

쇄석 골재용 석회암의 암석학적 및 역학적 특성

Lithological and Mechanical Characteristics of Crushed Limestone Aggregates



진호일*

Chin, Ho-Il



민경원**

Min, Kyong-Won



백환조**

Baek, Hwan-joo



연규석***

Yeon, Kyu-Seok

요 약

최근 건설용 골재의 소비량이 증가하여 쇄석골재의 수요량이 급격히 늘어남에 따라, 광산 현장에 적치되어 있는 폐석을 효율적으로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 연구의 목적은 강원도 삼화 지역에 분포하는 쇄석 골재용 석회암을 대상으로 암석 기재학적 및 화학적, 역학적 특성을 구명하여 건설용 골재로서의 적합성을 알아보고, 또한 부가가치가 높은 건설자재와 첨단산업소재 제품 개발의 원료로 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하는데 있다. 삼화지역에 분포하는 쇄석골재용 석회암은 크게 담회색의 세립질 석회암과 담갈색의 조립질 석회암으로 구분할 수 있었으며, 이중 양적으로 우세한 세립질 석회암은 돌로마이트가 함유되어 있어 MgO와 SiO₂의 함량이 높게 나타났고, 물성 및 역학적 특성을 고려할 때 보통암에 해당된다. 따라서 연구 지역의 쇄석골재용 석회암은 구성광물과 입자들의 크기 및 화학성분 등을 고려할 때, 대체로 시멘트 콘크리트용보다는 아스팔트 콘크리트용이나 도로 포장용 또는 철도용으로 이용하는 것이 더 좋을 것으로 판단된다.

* 강원대학교 자원공학과 박사학위후 연구원

** 강원대학교 자원공학과 교수

*** 성회원, 강원대학교 농공학과 교수

• 본 논문에 대한 토의를 1997년 8월 30일까지 학회로 보내주
시면 1997년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

Abstract

Recently, due to highly increased consumption of aggregates for construction, studies have focused on the effective utilization of rock wastes abandoned so far. This study was designed, firstly, to determine the petrological, geochemical and mechanical characteristics of crushed limestone aggregates in the Samhwa district for suitable construction aggregates and, secondly, to offer basic data for effective utilization of low grade limestones.

Results of the petrographic study indicates that the crushed limestone aggregates in the Samhwa district can be separated into two groups, namely fine-grained and coarse-grained limestones. Dominantly distributed fine-grained limestone containing some dolomite has higher MgO and SiO₂ contents compared to the coarse-grained limestone. It can be classified as medium strength rock by the physical and mechanical properties. Based on the size of mineral grains and chemical compositions, it is suggested that the crushed limestone aggregates in this study area would better be used for asphalt concrete, road pavement, or railroad ballast materials than for cement concrete.

Keywords : Aggregates, Crushed limestone, Dolomite, Physical and mechanical properties.

1. 서론

석회암은 국내의 부존 자원 중 그 매장량에 있어서 가장 풍부한 지하자원의 하나로 평가되어 왔으며, 그동안 산업의 발달과 함께 중화학 공업 분야 및 화학 공업, 요업, 농업, 식품 및 토목·건축 등 다양한 분야에 이용되어 국내의 공업 발전에 기여한 바가 크다고 할 수 있다. 그러나 최근 고품질의 석회암은 제철용 및 요업용 등에 많은 수요가 있으나, 고품질이 아닌 석회암은 기존 용도의 광석으로서 그 이용 가치가 점차 낮아지는 추세에 있으므로 저품질의 석회암은 대부분 현장에 그대로 방치되어, 미관상뿐만 아니라 환경적인 측면에서도 적지 않은 문제를 야기시키고 있다. 따라서 최근에는 광산 현장에 적치되어 있는 폐석을 자원화하고 이를 각종 소재의 개발에 이용하는 등, 광산 폐석을 효율적으로 활용하기 위한 연구가 다방면에 걸쳐서 활발하게 진행되고 있다(김동기, 1994 ; 김기창·서신호, 1996).

