

암석폐재의 고화체 합성 기술의 개발과 고화기구의 평가에 관한 연구

나의균* · 유효선** · 정세희**

*군산대학교 공과대학 기계공학부

**전북대학교 공과대학 기계공학부

Study on the Technique Development for the Solidified Body of Rock Waste and Evaluation of the Solidification Mechanisms

Euigyun Na, Hyosun Yu, and Sehi Chung

*School of Mechanical Eng., Kunsan National University, Kunsan 573-360

**School of Mechanical Eng., Chonbuk National University, Chonbuk 560-756

(1996년 11월 26일 받음, 1997년 1월 7일 최종수정본 받음)

초 록 본 연구에서는 암석폐재를 대상으로 직경이 60mm인 고화체를 얻을 수 있는 수열 hot press장치를 개발하였고, 고형화를 위한 최적조건을 찾아내는 내용을 다루었다. 이어 고화체의 기계적 성질을 평가하였고, 고화기구와 미시적 파괴거동을 규명하기 위하여 SEM관찰 및 음향방출실험을 실시하였다. 고형화를 위한 최적조건은 NaOH용액이 10wt%, 수열온도가 300°C이고, 유지시간이 1시간이었다. 또한 수열반응동안에 다양한 제 2화합물들이 생성되었으며, 이들은 고화체의 기계적 성질에 큰 영향을 미쳤다. 아울러 원석의 경우에는 AE Counts가 초기하중에서부터 나타났으나, 고화체는 초기하중에서 전혀 AE Counts가 검출되지 않았다. 이와같은 사실로부터 수열 hot press법에 의해 얻어진 고화체는 원석과는 다르게 암석 입자간의 결합이 보다 치밀하게 이루어지고 있음을 유추할 수 있다.

Abstract The hot press apparatus to obtain the solidified rocks with 60mm of diameter against rock waste was developed, and the optimum conditions for solidification was presented. Strength of the solidified rocks was evaluated, and then SEM observation and AE test were conducted in order to verify the solidification mechanisms as well as microscopic fracture behaviours of the solidified rocks.

The optimum conditions for the solidified rocks against amphibole were 300°C of hot pressing temperature and 1 hr of holding time in 10wt% of NaOH solution. Various kinds of the second products were formed during hot pressing, and these second products had great influence on the strength of the solidified rocks. In addition, AE counts of the original rock appeared at the initial load. However, AE counts of the solidified rocks were not produced at the initial load. Frequency of AE counts is the highest at the maximum load. From these facts, it can be presumed that solidified rocks obtained by a hydrothermal hot press are bonded between elements stronger than the original rock.

1. 서 론

각섬석은 고온에서 열적 성질이 우수하고, 고유의 색깔을 띠고 있기 때문에 각종 주방기구용품 및 공예품의 재료로서 널리 이용되고 있다. 그런데 이들 제품을 석재공장에서 절삭에 의해 가공할 때 분말형태의 암석폐기물이 다량 발생하게 된다. 원래 암석폐기물은 폐기물 처리시설에서 암석가루와 물로 분류하여 물은 하천에 흘려보내고 암석가루는 일정 구역에 매립하도록 되어 있다.

현재 불연소성 산업폐기물의 일종인 각섬석 폐기물의 처리는 여러 가지 사정에 의해 산간지방의 도로변이나 적당한 구역에 쌓아 두어 방치하는 형식을 채택하고 있다. 그 결과, 산간지방의 주위 경관을 크게 훼손시킬 뿐만 아니라, 환경을 크게 오염시키고 있다.

따라서 암석폐기물과 같은 환경오염원을 제거하여 쾌적

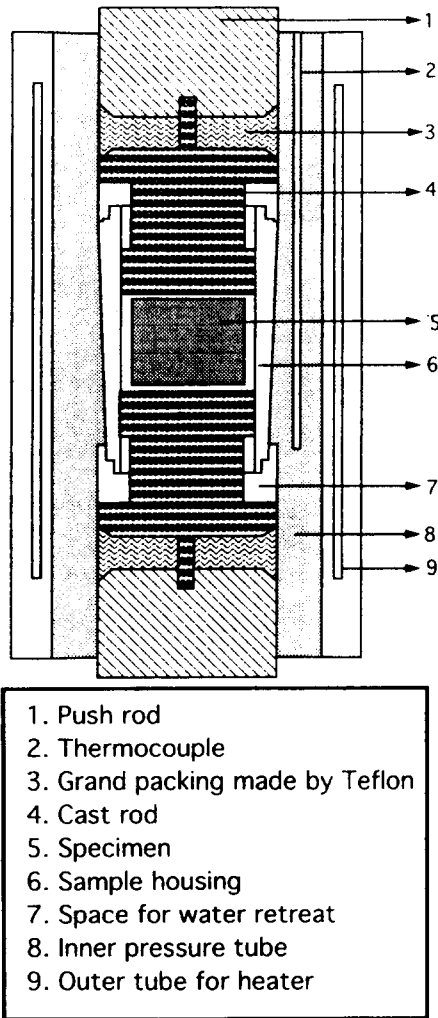
한 환경을 보호하기 위해서는 암석폐기물을 제 2의 자원으로 적극적으 로 재활용할 필요가 있으며, 이를 위한 기술의 개발이 요구되는 실정이어서 저자 등은 이와 관련된 연구를 지속적으로 해 오고 있다^{1, 2)}.

