

## 水熱 Hot Press법에 의한 화강암 廢材의 固化體 형성 및 평가기술의 개발에 관한 연구

나의균, 정세희, 高橋秀明  
군산대학교 해양산업대학 기관공학과  
전북대학교 공과대학 정밀기계공학과  
일본, 동북대학공학부 부속 파괴역학응용연구시설

### Study on Development of Evaluation Technique and Solidification of Granitic Wastes by the Hydrothermal Hot Press Method

Na Eui Gyun, Chung Se Hi and Hideaki Takahashi

*Department of Marine Engineering, Kunsan National University, Chonbuk Kunsan, Korea, 573-400*

*Department of Precision Mechanical Engineering, Chonbuk*

*National University, Chonbuk, Chonju, Korea, 560-190*

*Research Institute for Fracture Technology, Dohoku University, Sendai, Japan, 980*

초 록 본 연구에서는 石材工場 주변의 汚染原으로 되고 있는 화강암 廢材의 固化體의 形成과 評價 기술에 關한 내용을 다루었다. 이를 위해, 최근 고화체의 合成技術로서 높이 평가받고 있는 水熱 Hot press법을 이용하여 분말형태의 화강암 廢棄物을 고화시키는데 필요한 조건을 찾아 내었다. 아울러 고화체의 기계적 성질과 破面의 양상 및 수열실험동안 발생된 생성물 사이의 相互關係를 고찰하였다.

고화체의 기계적 성질은 수열실험조건에 의존성이 있었으며, 適切한 고화조건은 反應溫度 300°C, 유지시간 1시간이었다. 또한 고화체의 破面은 반응온도 및 유지시간에 따라 현저히 다른 양상을 보였으며, 수열실험동안 다양한 화합물이 生成되었다. 그 중에서 Xonotlite와 Talc는 고화체의 強度를 저하시키는 주된 화합물이었다.

**Abstract** The content of this paper includes the solidification and evaluation technique of the granitic wastes which cause to pollute water and contaminate the environment around the rock factories. For these, the appropriate conditions for solidification of the granitic wastes were found by means of the hydrothermal hot press method which has been highly regarded as good one to solidify the powder recently. Besides, correlations between products, appearance of the fractured surfaces and mechanical properties were investigated.

The mechanical properties of the solidified rocks were dependent upon hydrothermal test conditions. The optimal conditions for solidification of the granitic wastes were found to be 300°C of reaction temperature and 1hr of holding time. Besides, various kinds of products were formed during hydrothermal test. Among them, xonotlite and talc acted to decrease the tensile strength of the solidified rock.

### 1. 서 론

옛부터 전라북도 일부 지방에서는 他 지방에 비해 良質의 화강암이 多量 생산되어져 오고 있기 때문에 이와 관련된 石材産業이 잘 발달되어 있다. 이 지역에서 생산된 화강암은

여러종류의 석가공품으로 加工되어 국내공급은 물론 國外로까지 수출되어 지역사회의 경제발전에 이바지한바가 크다. 그런데 전북지방에서 화강암이 가장 많이 생산되고 있는 익산군의 경우, 수십개의 석재 공장에서 화강암의 가공에 의해 발생하는 분말형태의 암석폐

기물이 다량 유출되어 나오고 있다. 원래 암석폐기물은 폐기물 처리시설에서 암석가루와 물로 분리하여 물은 하천에 흘려 보내고, 암석가루는 적당한 지역에 매립하도록 되어 있다. 그러나 석가공 공장들의 영세성과 예산부족으로 인해 암석폐기물의 처리시설은 엄두도 내지 못하고 있는 실정이며, 또한 적당한 매립지를 찾는 것도 곤란한 점이 많다. 현재 화강암 폐기물의 처리방법은 물이 다량 함유된 암석가루를 하천의 적정구역에 그물을 설치해 놓고 그 안에 흘려 보낸 다음, 어느정도 시간이 지난 후, 沈澱物(암석가루)를 도로 변이나 일정구역에 쌓아 두어 방치해 두고 있는 형식을 취하고 있다. 이 방법은 다음과 같은 문제점을 안고 있다. 우선 암석폐기물을 하천에 흘려 보낼 경우, 암석폐기물은 마치 분말과 같아서 그물을 통과하여 하천의 정해진 구역 밖으로 얼마든지 흘러 나갈 수 있다는 점이고, 또한 일정구역에 쌓아둔 암석폐기물은 비가 올 경우, 인근지역에 다시 無防備 상태로 흘러 들어가게 된다. 그 결과 가공공장 주변의 인근지역은 河川水의 수질오염 및 환경오염이 不可避한 실정이다.

이상의 상황을 종합해 볼 때, 화강암 폐기물을 자원으로 적극적으로 재활용하는 기술의 개발은 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다. 화강암은 본래 내마모성 및 내화성이 높은 규소성분을 많이 함유하고 있기 때문에 적절한 장치를 이용하여 강도가 높고, 인성이 큰 고화체가 얻어질 경우, 기존의 소재와 비교하여 기본적 성질이 다른 새로운 소재가 얻어질 것으로 예상된다.