특히 국내의 경우 건설경기의 급속한 성장으로 건설용 골재의 소비량이 크게 증가함에 따라 콘크리트

및 아스팔트용 골재로서 주종을 이루어 왔던 천연골재(주로 하천골재)가 점차 고갈되어, 석산을 개발하거나 또는 광산 폐석을 크기에 따라 파쇄하여 얻을 수 있는 쇄석골재가 대체 골재로서 크게 각광을 받고 있는 실정이다. 그러나 쇄석골재는 천연골재와는 달리 그 구성 광물상들이 지표 환경에 노출된지 얼마 되지 않아 물리·화학적 풍화작용에 의한 불안정한 상태로 존재하는 경우가 많기 때문에 이를 건설용 골재로 무분별하게 사용한다면 구조물의 안전과 보존에 있어서 많은 문제점을 야기시킬 수 있다. 그러므로 최근에는 알칼리-골재 반응과 알칼리-탄산염 반응과 같은 골재 원암(source rocks)의 광물학적 특성도 점차 중요하게 다루어지고 있다(양동운·이동영, 1995 ; 하성호 등, 1990 ; Hansen, 1968).

이 연구의 목적은 강원도 삼화지역에 분포하는 쇄석 골재용 석회암을 대상으로 암석 기재학적 및 화학적, 역학적 특성을 구명하여 건설용 골재로서의 적합성을 알아보고, 또한 부가가치가 높은 건설자재 및 첨단산업소재 제품 개발의 원료로 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하는데 있다.

2. 지질개요

연구대상 지역은 강원도 동해시 남서쪽의 삼화동 일대에 위치하고 태백산맥의 중추부를 점유하는 두타산(1,352m) 동쪽 연변부에 해당되는 지역으로서 해발고도 200~400m의 험준한 산세를 이루고 있다. 이 지역의 지질은 선캠브리아기 퇴적암류인 편암류를 기저로 하여 그 상부를 고생대 조선누층군인 하부삼척층군과 상부삼척층군 및 상동층군이 덮고 있으며, 중생대 삼화화강암류가 관입·분포하고 있다(Fig. 1).

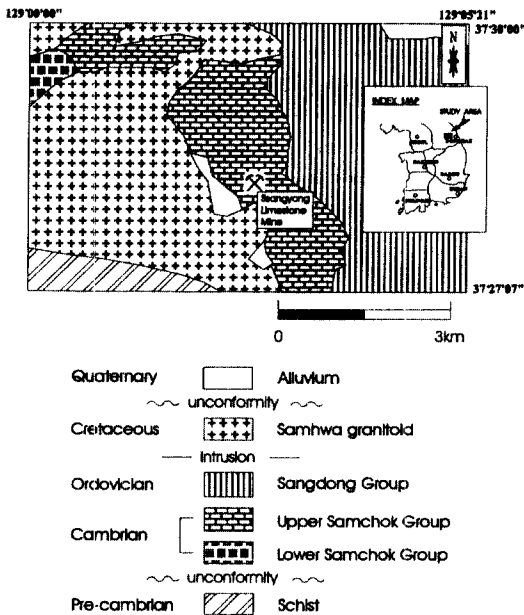


Fig. 1 Geologic map and mine location in the Samhwa district(modified from Kangwon Education Office,1993).

선캠브리아기의 편암류는 고생대 퇴적암류에 의해 부정합으로 피복 되어 있고, 여러 가지 광물조성을 갖는 편암과 천매암류로 구성되어 있으며, 서로 접이적으로 변화한다(강원도교육청, 1993).

편암류는 편리가 잘 발달되어 있고 가원퇴적암의 종류와 변성작용의 정도에 따라 구성광물이 약간씩 다르게 나타나고 있으며, 대체로 흑운모로 이루어진 유색광물대와 석영과 장석으로 구성된 무색광물대가 교호되면서 규선석, 근정석, 홍주석 또는 석류석 등이 반상변정으로 산출되기도 한다(강원도교육청,

1993).

한편 고생대 조선누층군의 하부인 양덕층군은 주로 규암과 셰일로 이루어져 있고, 그 상부는 대석회암층군이 분포하고 있는데, 특히 이 연구 지역에서는 풍촌층(풍촌석회암층), 화절층, 동집층, 두무골층, 막골층(막골석회암층) 등이 나타나고 있다. 풍촌층은 주로 유백색과 암회색, 담홍색의 괴상 석회암, 돌로마이트질 석회암, 역질 석회암 및 층리가 발달한 석회암 등으로 이루어져 있으며, 이중 괴상 석회암이 가장 우세하고 간혹 부분적으로 박층의 암회색 셰일이 협재되어 있다. 풍촌층은 막골층과 함께 이 지역 석회암 광상의 대상이 되는 지층으로서 층의 두께는 약 400~500m로 대개 남북 방향으로 길게 분포하며, 주향 및 경사는 NS, 40°W로 알려져 있다(안지환, 1995).