본 연구에서는 직경이 60mm인 고화체를 얻을 수 있는 수열 hot press장치를 개발하고, 이어 분말형태의 각섬석 폐기물을 고형화시켜서 고강도 고화체합성을 위한 최적조건을 찾아내고자 한다. 또한 비파괴 실험의 일종인 음향방출(Acoustic emission: AE) 실험을 실시하여 고화체 내부로부터 발생하는 음향파를 파악함으로써 고화체의 미시적 조직구조의 변화와 파괴과정을 규명하고, 주사전자현미경(SEM)에 의한 고화체의 파단면 관찰 및 X선 회절실험 등에 의해 고화기구를 규명함으로써 각섬석 폐기물의 고화를 위한 제조기술을 확립하고자 한다.

Table 1. Chemical compositions

(Wt %)

Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	FeO	K ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O
10.71	13.19	7.51	20.18	0.85	44.86	8.55	0.21	0.14	0.61	0.09	0.14



- 1. Push rod
- 2. Thermocouple
- 3. Grand packing made by Teflon
- 4. Cast rod
- 5. Specimen
- 6. Sample housing
- 7. Space for water retreat
- 8. Inner pressure tube
- 9. Outer tube for heater

Fig. 1. Cross sectioned view for hydrothermal hot pressing apparatus

2. 실험 방법

수열 hot press장치

본 연구에서 사용된 수열 hot press장치는 전보의 장치^{1,2)} (직경이 30mm)와는 다르게 직경이 60mm이고, 온도를 400℃까지 올릴 수 있는 autoclave로서 자체적으로 설계, 제작하였다. 본 장치의 특징은 그림1에서 볼 수 있는 바와 같이, 안쪽에 위치하는 통(inner pressure tube)에 약간의 테이퍼를 주었다는 점이다. 암석분말과 장치를 구성하고 있는 금속재료(장치를 구성하고 있는 부재들의 치수가 다름) 사이에 열팽창계수가 다르고, 이에 따라 냉각되는 과정에서 고화체가 tube의 내벽에 아주 강하게 밀착되며, sample housing 또한 tube의 내벽에 밀착되기 때문에 장치로부터 sample housing이 용이하게 빠지도록 하기 위해서는 테이퍼를 주는 것이 절대적으로 필요하다. 또한, sample housing으로부터 고화체를 빼내는 과정에서 고화체와 housing

사이의 마찰력에 의해 발생하는 housing내벽의 마모량을 줄이기 위하여 sample housing을 대상으로 질화처리를 실시하였다. 아울러 수열실험동안 시료로부터 압착되어 나오는 고압증기가 머물도록 하기 위한 공간은 cast rod에 홈을 가공하여 확보하였으며, 이 공간은 수열실험동안 시료중의 수분을 조절하기 때문에 암석폐재가 고화체로 형성되는 과정에서 대단히 중요한 역할을 한다. 또 다른 특징은 직경이 두 배로 커짐에 따라 내부의 고압유체에 대한 누수방지 및 안전성에 대한 배려를 하였으며, 이를 위해 push rod와 cast rod사이에 테프론을 끼어 넣었다. 실험중에 테프론은 상, 하로부터의 압력과 상승된 온도에 의해 변형되어 내부에서 발생하는 고온증기의 누설을 방지시켜 고화반응중의 시료를 수열상태로 유지시키는 역할을 한다^{3,4,5)}.

고화체의 합성

본 실험에 사용된 시료는 석재가공단지에서 채취한 분말형 각섬석 폐기물(입도:90~106µm)이다. 표1은 각섬석 원석의 주된 화학적조성을 나타낸 것으로서, 산화규소와 산화알루미늄이 전체 성분의 약 55% 정도를 차지하고 있다.

실험은 무게 250g의 암석분말에 NaOH용액(농도: 10ml/l)을 25cc(10wt%)와 50cc(wt%)를 가하고 난 다음, 잘 혼합하여 장치에 제공되었다. NaOH용액을 선택하게 된 이유는 각섬석이 초염기성 암석으로서 성분 중에 산화규소, 산화알루미늄, 산화나트륨 및 산화칼륨 등, 알칼리성 원소가 많이 함유되어 있고, NaOH용액은 고온에서 이들 원소의 용해를 촉진시키기 때문이다¹⁾. 이상에서 만들어진 시료를 sample housing의 안쪽 압력관의 중앙에 위치하도록 한 후, 용량 100톤의 만능시험기를 이용하여 40MPa까지 냉간압력(cold pressing)을 가하고 난 다음, 소정의 온도까지 온도를 상승시켰다. 온도를 올리는 과정이나, 유지시간동안에 일축압력 40MPa를 반응시간동안 일정하게 유지되도록 하중제어 실험을 실시하였다. 수열온도는 온도상승속도를 9℃/min로 하여 250℃, 300℃ 및 350℃에서 0.5시간, 1시간 및 2시간동안 유지시킨 다음, 서냉시킨 후, 약 100℃부근에서 수열 hot press장치로부터 고화체를 빼내었다.

고화체의 강도 평가 및 미시관찰

언어진 원반상의 고화체를 에머리지 #800까지 연마를 실시한 다음, 그림2와 같은 장치에 의해 압열실험(Brazilian test)을 실시하였으며⁵⁾, 실험시 cross head의 속도는 0.2mm/min로 하였다. 구해진 파단하중(최대하중)을 다음식에 대입하여 강도 σ_r 를 산출하였다.