본 연구에서는 새로운 재활용 소재의 개발에 앞선 기초적 연구로서, 최근 고화체 합성 기술로서 높이 평가받고 있는 水熱 hot press 법에<sup>1~3)</sup> 의해 화강암 폐재를 대상으로 하여 고화체를 형성시킨 후, 기계적 실험을 통하여 고화체 형성을 위한 적절한 조건을 찾아 내는데 일차적 목적이 있다. 아울러 走査電子顯微鏡에 의한 미시적 관찰을 통하여 고화기구를 해석하고, 또한 X-ray 회절실험에 의해 수열 실험동안 어떠한 생성물이 발생되었는지를 규명하여 보고, 이들이 고화체의 기계적성질에 미치는 영향을 고찰하고자 한다.

## 2. 水熱 Hot press법의 원리와 장치

### 2-1. 물의 이온積과 原理

물의 融點은 0°C이고 100°C에 도달하면 액체에서 기체상태로 변화를 일으킨다. 이러한 성질을 갖는 물을 밀폐된 容器內에 넣으면 온도가 100°C 이상으로 되어도 액체상태로 존재하게 된다. 이때 밀폐된 용기내에 있는 물은 그림 1에서<sup>4)</sup> 보인 바와 같이 온도의 上昇과 더불어 이온積이 증가하는 것으로 알려져 있다. 이온積은 300°C 부근까지 증가하여 極大值를 이룬 다음, 감소하게 된다.

결국 300°C 부근에서의 물은 용해 및 加水分解의 능력이 가장 높고, 그 이상의 온도에서는 이들 능력이 逆으로 감소한다. 이러한 성질을 이용하여 粉末粒子를 적당한 조건에서 기계적 압착을 가하면 대단히 빠른 시간내에 입자간을 결합시킬 수 있다. 다시말해, 물을 함유하는 분말을 수열조건하에서 기계적으로 熱間加壓을 하면 짧은 시간內에 고화체를 얻을 수 있다.<sup>2~3)</sup>

이러한 현상은 燒結과 유사하지만, 다량의 물이 존재하기 때문에 단순히 고상반응만으로 설명될 수 없고, 물이 介在된 상태에서 용해 및 석출과 새로운 결합물질의 생성등을 고려하지 않으면 안된다. 이들 반응은 자연계에 있어서 해저의 퇴적물이 장시간에 걸쳐 암석이 생성되는 것과 같은 반응이라고 여겨지고 있다.

결국, 수열 hot press법은 자연계에서 장시간이 요구되는 고화체의 생성반응을 단시간내

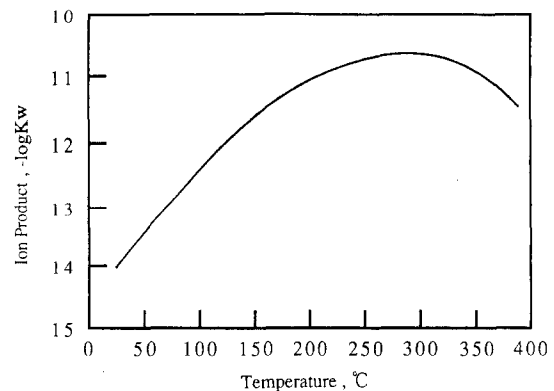


Fig. 1. Ion product of thermal water

에 걸쳐서 완성할 수 있는 방법으로, 신소재 개발의 새로운 합성기술로서 기대되고 있다. 또한 분말의 종류, 용액의 종류와량을 조절함에 따라 다양한 고화체를 얻을 수 있다. 특히 열분해 때문에 고온상태에서 소결이 곤란한 경우와, 결정수를 갖고 있는 고화체의 형성 등에 대하여 수열 hot press법은 효과적이라고 할 수 있다.

## 2-2. 실험장치

분말을 수열조건하에서 기계적인 압력을 가하면서 고화체를 형성시키기 때문에 autoclave의 사용이 필요하다. 또한 autoclave내부의 고압유체의 누설방지를 위한 장치 및 안전성에 대한 배려가 요구된다. 이같은 점을 고려하여 수열조건에서 기계적 압착이 용이하도록