풍촌층을 정합적으로 덮고 있는 화절층은 그 두께가 약 200~260m로 알려져 있으며, 주요 구성암석은 이회암과 점판암, 셰립 사암, 셰일 및 석회암 등이다. 동집층은 화절층을 정합으로 피복하고 두무골층에 의해서는 정합적으로 덮여 있는데, 주로 암회색과 담갈색의 셰립 내지 중립 석영질 사암으로 이루어져 있으며, 그 두께는 약 50~100m로 부분적으로 석회질 미사암과 석회질 이암, 석회질 사암 및 평력석회암 등을 협재하고 있다(강원도교육청, 1993).

동집층을 정합적으로 덮고 있는 두무골층은 주로 셰일과 석회질암의 호층으로 이루어져 있는데, 셰일은 회색 내지 녹회색을 나타내고 있다. 막골층은 두무골층을 정합으로 피복하고 있고, 주로 암회색 내지 담회색의 돌로마이트질 석회암, 돌로마이트, 석회질 이암, 평력석회암 등으로 구성되어 있으며, 이중 돌로마이트질 암상이 가장 우세하게 나타나고 있다. 청옥산 일대의 태백산통과 그 동측 일대에 위치하는 조선누층군 사이에서 이들을 관입하고 있는 삼화화강암은 약 50Ma의 K-Ar 흑운모 연령을 갖는 중생대 백악기 화강암으로 보고된 바 있다(이민성 등, 1987).

또한 삼화화강암의 주요 조암광물중 K-장석은 홍색의 미사장석과 퍼어사이트(perthite)이며 흑운모와 자철석을 수반하고, 부분적으로는 미아롤리 조직을 나타내는 것으로 알려져 있다(민경원·김성범, 1992).

3. 시료채취 및 처리

이 연구를 수행하기 위하여 강원도 동해시 삼화동 삼용자원개발주식회사 동해광업소의 석회암 노천채석장에서 약 20kg씩의 괴상(massive) 석회암괴 시료 5개와 쇠석골재를 생산하고 있는 작업장에서 평균 직경 약 50mm 크기의 쇠석 석회암 골재시료를 약 25kg 채취하였다.

채취한 각각의 시료들은 세척·건조 후에 시료의 일부로 박편을 제작하였으며, 보관용 시료를 제외한 나머지 시료들은 화학분석과 X-선 회절분석을 위해 핸드 해머와 스테인레스 절구(stainless mortar)를 사용하여 파쇄하고 분쇄하였다. 또한 분쇄된 시료들은 시료의 대표성을 갖도록 넓은 종이 위에서 잘 혼합한 후 사분법에 의해 시료의 양을 약 300g씩 선택한 다음 Mixer/Mill(Spex 8000)을 이용하여 전광-200mesh로 미분쇄하였다. 또한 석회암의 물성 및 역학적 실험을 위해서는 현장에서 채취한 괴상의 석회암 시료로부터 core drilling machine을 사용하여 원주형의 시험편을 코어링한 후, 압축절단기로 적절한 크기로 자른 다음, 연마제(carborundum)를 사용하여 시험편의 상하 평평도가 0.05mm이내가 되도록 연마하였으며, 시험편의 지름은 4.1cm, 길이의 경우 일축압축용 시험편은 대략 8.5cm, 간접인장강도용 시험편은 약 4.4cm가 되도록 성형하였다(ISRM, 1981).

4. 암석학적 특성

이 지역에서 산출되는 석회암은 대체로 담회색 내지 담갈색을 띠는데, 육안으로 보아 비교적 세립질이며 담회색을 띠는 것과 조립질이고 담갈색을 나타내는 것 등 2가지로 구분할 수 있다. 이중 채취한 석회암의 암괴시료는 모두 담회색을 띠는 세립질에 해당되었으며, 쇠석 골재시료는 담회색을 보이는 세립질 석회암과 담갈색을 띠는 조립질의 석회암이 혼합되어 있었다. 따라서 이 연구에서는 삼화지역의 석회암을 크게 담회색의 세립질인 석회암(SYL-13)과 담갈색의 조립질인 석회암(SYL-03)으로 구분하였다.