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

여기서, P_{max} : 최대하중, d: 시험편 직경, t: 시험편 두께, π : 원주율

한편, 고화체의 고화기구와 미시적 조직구조의 변화 및

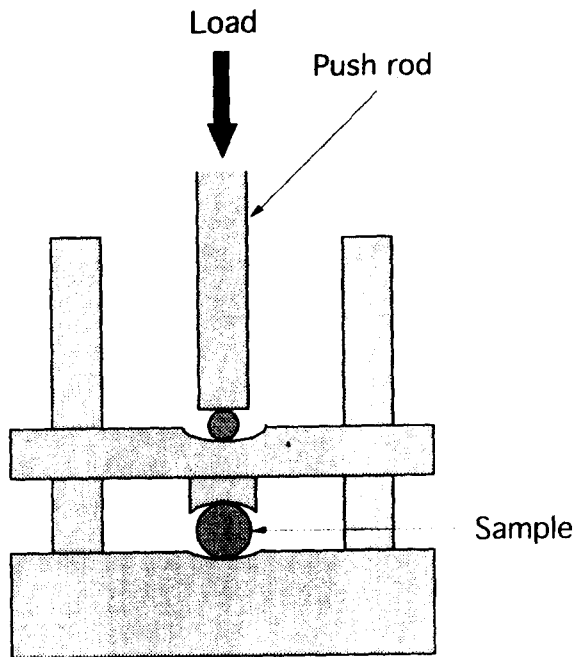


Fig. 2. Schematic diagram of Brazilian test

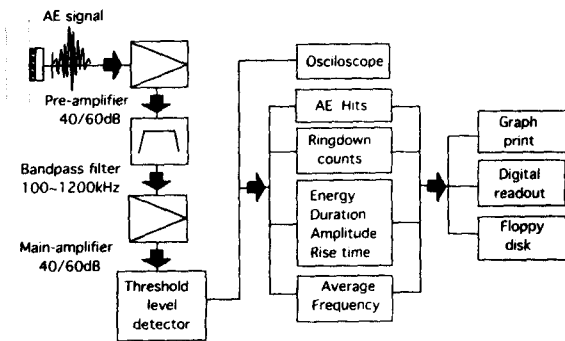


Fig. 3. Schematic block diagram for the AE signal process

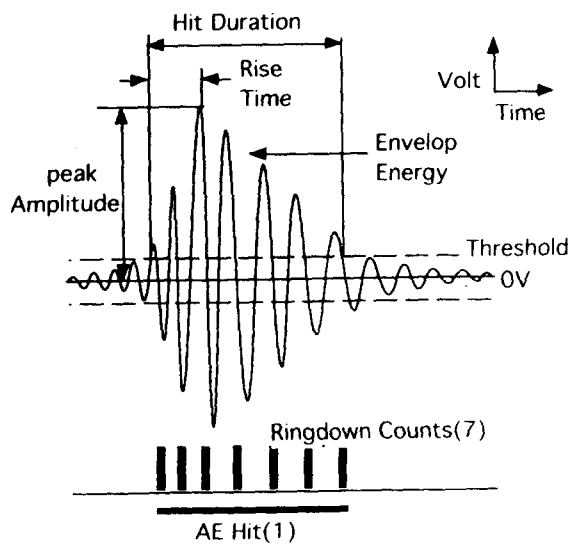


Fig. 4. The waveform of AE signal

파괴과정을 규명하기 위하여 파단된 시험편을 대상으로 SEM관찰과 X선 회절실험 및 AE실험을 실시하였다.

그림3은 AE계측장치를 나타낸 것으로서 변환자(trans-

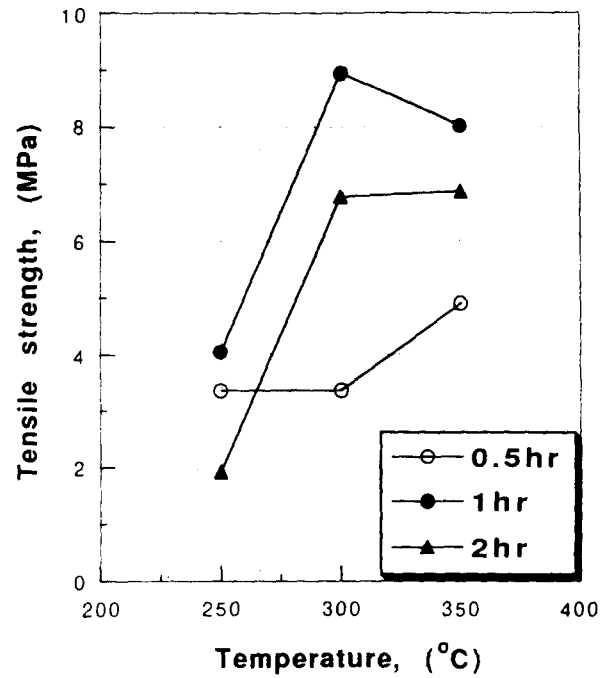


Fig. 5. Relationship between temperature and tensile strength of the solidified rocks with 10wt% NaOH solution