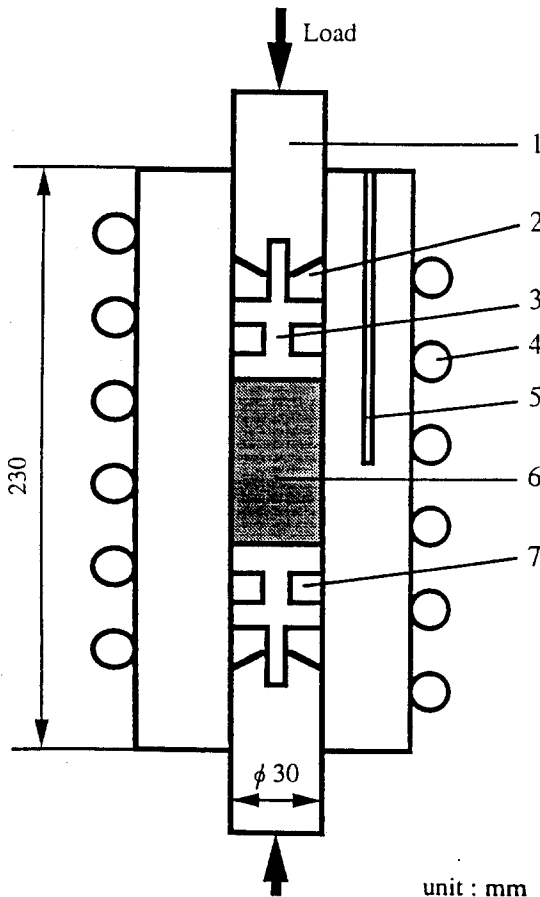


Fig. 2. Autoclave for hydrothermal hot-pressing  
1. Push rod, 2. Gland packing by Teflon, 3. Cast rod, 4. Heater, 5. Thermocouple, 6. Sample, 7. Space for water retreat.

로 개발된 장치를 그림 2에 나타내었다.

장치를 간략히 소개하면, 우선 직경 30mm의 시린더(cylinder)내부에 시료를 넣은 후, 상, 하로부터 피스톤에 의해 시료에 一軸압력을 가한다. 피스톤에는 시료로부터 압착되어 나오는 고압증기가 머물도록 하기 위한 공간이 있고, 이 공간에 의해 試料中の 水分이 조절된다. 또한 피스톤과 봉(rod)사이에는 테프론에 의한 gland-packing이 있으며, 이는 상, 하로부터의 압력에 의해 변형되어 내부의 고온증기의 누설을 방지시켜 고화반응중의 시료를 所要의 수열상태로 유지시키는 역할을 한다.

## 3. 실험절차

### 3-1. 고화체 합성조건

본 실험에 제공된 시료는 전라북도 익산군 황등면에서 채취한 분말형 화강암 폐기물이다. 화강암 폐기물에서 異物質(불순물)을 제거한 후, 체를 통해 암석가루를 입도별로 분류하였다. 본 실험에서는 90-106 $\mu$ m범위의 입도를 갖는 암석가루를 시료로 선택하였다.

표1은 화강암 原石의 주된 화학적 조성을 나타낸 것으로서<sup>5)</sup>, 산화규소( $\text{SiO}_2$ )와 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )이 전체 성분의 약 85%를 차지하고 있다. 그림 3은 화강암에서 얇은 막(thin film)을 채취하여 편광현미경에 의해 찍은 사진이다. 사진으로부터 볼 수 있는 것처럼 화강암의 주된 광물은 석영(quartz)과 사장석(plagioclase)이고, 특징광물로서 흑운모(biotite)를 함유하고 있다.

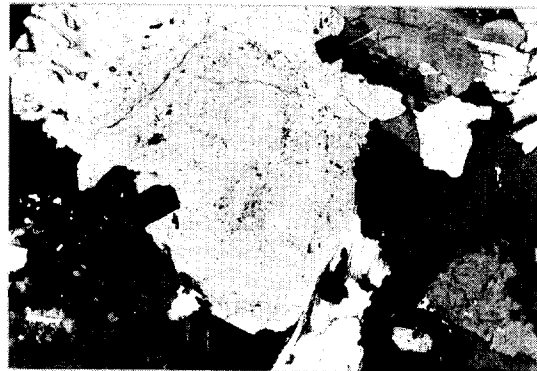


Fig. 3. Photo of the granitic rock by polarization microscope. X 100  
White : Quartz, Black : Plagioclase, Bottom of left : Biotite

Table 1. Chemical compositions of granitic rock

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
69.48	0.39	15.96	0.88	1.61	0.036	0.53	2.94	4.52	3.91	0.09	0.02	0.13

실험은 무게 40 g의 암석분말에 증류수 대신 NaOH용액(농도: 10ml/ℓ)을 4ml 추가하였다. NaOH용액을 선택하게 된 이유는 우선 증류수를 사용할 경우, 어느정도 만족할 만한 고화체를 얻는데 걸리는 시간이 너무 많이(5시간정도) 소요되기 때문이다. 또한 표1에서 확인할 수 있듯이 화강암에는 산화나트륨 및 산화칼륨 등과 같은 알칼리성 元素가 함유되어 있고, NaOH용액은 고온상태에서 이들 원소 외에 산화규소 및 산화알루미늄의 용해를 촉진시키는 역할을 하기 때문이다. 이어 분말과 NaOH용액과 잘 혼합한 다음, hot press장치에 시료를 넣은 후, 용량 10톤의 만능시험기를 이용하여 일축압력 40MPa를 반응시간 동안 일정하게 유지시켰다. 피스톤에 의해 압력이 가해진 상태에서 온도상승속도를 9°C/min로 하여 250°C, 280°C, 300°C까지 각각 올려 1시간동안 유지시킨 다음, 냉각시킨 후, 약 70°C부근에서 固化體를 빼내었다. 각각의 조건에서 얻어진 고화체의 表面상태(딱딱한 정도)로부터 300°C, 1시간의 고화체가 가장 強度가 높다고 판단되었다. 따라서 이 조건에서 유지시간이 고화체의 인장강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 유지시간을 30분, 90분, 120분으로 바꾸어가면서 수열실험을 실시하였다. 또한 각 조건에서 얻어진 고화체를 대상으로 密度(g/cm<sup>3</sup>)을 구하였다.