담회색의 세립질 석회암(SYL-13)은 현미경 관찰 결과 약 0.03~0.3mm에 달하는 타형 내지 반자형의

방해석 입자가 취편쌍정(polysynthetic twin)을 보이며 우세하게 나타나고 있었고, 불투명 광물과 감람석, 백운모 등이 소량 수반되고 있다. 또한 육안 및 현미경으로는 돌로마이트의 구분이 곤란하였기 때문에 암편의 표면을 1.5% HCl로 부식시킨 후 alizarin red S와 potassium ferricyanide 등의 시약을 이용한 착색방법(Dickson, 1965)을 사용하여 돌로마이트와 방해석을 구분하였는데, 암편의 표면적 중 약 40%가 삼점상의 돌로마이트 내지는 Mg를 다량 함유한 방해석으로 구성되어 있었다. 또한 분말시료를 이용하여 X-선 회절분석을 수행해 본 결과에 있어서도 상당량의 돌로마이트가 함유되어 있는 것으로 나타났다(Fig. 2).

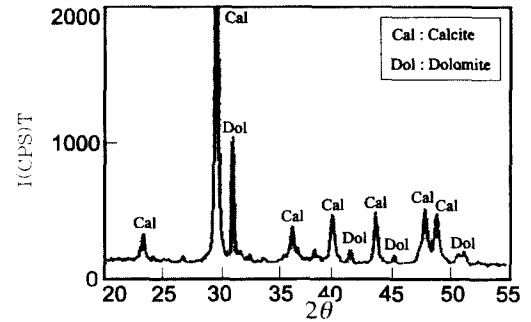
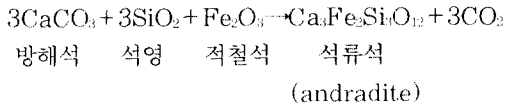


Fig. 2 XRD patterns for the fine-grained limestone in the Sawhwa district.

담갈색의 조립질 석회암(SYL-03)은 전형적인 마름모형 벽개가 잘 발달된 약 0.15~4.0mm 정도의 방해석 입자가 우세하게 산출되고 있었으며, 고온성 광물인 석류석이 불투명 광물과공간적으로 밀접하게 관련되어 나타나고 있다. 일반적으로 석회암은 변성작용이나 화성작용에 의한 열변성 작용을 받으면 방해석 입자가 재결정하여 결정질 석회암으로 되며, 특히 석회암중에 점토분이 함유되어 있을 경우에는 석류석이 생성될 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 점들을 고려해 볼 때, 연구 지역의 조립질 석회암은 주변의 중생대 화강암류가 관입할 당시 열변성 작용을 받았으며, 이러한 과정중 다음과 같은 반응식에 의해 석류석의 일종인 andradite($\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$)가 산출된 것으로 판단된다.



5. 화학적 특성

이 연구를 위하여 11개의 주성분 원소와 강열감량(Ignition Loss)을 분석하고 측정하였다(Table 1). 분석한 원소들 중 SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ 등 9개 원소는 X-선 형광분광법(X-ray Fluorescence Spectrometer : XRF)으로, Fe₂O₃, FeO 등 2개의 원소는 습식중량법으로 분석하였으며, 강열감량(Ig. loss)은 약 3g의 분말 시료를 건조로에서 105℃로 24시간 동안 건조시킨 후의 무게와 이를 다시 muffle furnace에서 950℃로 약 1시간 동안 가열한 후 상온에서 측정된 무게의 감량비로 계산하였다. 또한 이러한 화학분석 및 작열감량에 있어서의 품질관리(quality control)를 위해서는 동일시료를 2회 분석하여 정밀도(precision)를 구하였다(Table 1).

원소들의 화학분석 결과에서 보면, SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO, MnO, P₂O₅ 등의 함량은 세립질 석회암이 조립질 석회암에서보다 높은 값을 나타내었으며, Fe₂O₃, CaO, Na₂O, K₂O 등의 함량은 비교적 조립의 결정질 석회암에서 높은 값을 보여 주었다(Table

Table 1 Abundance of major elements and ignition loss in limestones from the Samhwa district(unit in wt.%) and analytical precision(%).