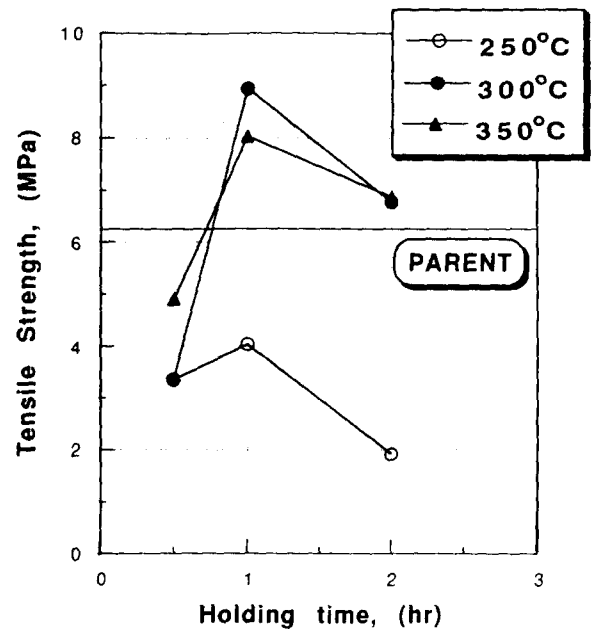
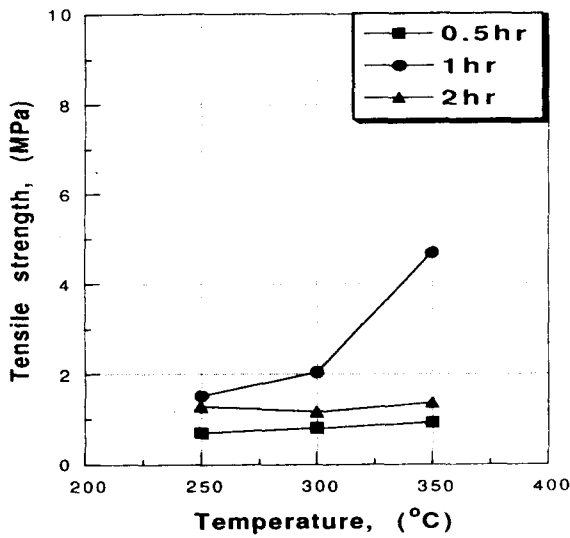
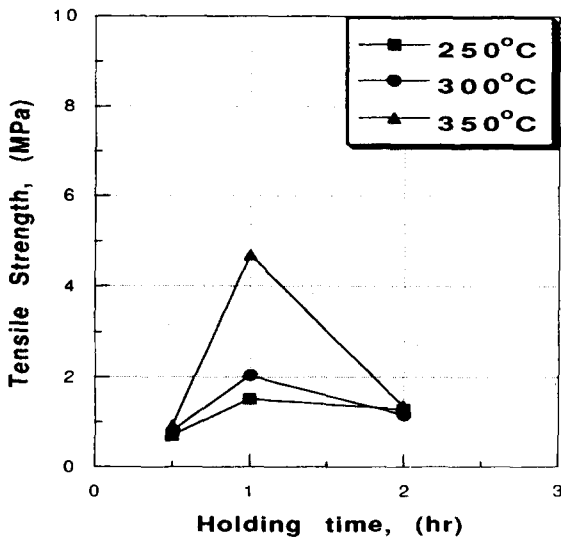


Fig. 6. Relationship between holding time and tensile strength of the solidified rocks with 10wt% NaOH solution

ducer), 신호증폭기, 신호계수기(counter) 및 컴퓨터로 구성되어 있다. 변환자는 광대역센서인 UT-1000 형태를 이용하였으며, 변환자를 고화체의 표면에 부착할 때, 센서 사이에 공기층이 존재하면 수신 감도가 현저히 떨어지기 때문에 이를 방지하기 위하여 접촉매질로서 글리세린을 이용하였다. gain은 예증폭기의 60dB와 주증폭기의 20dB를 합하여 80dB로 하였으며, threshold는 47dB로 하였다. AE 신호 파형의 계수방법에는 RMS voltage, ring-down counts, AE event counts, peak amplitude, energy, event duration 및 rise time 등이 있으나, 본 연구에서는 event



(a) Temperature effect



(b) Holding time effect

Fig. 7. Relationship between temperature, holding time and strength of the solidified rocks with 20wt% NaOH solution

계수법을 이용하였다. AE신호 파형의 처리방법은 그림4에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

수열조건이 고화체의 기계적 성질에 미치는 영향

그림5는 NaOH용액이 10wt%이고, 유지시간이 0.5, 1 및 2시간에서 고화체의 수열온도와 강도와의 관계를 보인 것이다. 우선 유지시간이 1시간 및 2시간인 고화체는 수열온도가 250°C에서 300°C로 높아질수록 강도는 증가하지만, 300°C에서 350°C로 더 높아짐에 따라 강도가 떨어지고 있음을 볼 수 있다. 이와같은 결과를 물의 이온 적과 수열온도와의 관계와 관련시켜 볼 필요가 있다. 즉, 물의 이온 적은 밀폐된 공간에서 수열온도가 300°C에서 가장 많고, 용해 및 가수분해가 최대가 되며, 그 이상으로 온도가



(a) X1000



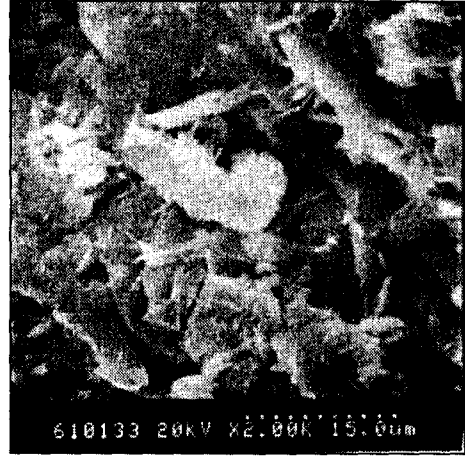
(b) X2000

Fig. 8. SEM observation of parent

높아짐에 따라 이들 성질이 감소한다고 하였다⁶⁾. 이와같은 사실을 근거로 하여, 실험결과를 고찰하여 보기로 한다. 온도가 250°C로서 낮은 경우에는 분말을 구성하고 있는 각종 입자표면의 반응층이 얇고, 원소들의 결합이 원활하지 못하지만, 수열온도가 300°C로 높아짐에 따라 용해 및 가수분해의 현상이 활발하게 이루어지면서 반응층이 두꺼워질 것으로 사료된다. Hosoi 등에 의하면⁷⁾, 300°C 근처에서 각종 이온(Na⁺, K⁺, Si⁴⁺, Al³⁺ 등)들이 방출되며, NaOH로부터 분해되어 나온 OH⁻는 Si-O-Si 및 Al-O-Al의 결합을 쉽게 깨뜨리고, 규산염이온이 용해되어 분말입자간의 결합이 활발하게 진행된다고 하였다. 이와같은 연구결과를 본 연구에 적용시켜 보면, 온도가 높아질수록 입자표면의 용해된 층이 보다 두꺼워지고, 각종 이온들이 방출된 상태에서