한편, 반응시간동안 고화과정을 거시적으로 평가하기 위해 上記의 수열실험을 실시하는 동안 cross head의 변위의 변화를 dial gauge에 의해 측정하였다.

3-2. 고화체의 평가방법

얻어진 圓盤狀의 고화체를 7일정도 실내에 보관한 후, 에머리紙 #800까지 研磨를 실시한 다음, 그림 4와 같은 장치에 의해 壓裂실험<sup>6)</sup> (Brazilian test)을 실시하였다. 구해진 破斷하중(최대하중)을 다음 식에 대입하여 인장강도  $\sigma_t$ 를 산출하였다.<sup>7)</sup>

$$\sigma_t = 2P_{max} / \pi dt$$

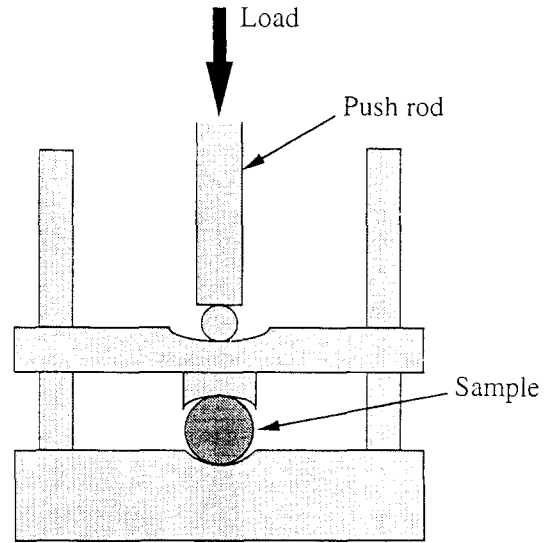


Fig. 4. Brazilian test

여기서, P<sub>max</sub>: 최대하중, d: 시험편 직경, t: 시험편 두께, π: 원주율

실험시 cross head의 속도는 0.2mm/min로 하였다. 아울러 고화기구의 해석과 고화의 반응 거동을 알아보기 위해 파단된 면을 주사전자현미경에 의해 관찰하였으며, 수열실험에 의해 발생된 생성물을 緋明하기 위해 X선 회절 실험을 실시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 고화거동

수열실험동안 화강암 폐쇄와 NaOH용액과의 반응을 거시적으로 평가하기 위해 그림 5와 같이 250°C와 300°C에서 1시간동안 유지시킨 경우를 例를 들어 고찰해 보기로 한다. 우선 250°C에서 수열실험을 실시했을 때, 반응시간의 출발점과 맨 마지막사이의 變位差는 약 15mm인데 반해, 300°C인 경우에는 약 20mm 정도로서 5mm정도의 차이가 나고 있다. 이것은 後者の 경우가 前者에 비해 시료의 수축정도가 더 크다는 뜻을 意味한다. 반응시간동안 수축의 정도가 크다는 것은 고화체 內에 존재하는 氣孔(pores)이 적고, 이는 고화체의 強

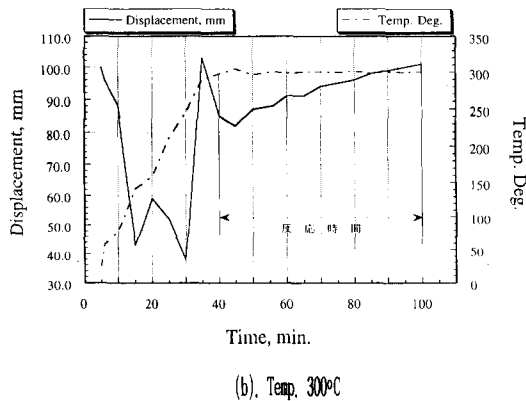
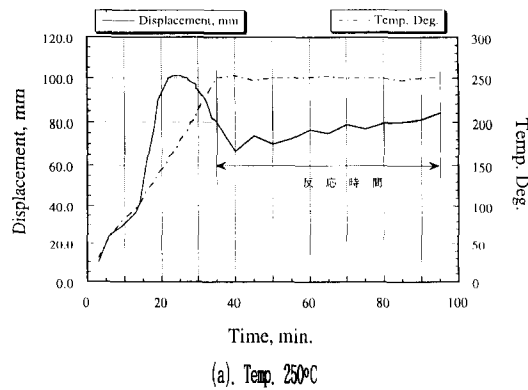


Fig. 5. Relations of between displacement and reaction time at 250°C and 300°C

도에 직접적으로 관련이 있을 것으로 판단된다. 또한 300°C로 온도가 일정한 상태에서 변위와 유지시간과의 곡線上에 약간의 불규칙성을 보이고 있는데, 이는 암석분말을 구성하고 있는 각 원소들의 열팽창계수가 각각 다르기 때문이라고 판단된다.