Elements and Ignition Loss	Coarse-grained Limestone (SYL-03)	Fine-grained Limestone (SYL-13)	Analytical Precision
SiO ₂	1.80	5.03	0.37
TiO ₂	0.02	0.03	0
Al ₂ O ₃	0.57	0.90	0.36
Fe ₂ O ₃	5.54	0.38	-
FeO	0.30	0.41	-
MnO	0.04	0.09	0
MgO	0.47	12.5	11.0
CaO	59.5	49.8	0.74
Na ₂ O	0.12	0.09	4.03
K ₂ O	0.05	0.01	0.25
P ₂ O ₅	0.04	0.06	6.15
Ig. loss	32.9	30.4	26.9
Sum	101.4	99.7	

() : Sample number
- : not determined.

1) 특히 MgO와 SiO₂의 함량은 세립질 석회암에서, Fe₂O₃ 함량은 조립의 결정질 석회암에서 훨씬 높은 값을 나타내고 있는데, 이는 세립질 석회암에서는 돌로마이트(CaMg(CO₃)₂)가 발견되며, 조립질 석회암에서는 석류석(andradite- Ca₃Fe₂(SiO₃)₃)이 산출되고 있다는 결과와 잘 일치하고 있다. 또한 강열감량(Ig. loss)의 경우 조립질의 석회암이 세립질 석회암보다 약간 더 높은 값을 나타내고 있는데, 이는 약 900℃의 온도에서 분해하여 산화칼슘(CaO)으로 해리되는 과정에서 CO₂로 방출되는 방해석이 돌로마이트가 산출되지 않는 조립질 석회암 중에 더 많이 함유되어 있기 때문으로 판단된다.

6. 역학적 특성

삼화지역에 분포하는 채석 골재용 석회암의 물성 및 역학적 특성을 알아보기 위하여 비교적 양적으로 우세하고 암피상으로 산출되어 시험편 제작이 용이한 담회색의 세립질 석회암에 대해서는 총 4개의 코아 시험편(지름 41mm)을 제작한 후, 국제암반역학회(ISRM, 1981)에서 제시한 표준시험 방법으로 물성 및 역학적 실험을 수행하였으며, 담갈색의 조립질 석회암에 대해서는 장경 약 50mm 크기의 비정형 골재시료를 이용하여 점하중 시험(point load test)을 실시하였다(ISRM, 1981).

세립질 석회암 시료를 대상으로 물성 실험을 수행한 결과(Table 2), 대체로 4개의 시험편들에 대한 흡수율과 공극률 및 건조단위중량은 비교적 균일한 분포를 보여 주었는데, 이들에 대한 각각의 평균값은 흡수율의 경우 0.07%, 공극률은 0.21%, 그리고 건조단위중량은 27.31kN/m³(대략 2.78grf/cm³)로 나타났다. 또한 종파(P-wave)의 전달속도는 대략 4,430m/sec 내외로서 건설 표준품셈의 분류기준(Table 3 참조)에 의하면 보통암의 범주에 해당되었

Table 2 Index properties of fine-grained limestone, Samhwa

Sample No.	Absorption (%)	Porosity (%)	Dry Unit Weight (kN/m ³)	Seismic Wave Velocity (m/sec) P-wave/S-wave
Specimen 1	0.07	0.20	27.69	4592/2701
Specimen 2	0.05	0.15	27.47	4489/2641
Specimen 3	0.11	0.32	26.92	4410/2594
Specimen 4	0.06	0.16	27.24	4231/2489

으며, 이러한 종파 속도를 0.59로 나누어 횡파 속도를 산출하였다(Table 2).

세립질 석회암 시료의 역학적 탄성학적 특성 조사를 위하여 수행한 실험 결과는 Table 4에 나타나 있다. 여기에서 탄성계수는, 최대 하중의 50% 수준에서 응력-변형을 곡선의 접선기울기로 구하였으며, 포아슨비도 최대 하중의 50% 수준에서 측정하였다. 특히 역학적 특성의 경우에 있어서는 시험편에 따라 상당한 편차를 보여주었는데, 이러한 현상은 파쇄나 발파할 때 시료에 생긴 여러 가지 미세균열들의 분포에 의한 것으로 판단된다.

