,

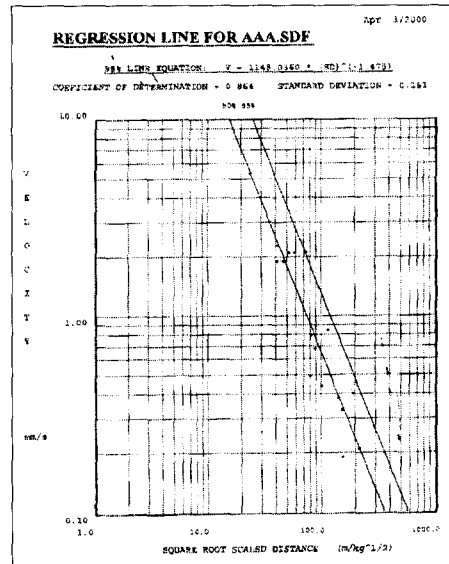


Fig. 5. Results of regression analysis

Table 5. Results of measured blasting vibration

| No | depth (m) | number of hole (N) | spacing (m) | weights per delay (kg/delay) | distance (m) | PPV (cm/s) | dominant frequency (Hz) | airblast (dB) |
|----|-----------|--------------------|-------------|------------------------------|--------------|------------|-------------------------|---------------|
| 1  | 2.8       | 5                  | 1.1         | 0.8                          | 64.8         | 0.22       | 22.330.1                | 98.5dB(L)     |
|    |           |                    |             |                              | 127          | 0.046      | 2739                    | 65.4dB(A)     |
|    |           |                    |             |                              | 64.8         | 0.22       | 34.142.7                | 101.8dB(L)    |
| 2  | 2.8       | 10                 | 1.1         | 1.6                          | 127          | 0.046      | 2839                    | 60.8dB(A)     |
|    |           |                    |             |                              | 240          | 0.017      | 3237                    | 68.2dB(A)     |
|    |           |                    |             |                              | 64.8         | 0.24       | 39.4-46.5               | 95.8dB(L)     |
| 3  | 2.8       | 5                  | 1.1         | 1.25                         | 127          | 0.084      | 24-39                   | 57.4dB(A)     |
|    |           |                    |             |                              | 240          | 0.024      | 23-43                   | 66.6dB(A)     |
|    |           |                    |             |                              | 64.8         | 0.24       | 28.4-34.1               | 102.8dB(L)    |
| 4  | 2.8       | 10                 | 1.1         | 2.5                          | 127          | 0.067      | 22-34                   | 60.2dB(A)     |
|    |           |                    |             |                              | 240          | 0.035      | 32-39                   | 64.8dB(A)     |
|    |           |                    |             |                              | 64.8         | 0.24       | 17.7-32.0               | 100dB(L)      |
| 5  | 2.8       | 10                 | 1.1         | 2.5                          | 127          | 0.086      | 24-39                   | 65dB(A)       |
|    |           |                    |             |                              | 240          | 0.019      | 30-34                   | 66dB(A)       |
|    |           |                    |             |                              | 64.8         | 0.63       | 32.0-36.6               | 111.9dB(L)    |
| 6  | 5.8       | 5                  | 1.8         | 7.5                          | 127          | 0.202      | 24-30                   | 63dB(A)       |
|    |           |                    |             |                              | 240          | 0.071      | 12-28                   | 68.6dB(A)     |
|    |           |                    |             |                              | total        | 45         | 80.75                   |               |

240m 지점에서 측정하였으며, 측정결과는 Table 5와 같다. Fig. 5는 발파진동 측정결과를 회귀분석한 그림으로 95% 신뢰 진동추정식은

$$V = 114.8 \left( \frac{D}{\sqrt{W}} \right)^{-1.48} \text{ cm/s} \quad (2)$$

이다. 문헌<sup>3)</sup>에 의하면 에멀션폭약을 사용할 때 K는 100~200, n은 -1.50~-1.65 사이로 본 연구결과 K는 114.8로 연암인 경우와 비슷하나 n은 -1.48로 다소 낮은 수치를 나타내었다. 본 현장은 64.8m 이상에서 측정된 데이터를 사용하였고 보안물건이 127m 이상 이격되어 있으므로 자승근 환산식을 적용하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

#### 4. 고 찰

이상의 연구 결과 대구지역 인근의 지질 특성은 다음과 같다.

저색 실트스톤은 대구 도심지에 대부분을 차지하고 있으며 경북 지역에도 다양하게 분포되어 있다. 주로 회색 세일과 호층을 이루어 분포하고 있으며 대부분 층서구조가 잘 발달된 수평절리를 이루고 있다. 일축압축강도는 730~1,056 kg/cm<sup>2</sup>로 건설 표준품셈 및 Deere & Miller

의 암반분류법에 의하면 연암 내지 보통암에 속한다.

회색 세일 또한 저색 실트스톤과 마찬가지로 다양하게 분포하고 부분적으로 수직절리가 발견되기도 한다. 광물 성분은 다량의 방해석을 함유하며 벽개면의 발달이 양호하다. 암석의 일축압축강도는 332 kg/cm<sup>2</sup>으로 풍화암으로 판정되었다.