#### 4-2. 반응온도가 고화체의 기계적성질에 미치는 영향

일반적으로 화강암의 인장강도는 암석의 방향성 내지는 채취지역 등에 따라 약간의 차이가 있지만, 본 연구에서 이용된 화강암의 인장강도는 약 5.3MPa 정도이다.<sup>5)</sup> 이를 바탕으로 하여 수열실험에서 얻어진 결과와 비교, 검토하여 보기로 한다. 그림 6은 유지시간을 1시간으로 일정하게 유지시킨 상태에서 반응온도와 고화체의 인장강도와의 關係를 나타낸

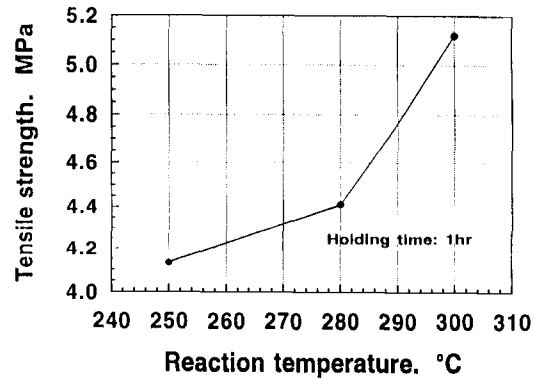


Fig. 6. Relationship between tensile strength and reaction temperature for granite

것이다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 반응온도 250°C에서 얻어진 고화체의 강도는 4.13MPa, 280°C에서는 4.41MPa, 그리고 300°C에서 얻어진 인장강도는 5.12MPa로서 반응온도가 높아질수록 고화체의 인장강도는 확연하게 증가하고 있으며, 특히 300°C에서 얻어진 인장강도는 原石의 강도의 약 97%에 해당하는 강도치를 보여 주고 있다. 반응온도가 높아짐에 따라 인장강도가 증가하는 결과를 보이고 있는 것은 콘크리트폐재에 대한 水熱實驗의 연구결과<sup>6)</sup>와 일치하고 있다.

그림 7은 반응온도, 인장강도 및 밀도와의 關係를 나타낸 그림이다. 온도가 250°C에서 300°C로 높아짐에 따라 密度 또한 인장강도와 더불어 점점 크게 되고 있음을 알 수 있다. 이는 온도가 250°C일 경우에는 粉末을 구성하고 있는 각종 입자들의 표면층에서 반응층이 얇겠지만, 온도가 높아질수록 反應層이 두꺼워지면서 각종 이온( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  등)들이 입자의 표면에서 방출되며, NaOH용액도 고온상태에서 OH가 분해되어 나오기 때문이다.<sup>9)</sup> 수산기(OH)는 Si-O-Si의 결합을 쉽게 깨뜨리게 되고, 이어 규산염이온이 용해되기 때문에 各 粒子間에 결합이 활발하게 이루어질 것이며, 여기에 기계적 압력을 가하기 때문에 입자간의 결합은 더욱 가속화 될 것으로 판단된다.

따라서 반응온도가 높아질수록 고화체의 密度는 크게 되며, 그 결과, 내부에 기공(pores)의 농도가 낮아지기 때문에 인장강도는 보다 커지는 것으로 판단된다.

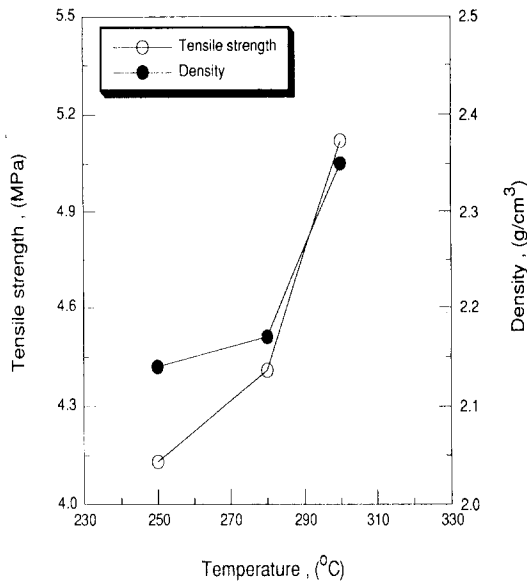


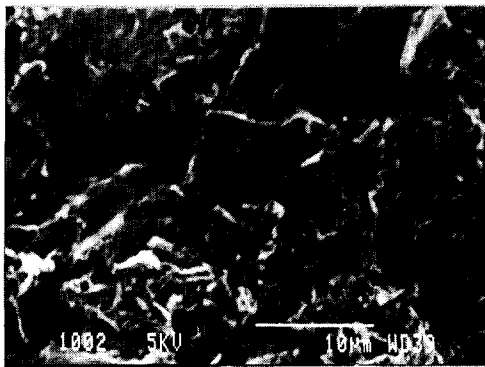
Fig. 7. Relations of tensile strength, density and temperature for granite at 1 hr of holding time