또한 세립질 석회암 시료의 일축압축강도는 그 값이 약 64.6~108.3MPa로서 Deere와 Miller의 분류 방법(Table 5)에 따르면 보통암에 해당되었고, 건설 표준품셈에 따른 분류(Table 3)에 의하면 연암의 범주에 해당되었다. 그러나 탄성파의 속도와 현장에서 시료채취 당시의 관찰, 예를 들면, hammer에 의한 타격의 결과 등을 종합적으로 검토해 볼 때, 연구지역의 세립질 석회암은 보통암으로 분류하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 한편 탄성계수비는 탄성계수와 일축압축강도의 비로서 정의되는데, Table 4에 나타나 있는 바와 같이 연구 대상 지역의 세립질 석회암 시료들의 경우 대략 200~300의 범위를 나타

Table 3 Engineering classification of rocks by the uniaxial compressive strength.

Rock Description	Extremely Hard Rock	Hard Rock	Medium Rock	Weak Rock	Extremely Weak Rock
Uniaxial Compressive Strength (kg/cm ²)	> 1,600	1,300 ~ 1,600	1,000 ~ 1,300	700 ~ 1,000	300 ~ 700
Laboratory Seismic Velocity (m/sec)	≥ 5,800	4,700 ~ 5,800	3,700 ~ 4,700	2,700 ~ 3,700	2,000 ~ 2,700
In Situ Seismic Velocity (m/sec)	≥ 4,200	2,900 ~ 4,200	1,900 ~ 2,900	1,200 ~ 1,900	700 ~ 1,200
Schmidt Rebound Number	≥ 60	51 ~ 60	41 ~ 51	34 ~ 44	10 ~ 34
Point Load Strength (kg/cm ²)	≥ 88	56 ~ 88	37 ~ 56	18 ~ 37	0 ~ 18
Field Estimation	Hard to break with a sludge hammer	Relatively hard to break with a sludge hammer	Breakable into blocks along cracks by a sludge hammer	Relatively easy to break with a rock hammer	Easy to break into pieces with a rock hammer, occasionally even breakable by hand

내어 Deere와 Miller가 제시한 탄성계수비 값에 의하면 중간비에 해당되었다(Table 5).

일반적으로 암석의 일축압축강도에 대한 인장강도의 비는 암석의 취성변형을 나타내는 지표로서 이를 취성도라고 하는데, 보통 취성도가 클수록 폭발적인 변형, 혹은 파괴 양상을 나타낼 가능성이 큰 것으로 알려져 있다. 이 연구에서의 실험 결과, 세립질 석회암 시료들의 경우에는 취성도가 대략 12 내외로서 취성도가 비교적 낮은 값을 보여 주었다.

비정형의 조립질 석회암 골재시료를 대상으로 총 17회의 점하중 시험(point load test)을 실시한 후, 얻은 점하중 값을 환산하여(Broch and Franklin, 1972) 일축압축강도를 구한 결과(Table 6), 그 평균 값은 215.6 kgf/cm² 으로 건설 표준품셈(Table 3)과 Deere와 Miller의 분류 방법(Table 5)에 의하면 극연암에 해당되어, 비교적 세립질 석회암보다 약한 강도를 나타내었다.

Table 4 Mechanical properties of fine-grained limestone, Samhwa.

Sample No.	Uniaxial Compressive Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Modulus Ratio	Brittleness
Specimen 1	108.3	8.84	22.96	0.17	212	12
Specimen 2	64.6	5.68	19.42	0.22	301	11
Specimen 3	73.2	6.48	20.58	0.16	281	11
Specimen 4	88.7	6.20	18.84	0.20	212	14

Table 5 Engineering classification of rock(Deere and Miller, 1996).

1. Strength

Class	Description	Uniaxial Compressive Strength (MPa)
A	very high strength	≥ 230
B	high strength	110 ~ 220
C	medium strength	55 ~ 110
D	low strength	27 ~ 55
E	very low strength	≤ 27

2. Modulus Ratio

Class	Description	Modulus Ratio
H	high modulus ratio	≥ 500
M	medium modulus ratio	200 ~ 500
L	low modulus ratio	≤ 200

Table 6 Results of point load test for the coarse-grained limestone, Samhwa.