암회색 슬레이트는 대구 도심지의 심부와 남쪽 지역에 대체로 많이 분포하며 특히 경산 지역에서 슬레이트질 벽개면이 발달한 양호한 모습을 나타낸다. 실트질 석영입자와 녹립석의 함량이 높으며 가장 높은 silica 함량을 보이고 있고, 일축압축강도는 667~1,128 kg/cm<sup>2</sup>으로 연암 내지 경암에 속한다.

안산반암은 대구도심지의 일부와 분지에 주로 분포하며 서북부지역에는 매우 강한 강도의 암질로 분포하고 있다. 경북고령과 성서 방향의 암석은 회록색 석기 내에 다량의 취반상 조석을 가지는 반정을 함유하며 일축압축강도 1,418~3,374 kg/cm<sup>2</sup>, 탄성파속도 5,440~5,680 m/sec로 경암 내지 극경암에 해당하였다.

대구 도심지의 암석은 회록색 현정질 석기 내에 매우 드물게 백색장석반정을 함유하며 치밀질이고 현정질의 사장석 lath로 구성되며 미량의 녹리석, 견운모를 함유하며 일축압축강도 1,946~2,517 kg/cm<sup>2</sup>, 탄성파속도 4,650~4,740 m/sec로 보통암 내지 극경암에 해당하였다.

대구 성서지역에서 실시한 탄성파속도 측정결과는 625~1,666 m/sec 으로 등고선의 차이가 매우 크다. 이러한 결과는 암반의 풍화도나 고결도, 균열대, 파쇄정도 등이 다르기 때문이라고 생각된다. 이들 풍화 및 균열과의 상관성이 확인될 때 더욱 신뢰성 높은 진동상수의 산출이 가능할 것이다. 평균 탄성파속도는 1,188 m/sec로 풍화암으로, 속도지수는 0.08로 매우 불량한 암질로 판정되었다.

발파진동계수는 자승근 환산거리를 적용할 때 K는 114.8, 감쇠지수 n은 1.48였다. 즉 노천발파에서 진동허용기준치 0.5 Kine을 안전기준으로 할 때 이격거리가 100m 이상 지역인 경우 직경 45~76 mm, 천공장 3~6m의 소발파공법을 적용하는 것이 가장 합리적인 시공이 될 것으로 판단되었다.

## 5. 결 론

대구지역 인근의 대표적인 암석을 대상으로 실내시험과 현장 탄성파속도 시험을 하고, 시험발파를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 일축압축강도, 탄성파속도 시험 결과 저색실트스톤, 회색 셰일, 슬레이트는 풍화암 내지 보통암으로 안산반암

은 경암으로 분류되었다.

2) 저색실트스톤과 회색 셰일이 분포하고 있는 달서구 성서 지역에서 현장 탄성파 시험 결과 625~1,666 m/s로 풍화암에 해당되었고, 속도지수는 0.08로 매우 불량한 암질로 분류되었다.

3) 대구 달서구 성서지역 암반의 발파진동계수 K는 114.8, n은 1.48로 산출되었다.

4) 대구지역의 퇴적암층의 경우 암층이 불안정하므로 현장탄성파속도 측정 및 Contour map 해석결과를 필히 감안하여 구조해석 지반보강 구조물설치를 하고, 이를 시험발파에 적용할 때 더욱 정밀도가 높으며 안전도가 높은 설계가 될 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 김종근, 1990, 대구-건천지역 상부 경상누층군사암의 퇴적변질, 경북대학교 교육대학원 논문
2. Bieniawski, Z.T., 1984, Rock mechanics design in mining and tunneling, A.A. Balkema, Rotterdam, 272p.
3. 기경철 등, 1999, 발파공학, 기공사, 376p.

---

**안 명 석**



1985년 서울산업대학교 공과대학 환경공학과, 공학사  
1999년 동아대학교 대학원 자원공학과, 박사과정 수료

Tel : 053-756-1688

E-mail : amspeoff@chollian.net

현 재 기술사사무소 지앤비 대표기술사,  
동서대학교 응용공학부, 겸임교수

---

---

**김 종 대**



1967년 한양대학교 공과대학, 자원공학과, 공학사  
1976년 International Institute for Areal Survey and Earth Sciences, The Netherlands. MS in Geochemical Exploration  
1979년 South Dakota School of Mines and Technology. U.S.A. Ph.D. in Geology.

Tel : 051-200-7765

E-mail : jongdkim@mail.donga.ac.kr

현 재 동아대학교 자원공학과 교수

---

---

**김 남 수**



1994년 전남대학교 공과대학 자원공학과, 공학사  
1996년 전남대학교 공과대학 자원공학과, 공학석사  
1999년 전남대학교 공과대학 자원공학과, 공학박사

Tel : 062-530-0824

E-mail : nskim@chonnam.ac.kr

현 재 전남대학교 공업기술연구소 특별연구원

---