그림 8은 上記의 두 조건(250°C, 300°C)의 파면을 走査電子顯微鏡에 의해 관찰한 결과이다. 300°C인 경우가 250°C에 비해 氣孔의 농도가 낮음을 확인할 수 있다. 또한 250°C인 경우에는 파면전반에 걸쳐 纖維狀의 物質이 산재해 있음을 볼 수 있지만, 300°C인 경우에는 섬유상의 물질을 전혀 찾아 볼 수 없고, 結晶이 板狀으로 잘 성장하고 있음을 보여주고 있다. 이와 같이 서로 다른 파면의 樣相은 온도에 따른 기계적성질의 차이가 왜 발생하

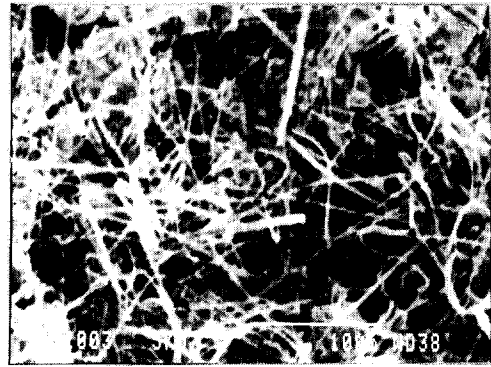
고 있는지를 잘 입증해 주고 있다.

한편 고화체의 결정립 크기와 강도와의 관계를 고찰해 보기로 한다. SEM사진에서 볼 수 있는 것처럼 수열온도 300°C인 경우가 250°C에 비해 결정립의 크기가 크게 나타났고, 강도 또한 전자의 경우가 후자에 비해 더 큰 결과가 얻어졌다. 이같은 결과는 금속재료에서처럼 결정립이 작을 수록 강하다고 하는 내용과는 상반된다고 할 수 있다. 일반적으로 결정립이 작을 수록 강도가 높아지는 이유는 결정입계가 전위의 운동을 방해하는 가장 큰 장애물의 하나이므로 결정립이 작게 되어서 입계의 양이 많아질수록 전위는 운동하기 어렵게 되고 강도가 커지게 되는 것이다. 그러나 본 연구에서처럼 이같은 내용과 상반된 결과를 보인 것은 금속재료와는 고화기구가 다르고, 또한 인위적인 방법에 의해 화강암 폐기물을 대상으로 고화체를 형성시킬 경우에는 반응시간동안 생성된 생성물이 강도를 지배하는 것으로 추측된다.

그림 9는 수열실험동안 어떠한 화합물이 생성되었는가를 알아보기 위해 X선 회절실험을 실시한 결과를 보인 것이다. 250°C의 온도에서 수열실험을 실시한 경우에는 Xonotlite, Albite, Tobermorite 및 Weberite등이 생성되었다. 300°C로 온도가 높은 조건에서는 수열실험동안 생성된 생성물이 앞선 경우와는 다르게 Xonotlite가 나타나지 않았다. 일반적으로 纖維狀의 Xonotlite는 強度를 저하시킨다



(a). Temp. 300°C



(b). Temp. 250°C

Fig. 8. SEM Observation of fractured surfaces (Reaction conditions : Temp. 300°C, 250°C, Holding time : 1 hr)

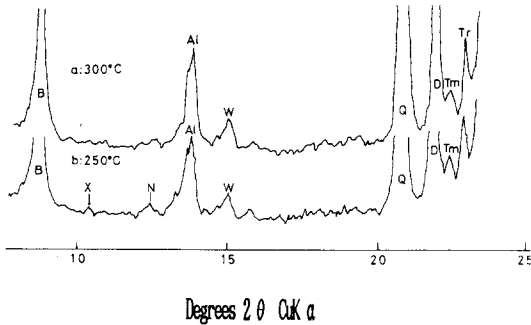


Fig. 9. X-ray diffraction profiles( Reaction time : 1hr)  
 Symbols : Al: Albite, B: Biotite, D: Dravite, N: Nontrite, Q: Quartz, Tm: Tobermorite, Tr: Tephroite, W: Weberite, X: Xonotlite.

는 종래의 연구결과<sup>10)</sup>를 감안해 볼 때, 250°C 조건에서의 수열실험중 발생한 Xonotlie는 고화체의 강도를 저하시키는 화합물로서 작용한 것으로 판단된다. 또한 반응온도의 차이와 無關係하게 Tobermorite가 혼재하고 있는 것은 수열실험동안 용해된 원소들과 Ca<sup>2+</sup>의 이온은 溶解後, Silicate이온과 반응하여 Calcium silicate hydrate를 형성하기 때문에 반응온도의 차이에 관계없이 共存하는 것으로 생각된다.

4-2. 유지시간이 고화체의 기계적 성질에 미치는 영향

위에서 언급한 것처럼, 반응온도가 300°C 조건에서 고화체의 인장강도와 밀도가 가장 큰 값을 보였기 때문에, 이 조건에서 유지시간이 기계적성질에 어떠한 영향을 미치는지를 고찰해 보기로 한다.

그림 10은 유지시간과 고화체의 인장강도와 의 관계를 보인 것이다. 유지시간이 30분일 경우에는 인장강도가 2.95MPa로서 최대치를 보이다가, 60분일 경우에는 5.12MPa로서 최대값을 나타내지만, 유지시간이 90분, 120분으로 길어짐에 따라 강도가 약간 감소하고 있다.