Specimen No.	Thickness (cm)	Width (cm)	Load at Rupture(kg)	Uniaxial Compressive Strength (kgf/cm ²)
1	2.22	3.57	410	205.9
2	2.61	2.81	150	88.0
3	2.29	2.53	385	268.2
4	3.01	2.95	165	85.9
5	1.77	3.94	410	208.4
6	2.51	2.82	285	170.5
7	2.52	2.96	260	147.6
8	2.38	2.75	340	213.3
9	2.68	3.61	710	320.3
10	2.34	2.98	505	295.3
11	2.28	2.42	315	230.0
12	1.87	2.84	230	157.9
13	2.78	2.44	765	501.7
14	2.50	3.33	415	210.2
15	2.62	3.26	415	209.3
16	2.28	3.51	335	168.4
17	2.65	2.76	310	184.4

7. 골재로서의 석회암에 대한 고찰

일반적으로 석회암은 파쇄하기가 쉽고, 특히 아스팔트와 잘 결합되기 때문에 아스팔트용 골재로서 좋은 장점을 가지고 있으며, 석회암이 괴상이고 치밀한 미정질 내지 은미정질인 경우에는 시멘트 콘크리트용 골재로서도 양호한 것으로 알려져 있다(Hansen, 1968). 또한 석회암 골재는 다른 암종의 골재에 비해 비중, 흡수율, 안정성 등이 뛰어나고, 일반 콘크리트 구조물에 필요한 강도와 내화성을 보유하고 있다. 그러나 석회암 골재에 돌로마이트가 함유되어 있을 경우에는 돌로마이트와 시멘트로부터 공급되는 알칼리(Na⁺, K⁺)와의 반응에 의해 알칼리-골재 반응의 일종인 알칼리-탄산염 반응을 일으켜 시멘트의 경화체를 팽창시키고, 콘크리트에 균열과 같은 손상을 주는 것으로 보고된 바 있다(Hansen, 1968).

이 연구 지역에서 산출되고 있는 쇄석 골재용 석회암은 크게 담회색의 세립질인 석회암(SYL-13)과 담갈색의 조립질인 결정질 석회암(SYL-03)으로 구분할 수 있는데, 이중 조암광물들의 입자크기 측면에서 볼 때, 시멘트 콘크리트용 골재로서 더 적당할 것으로 생각되는 세립질 석회암(SYL-13)의 경우, 돌로

마이트를 상당량 함유하고 있어 이러한 용도로 사용할 경우 알칼리-탄산염 반응에 의한 열화현상으로 구조물의 안전과 보존에 있어서 문제를 야기시킬 수 있기 때문에 반드시 알칼리-골재 반응성을 검증한 후 사용여부를 결정해야 한다. 따라서 삼화지역의 쇄석 골재용 석회암류는 대체로 시멘트 콘크리트용보다는 아스팔트 콘크리트용이나 도로 포장용 또는 철도용 등 다른 용도로 이용하는 것이 좋을 것으로 생각되나, 부득이 시멘트 콘크리트용으로 이용해야 될 경우에는 가능한 저알칼리성 시멘트를 사용하거나 또는 다른 암종의 골재와 혼합해 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

8. 결론

강원도 삼화지역에 분포하는 쇄석 골재용 석회암을 대상으로 암석 기재학적 및 화학적, 역학적 특성을 알아보고 건설용 골재로서의 적합성을 고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 삼화지역에 분포하는 쇄석 골재용 석회암은 크게 담회색의 세립질 석회암과 담갈색의 조립질 석회암으로 구분할 수 있으며, 이중 조립질 석회암은 고온성 광물인 석류석을 함유하고 있는데, 이는 주변의 중생대 화강암류가 관입할 당시 열변성 작용을 받아 생긴 것으로 판단된다.

2. 주성분 원소의 화학분석 결과, MgO와 SiO₂의 함량은 세립질 석회암에서, Fe₂O₃ 함량은 조립질 결정질 석회암에서 훨씬 높은 값을 나타내었는데, 이는 세립질 석회암에는 돌로 마이트가 함유되어 있고, 조립질 석회암에서는 석류석이 산출되고 있다는 결과와 잘 일치하고 있다.