(a) 300°C 0.5hr, NaOH 10wt%



(b) 300°C 1hr, NaOH 10wt%



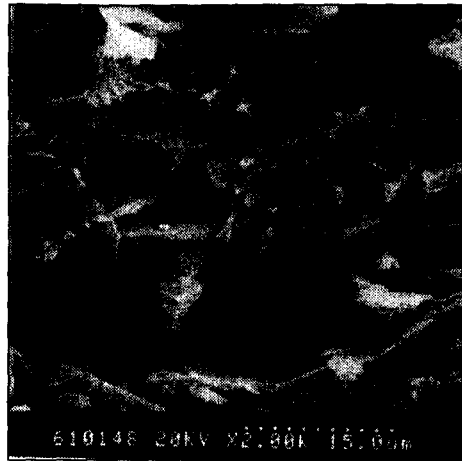
(c) 300°C 2hr, NaOH 10wt%



(d) 300°C 0.5hr, NaOH 20wt%



(e) 300°C 1hr, NaOH 20wt%

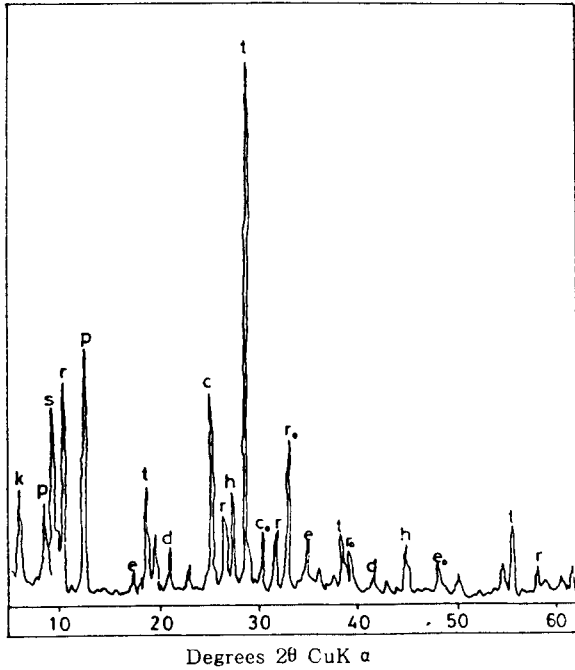


(f) 250°C 2hr, NaOH 20wt%

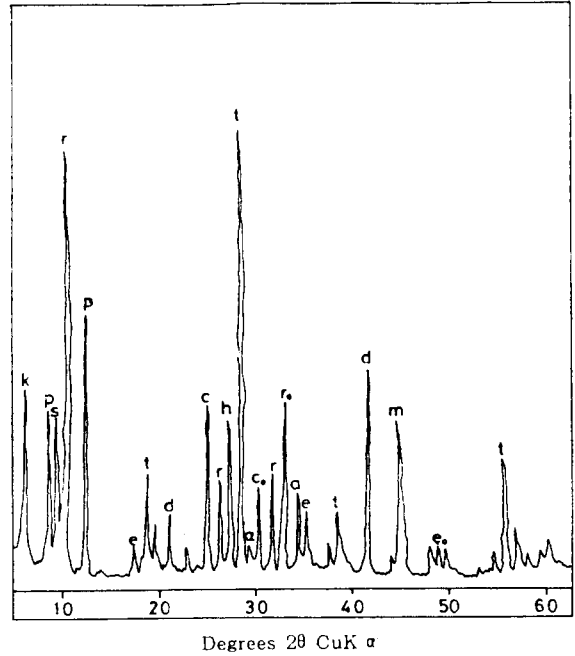
Fig. 9. SEM observation of the fractured surfaces with NaOH 10wt% and 20wt% solution

기계적인 압력에 의해 입자간의 결합이 더욱 원활하게 이루어지기 때문에 고화체의 강도가 250°C에 비해 높아진 것으로 사료된다. 하지만 수열온도가 350°C로 높아지더라도 입자들의 용해반응 및 가수분해의 능력이 300°C에 비해 떨어

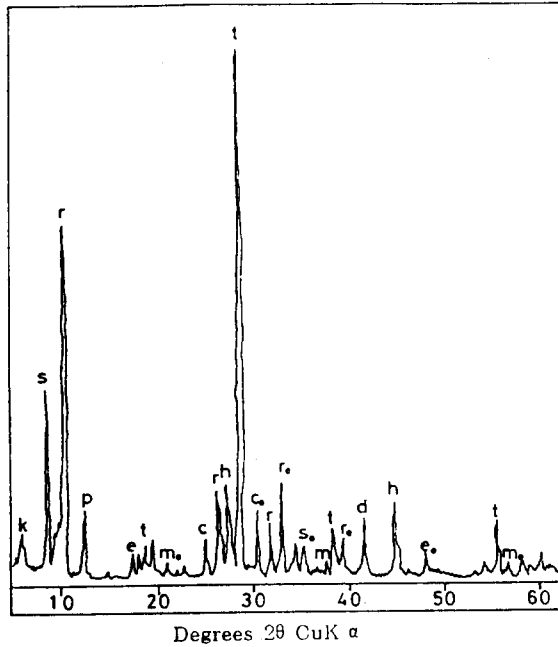
지기 때문에 강도가 오히려 감소되는 것으로 여겨진다. 그런데 유지시간이 0.5시간인 고화체는 상기와 같은 수열반응이 일어날 수 있는 시간적 여유가 불충분하기 때문에 반응온도가 350°C에서 가장 높은 강도 값을 보이는 것으로