그림 11은 상기의 각 조건에서 얻어진 고화체들의 밀도, 인장강도 및 유지시간과의 관계를 보인 것이다. 유지시간이 30분에서 60분으로 길어짐에 따라 밀도와 인장강도는 공히 증가하고 있지만, 90분, 120분으로 유지시간이 더 길어짐에 따라 밀도 및 인장강도는 적으나마 감소하고 있음을 알 수 있다. 유지시

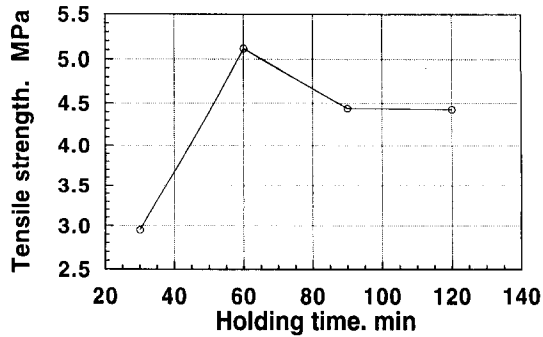


Fig. 10. Relationship between tensile strength and holding time for granite at 300°C

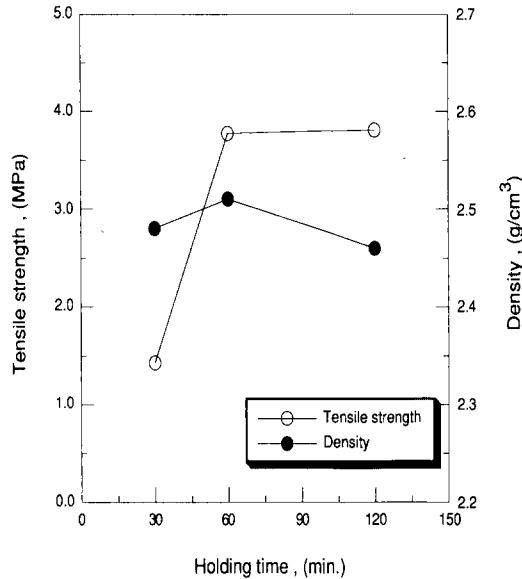


Fig. 11. Relations of tensile strength, density and holding time for granite at 300°C

간이 30분일 경우에는 암석 분말들의 반응층이 얇고, 입자와 입자사이의 결합이 원활하지 못하기 때문에 기공이 많이 존재하여서 밀도가 가장 낮고, 아울러 인장강도도 떨어지는 것으로 판단된다. 그러나 유지시간이 1시간을 넘어 90분 이상이 되었을 때는 기공의 농도는 감소하겠지만, 1시간인 경우에는 달리 인장강도가 떨어지고 있는 것은 비교적 긴 시간 동안 각종 화합물이 생성되어 이들이 강도를 떨어뜨리는 주된 역할을 하였을 것으로 생각 된다.

그림 12는 유지시간이 30분 및 120분인 경

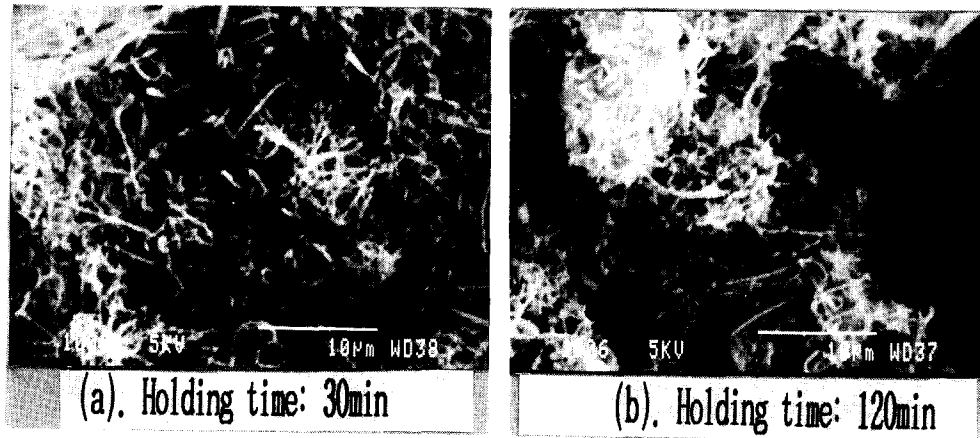


Fig. 12. SEM Observation of fractured surfaces (Holding time : 30min., 120min., Temp. : 300°C)

우의 고화체 파면을 보인 그림이다. 우선 30분인 경우를 살펴보면, 입자간의 결합이 원활하게 이루어지고 있지 않고 있음을 확인할 수 있으며, 섬유상의 물질이 균상을 이루면서 분포되고 있는 양상을 보이고 있다. 유지시간이 비교적 긴 120분의 파면을 관찰해 보면, 기공의 농도가 30분의 경우에 비해 현저히 줄어든 상태이며, 또한 섬유상의 물질이 30분의 경우에 비해 비교적 고르게 분포되어 있음을 볼 수 있다. 이상의 파면사진의 결과는 유지시간에 따라 기계적성질에 왜 변화하는가를 잘 뒷받침해주고 있다.