3. 삼화지역의 세립질 석회암을 대상으로 물성 및 탄성계수를 측정 한 결과, 흡수율과 공극률 및 건조단위중량은 매우 균일한 분포를 보여 주었으며, 그들의 평균값은 흡수율의 경우 0.07%, 공극률은 0.21%, 그리고 건조단위중량은 27.31kN/m³(대략 2.78gr/cm³)으로 나타났다. 또한 종파(P-wave)의 전달속도는 대략 4.430m/sec 내외로서 건설부 표준품셈에 의하면 보통암의 범주에 해당되었다.

4. 세립질 석회암 시료에 대한 일축압축강도는 64.6~108.3MPa(대략 659~1,104 kgf/cm²)으로써

조립질 석회암 시료(약 215.6 kgf/cm²)보다 강한 것으로 나타났으며, 간접인장강도는 5.68~8.84MPa(대략 58~90kgf/cm²)의 범위를 보여 주었고, 탄성계수는 18.84~20.60GPa(대략 1.92~2.34 × 10⁵kgf/cm²)의 범위를 나타내었다. 또한 Poisson's ratio는 0.16~0.22의 범위를 보여 시험편에 따라 상당한 편차를 보여 주었는데, 이는 파쇄나 발파 과정에서 생긴 다양한 미세균열들에 기인한 것으로 판단된다.

5. 석회암의 구성광물과 입자의 크기 및 화학성분 등을 고려할 때, 삼화지역에서 산출되고 있는 쇄석 골재용 석회암은 대체로 시멘트 콘크리트용보다는 아스팔트 콘크리트용이나 도로 포장용 또는 철도용으로 이용하는 것이 더 좋을 것으로 생각되며, 부득이 시멘트 콘크리트용으로 사용하여야 될 경우에는 알칼리-골재 반응성을 검증한 후 가능한 저알칼리성 시멘트를 사용하거나 또는 다른 암종의 골재와 혼합해 이용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 쌍용자원개발주식회사의 연구비 지원에 의해 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터의 특별 연구 프로그램으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 강원도교육청, "강원의 자연(지질편)" : 강원일보사출판국, 1993, 380p.
2. 김기창, 서신호, "국내산 석회석을 이용한 배연탈황에 관한 연구-국내산 석회석의 열분해 및 소결-", 한국과학재단 지정 석재복합신소재제품연구센터 연구보고서, 1996, pp.

141-154.

3. 김동기, "쇄석골재 자원의 활용방안", 한국자원공학회 1994년도 추계총회 골재자원 Forum 및 제 63회 학술발표회 논문집, 1994, pp. 79-89.
4. 민경원, 김성범, "삼화지역의 중생대 화강암류에 대한 암석지구화학적 연구", 한국자원공학회지, Vol. 29, 1992, pp. 365-375.
5. 안지환, "국내 석회석 자원의 활용성 평가 및 고부가가치화 방안연구(국내 석회석 광상 조사집)", 한국자원연구소, 1995, 425p.
6. 양동윤, 이동영, "콘크리트 장기 안정성을 위한 골재의 선택", 자원환경지질, Vol. 28, 1995, pp. 519-525.
7. 이민성, 장호완, 김완섭, "태백산 북부 지역에 분포하는 삼화화강암의 암석학적 연구", 한국지구과학회지, Vol. 8, 1987, pp. 143-155.
8. 하성호, 김경수, 김무한, 정지근, "콘크리트 골재용 각종 암석의 알칼리-골재 반응에 대한 연구", 광물학회지, Vol. 3, 1990, pp. 18-33.
9. Broch, E. and Franklin, J. A., "The point load strength test", Int. J. Rock Mech. and Mining Sci., Vol. 9, No. 6, 1972, pp. 669-697.
10. Deere, D. U. and Miller, R. P., "Engineering classification and index properties for intact rock", Tech. Rep. No. AFWL-TR-65-116, Univ. of Illinois, Urbana, 1966, 299p.
11. Dickson, J. A. D., "A modified staining technique for carbonates in thin section", Nature, Vol. 205, No. 497, 1965, p.587.
12. Hansen, W. C., "ASTM Special Technical Publication", No. 169-A, 1968, pp. 486-496.
13. ISRM Commission on Testing Methods, "Rock Characterization Testing and Monitoring", E. T. Brown(ed.), Pergamon Press, 1981, 211p.

(접수일자 : 1997. 1. 15)