(a) parent
 k:Kuzulite, p:Pargasite, e:Edenite, c:Corrensite, h:Hastingsite, t: Tremolite, e_o:Eckermannite, c_o:Crossite, r:Riebeckite, d: Dashkesanite, r_o:Rhodesite, s:Saponite



(b) Solidified rock with NaOH 20wt% solution(250°C, 2hr)
 k:Kuzulite, p:Pargasite, e:Edenite, c:Corrensite, h:Hastingsite, t: Tremolite, e_o:Eckermannite, c_o:Crossite, a:Arfvedsonite, r: Riebeckite, d:Dashkesanite, m:Magnesoriebeckite, r_o:Rhodesite, s:Saponite



(c) Solidified rock with NaOH 10wt% solution(300°C, 1hr)
 k:Kuzulite, p:Pargasite, s:Saponite, s_o:Silhydorite, c:Corrensite, h:Hastingsite, t:Tremolite, e_o:Eckermannite, c_o:Crossite, r:Riebeckite, d:Dashkesanite, r_o:Rhodesite, m:Magnesoriebeckite, m_o:Magnetiohornblende
 Fig. 10. X-ray diffractometer test results

생각된다.

그림6은 NaOH 용액이 10wt% 이고, 각각의 수열온도에 서 유지시간과 강도와의 관계를 보인 것이다. 유지시간이 0.5시간에서 1시간으로 길어짐에 따라 강도는 현저히 증가 하는 경향을 보이며, 유지시간이 1시간에서 2시간으로 더 길어짐에 따라 강도는 감소하고 있음을 볼 수 있다. 이는

유지시간이 길어짐에 따라 수열반응에 의해 생성된 제2의 화합물이 고화체의 강도를 떨어뜨리는 결과를 초래한 것으로 생각된다. 이상의 결과는 화강암폐재를 대상으로 한 연구결과와 일치한다²⁾. 여기서 특이할 만한 사실은 수열온도가 300°C와 350°C이고, 유지시간이 1시간과 2시간인 실험조건에서는 원석보다 높은 강도의 고화체가 얻어졌다는

점이다.

그림7은 NaOH용액이 20wt%일 때, 각각의 수열온도에서 유지시간과 강도와와의 관계를 보인 것이다. 동일 실험조건에서 NaOH용액이 20wt%인 경우가 앞선 10wt%인 고화체에 비하여 강도가 현저히 작게 나타났다. 이와같은 결과는 용액의 양이 많아질수록 고화체의 내부에는 수분이 상당히 존재하게 되고, 그 결과, 고화체의 강도가 저하되는 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 각섬석 폐재의 고화를 위한 최적조건은 수열온도가 300°C이고, 유지시간이 1시간 및 NaOH용액이 10wt%이었으며, 고화체의 강도는 수열온도, 유지시간 및 용액의 양에 따라 각기 다른 결과를 보였다. 이와같이 실험조건에 따라 서로 다른 기계적 성질이 왜 발생하고, 고화기구가 구체적으로 어떻게 되는지를 규명하기 위하여 주사전자현미경(SEM)에 의해 파단면을 관찰하여 보았다.

그림8은 원석의 파면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다. 파면의 형성이 방향성을 가지면서 취성파면의 형태인 전형적인 벽개파면의 양상을 보이고 있으며, 금속파면과는 달리 파면에 부분적으로 기공이 존재하여서 암석자체가 불연속재료임을 확인할 수 있다.

그림9는 NaOH용액이 10wt%이고, 수열온도가 300°C 및 유지시간이 0.5시간인 경우, 고화체의 파단면을 보인 것이다. 이 조건에서는 암석을 구성하고 있는 입자간에 결합이 충분히 이루어지지 않기 때문에 파단면의 전반에 걸쳐 기공(blow hole)이 많이 존재하고 있음을 볼 수 있으며, 이들 기공들은 고화체의 강도의 저하를 초래하는 주 원인으로 작용한 것으로 사료된다. 그러나 고화체의 강도가 원석에 비해 보다 높게 나타난 300°C, 1시간 및 350°C, 1시간인 경우의 파단면을 보면, 0.5시간인 경우와는 다르게 파면전반에 걸쳐 기공율이 현저히 줄어들고 있음을 확인할 수 있다. 반면, NaOH용액이 20wt%인 경우, 수열온도가 300°C이고, 유지시간이 0.5시간인 고화체는 암석입자들이 치밀하게 다져져 있는 상태에서 어떤 면을 따라 취성적인 파괴를 하고 있음을 볼 수 있다. 또한 온도가 300°C이고, 유지시간이 1시간인 고화체의 파괴는 고화된 결정체가 부분적으로 분리되어 파괴되는 양상을 보이고 있으며, 수열온도가 250°C이고, 유지시간이 2시간인 고화체의 파면에는 전반적으로 섬유형태의 물질이 다량 존재하고 있음을 볼 수 있다. 이와같은 물질은 수열과정에서 생성된 제2의 화합물로 추정되며, 이들이 고화체의 강도에 영향을 미친 것으로 사료된다. 이상에서 확인할 수 있었던 것처럼, 실험조건에 따라 파면의 형태가 현저한 차이를 보였으며, 고화체의 강도는 이들 파면의 양상과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 그러나, 어떠한 경우를 막론하고, 기공의 존재는 피할 수 없다는 점이다. 그 이유는 고화체의 형성과정에서 암석을 구성하고 있는 입자들이 완전히 용융된 상태에서 고화되는 것이 아니라, 입자들의 표면이 부분적으로 용융된 상태에서 기계적인 압력에 의해 고화가 이루어지기 때문에 기공의 존재는 불가피하다고 사료된다.