그림 13은 유지시간동안 어떠한 화합물이 생성되었는지를 알아보기 위해 X선 회절실험

을 실시한 결과이다. 우선 30분 수열실험을 실시했을 때에는 Xonotlite가 생성되지 않았으며, 그 대신 Okenite 및 Talc가 생성되었다. 이같은 사실로 미루어 보았을 때, Xonotlite의 형성이 강도를 저하시키는 화합물로 알려져 있으나, Talc의 생성도 강도를 저하시키는 화합물로서 작용한 것으로 여겨진다. 이에 대해 수열실험을 2시간동안 실시했을 경우에는 소량의 Xonotlite와 더불어 Talc의 화합물이 생성되었다. 유지시간이 1시간인 조건에서 얻어진 고화체의 인장강도에 비해 2시간인 경우, 인장강도가 낮아지고 있는 것은 이들 화합물에 기인하는 것으로 생각된다.

### 5. 결 론

화강암 폐재를 대상으로 반응온도 및 유지시간을 변화시키면서 水熱 Hot press 실험을 통해 고화체를 얻은 후, 강도실험을 실시하였다. 이어 고화체의 기구해석을 위해 주사전자현미경에 의해 파면을 관찰하였으며, 수열실험동안 생성된 화합물을 찾아내기 위해 X선 회절실험을 실시하였다. 이상의 각종 실험에서 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. 화강암 폐재를 대상으로 수열실험을 실시했을 때, 고화체가 얻어졌으며, 반응온도 300°C, 維持時間이 1시간인 조건에서 최대강도치를 보였다.
2. 반응온도가 높아짐에 따라 밀도와 인장강도는 증가하였다. 하지만 유지시간을 달리했을 경우, 30분에서 1시간까지는 밀도와 함께 인장강도도 증가하지만, 90분, 120분으로

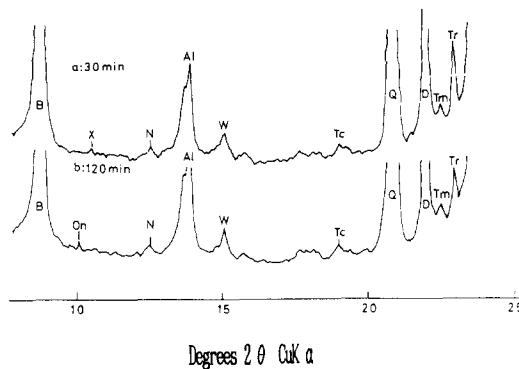


Fig. 13. X-ray diffraction profiles (Reaction temp. : 300°C)

Symbols : Al : Albite, B : Biotite, D : Dravite, N : Nontrite, On : Okenite, Q : Quartz, Tc : Talc, Tm : Tobermolite, Tr : Tephroite, W : Weberite, X : Xonotlite.



유지시간을 길게 할수록 밀도와 인장강도는 감소하였다.

3. 300°C, 1시간의 수열실험조건에서 얻어진 고화체의 파면은 板狀의 결정이 잘 성장하였고, 그 外의 파면에서는 섬유상의 물질이 파면전체에 걸쳐 분포되어 있었다. 또한 입자간의 결합의 정도는 수열온도에 따라 현저하게 다른 양상을 보였다.

4. 수열실험동안 生成된 화합물은 다양했으며, 그 중에서 Xonotlite 및 Talc는 고화체의 강도를 저하시키는 주된 화합물이었다.

### 감사의 글

본 연구를 수행하는 과정에서 도움을 주신 일본, 동북대학 자원공학과 소속 日野, 대학원생 木村에게 감사를 드립니다.

### 6. 참고문헌

1. 西岡 守, 山崎 伸道, 水熱ホットプレスによるコミウエイストリソ스, 24, 7-11 (1991).
2. 山崎 伸道, 西岡 守, 水熱ホット프레스의 原理と装置, 니코-세라믹스, 10, 81-86, (1989).
3. 山崎 伸道, 西岡 守, 各種無機粉末の水熱 固化體, 니코-세라믹스, 12, 67-71, (1989).
4. F.G. Smith, Physical Chemistry, 335, Addition-Wesley, (1963).
5. 南基庠, 花崗岩類의 風化現象에 있어서 主要成分의 相對的移動, 全北大學校 師範大學 論文集, 第3輯, 73-78, 1977.
6. 丹翌, 義次監修, 崗岩力學入門, 東京大學 出版會, 124.
7. 日本機械學會編, 崗岩力學とその應用, 20-21, 1989,
8. 中根 裕司, 水熱ホットプレス法による 콘크리트廢材의 固化體合成及び評價技術의 開發に關する研究. 東北大學 修士學位論文, 1994.
9. K. Hosoi, S. Kawaki, N. Yamasaki, Densification Process for Spherical Glass Powders with the Same Particle Size by Hydrothermal Hot Pressing. Journal of Materials Science, 26, 6448-6452, (1991).
10. 鈴木 一孝ほか, 成因의 異なる石英의 石炭と 水熱反應性, 窯業協會誌, 85, 9-17, (1977).