X선 분석결과 및 AE거동

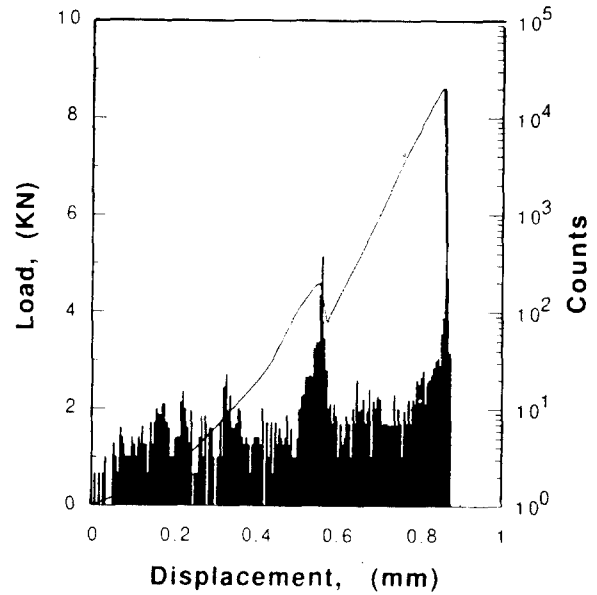


Fig. 11. AE behaviour of the parent

수열조건에서 생성된 제2의 화합물은 고화체의 기계적 성질에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다²⁾. 이에 각각의 수열조건에서 어떠한 화합물이 생성되었는지를 알아보기 위하여 X선 회절실험을 실시하였으며, 그 결과를 그림10에 보였다. 우선 원석을 구성하고 있는 광물질은 Kuzulite, Pargasite, Edenite, Corrensite, Hastingsite, Tremolite, Eckermannite(e.), Crossite(c.), Riebeckkite, Dashkesanite, Rho-desite(r.) 및 Saponite 등으로 구성되어 있다. 이와같은 광물질로 구성된 원석에 비해 고화체의 강도가 가장 작은 조건 즉, NaOH용액이 20wt%, 수열온도가 250°C 및 유지시간이 2시간인 경우에는 원석과 비교하여 볼 때, Arfvedsonite 및 Magnesioriebeckite와 같은 광물질이 형성되었으며, 이들은 수열반응동안에 생성된 제 2화합물로서 고화체의 강도를 떨어뜨리는 주된 화합물이라고 사료된다. 반면, 원석에 비해 강도가 높은 조건 즉, NaOH용액이 10wt%, 수열온도가 300°C 및 유지시간이 1시간인 경우에는 Silhydorite와 Magnesiohornblende(m.)등의 광물질이 검출되었으며, 이들 화합물들은 반대로 고화체의 강도를 높이는 주된 역할을 하였을 것으로 생각된다.

그림11은 원석의 AE거동을 보인 것이다. 본 연구에서는 AE변수 중에서 AE counts를 택하여 자료를 정리하였다. AE counts란 sensor에 도달된 신호의 시작점과 끝점이 기준치를 넘어서는 범위에서 1개의 AE 신호로 간주하는 것이다. 원석의 경우, 하중이 서서히 증가하다가 460Kg에서 최초의 pop-in현상이 나타난 후, 하중이 증가하여 최대하중에 이르고 난 다음, 암석파괴의 전형인 급작스러운 취성 파괴를 하였다. 이에 따른 AE거동을 살펴보기로 한다. 하중이 가해지는 초기에서부터 AE counts가 감지되었으며, 최초의 pop in에서 AE counts가 급증하다가 다시 하중이 증가함에 따라 AE counts가 감소하였고, 최대하중인 891.89Kg에서 pop in에 해당하는 만큼의 AE counts가 다시

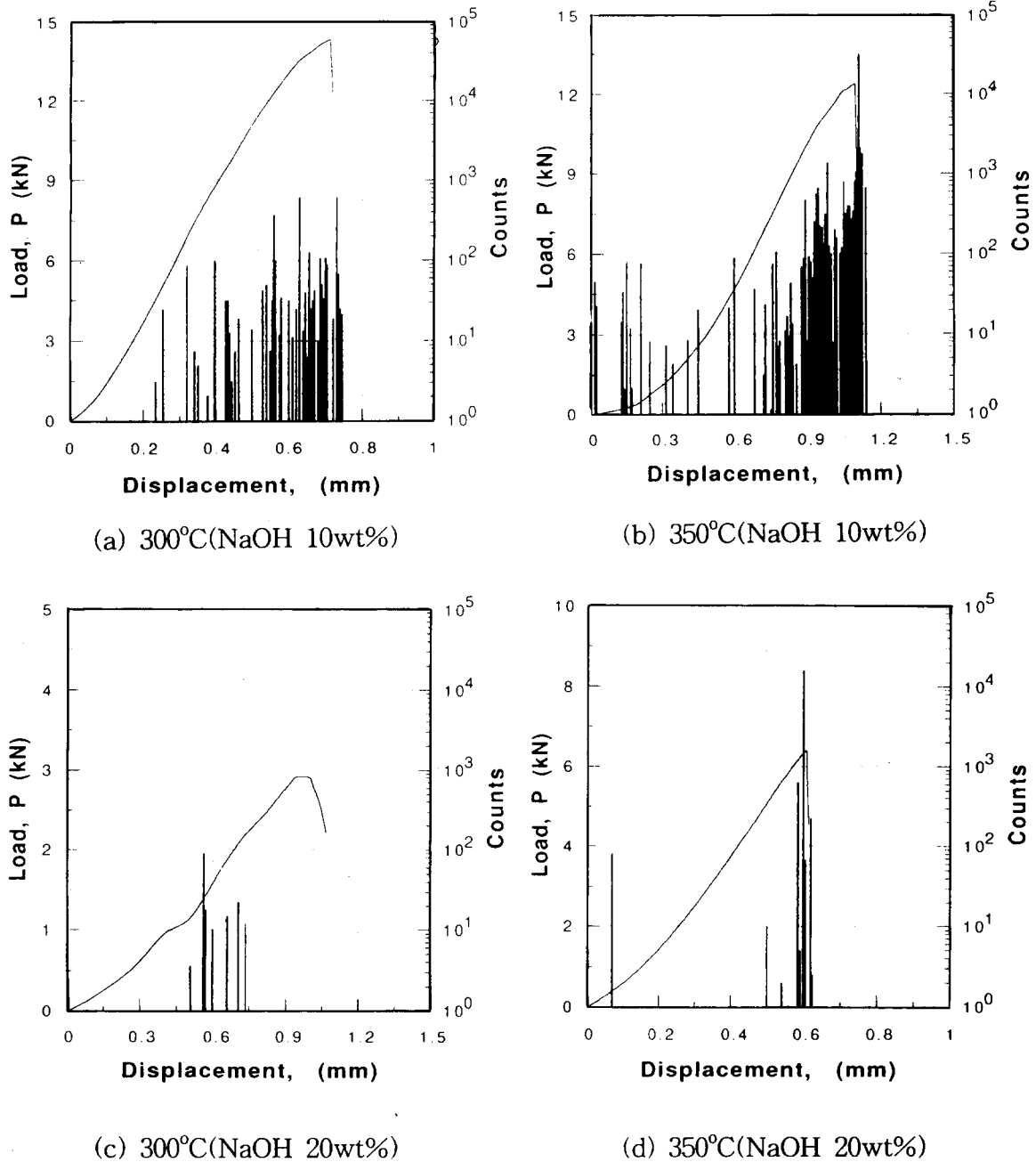


Fig. 12. AE behaviour of the solidified rocks (1 hour holding time) with 10wt% and 20 wt% NaOH solution

발생하였다. 이와같이 하중전반에 걸쳐 AE counts가 명확하게 검출되고 있는 것은 그림8에서 볼 수 있었던 것처럼, 암석고유의 특징 즉, 기공을 많이 함유하고 있다는 점과 이 방성 재료이면서 취성파괴를 하기 때문에 탄성파의 발생 및 전달이 아주 용이하기 때문이라고 사료된다.

그림12는 NaOH 용액이 10wt%, 20wt%에서 수열온도가 각각 300°C 및 350°C에서 유지시간이 1시간인 경우의 AE거동을 보인 것이다. NaOH용액의 양에 관계없이 원석과는 다르게 초기하중에서 어느 정도의 시간이 지나고 난 뒤 AE신호가 발생하여가다가, 최대하중에서 최대치를 보였다. 이는 분말입자가 높은 온도와 기계적인 압력에 의해 고화되기 때문에 원석에 비해 기공이 많이 형성되지 않고, 보다 치밀하게 고화되었기 때문이라고 생각된다. 이와같은

결과는 앞선 SEM관찰에서, 고화체의 파면의 양상이 원석에 비해 보다 치밀하게 결합되어 있음을 확인할 수 있었고, 그 결과 고화체의 AE거동이 원석과는 다른 거동을 보인 것으로 판단된다. 또한 NaOH용액이 10wt%인 고화체가 20wt%에 비해 동일 수열조건에서 보다 많은 AE counts가 발생하고 있음을 볼 수 있다. 이와같은 결과는 입자간의 결합력이 강할수록 AE 탄성파가 잘 전달되어 AE신호가 잘 검출된다는 것으로 생각되며, 이는 강도가 높으면 높을수록 AE신호의 발생빈도가 많다고 하는 일반적인 경향과 일치한다⁸⁾.

4. 결 론

각섬석 폐기물을 대상으로 하여 수열 hot press법에 의

해 고화체를 제조하였다. 아울러 고화체의 고화 및 파괴기구를 해석하기 위하여 X선 회절실험과 주사전자현미경에 의해 파면을 관찰하였으며, 고화체의 미시파괴의 거동을 알아보기 위해 음향방출실험도 실시하였다. 이상의 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 각섬석 폐재를 대상으로 직경이 60mm인 장치를 이용하여 수열 Hot press 실험을 실시했을 때, 고화체가 얻어졌으며, NaOH용액이 10wt%, 반응온도가 300°C 이고, 유지시간이 1시간인 조건에서 최대강도치를 갖는 고화체를 얻을 수 있었다.

2) 고화체의 기계적 성질은 수열조건에 의존적이었으며, 수열조건에 따라 파면의 양상이 각각 다르게 나타났다. 또한 어떠한 경우를 막론하고, 고화체의 파단면에는 기공이 존재하였다.

3) 각각의 고화체를 대상으로 X선 분석을 실시한 결과, Arfvedsonite, Magnesioriebeckite 등은 수열반응동안에 생성된 제 2화합물로서 고화체의 강도를 떨어뜨리는 주된 물질인 반면, Silhydorite와 Magnesiohornblende 등과 같은 화합물들은 고화체의 강도를 높이는 역할을 하였다.

4) 원석의 AE counts는 초기하중에서부터 검출되었으나, 고화체의 경우에는 초기하중부근에서 AE counts가 전혀 나타나지 않다가, 하중이 증가해 감에 따라 AE counts가 많아졌다. 또한 NaOH용액이 10wt%인 고화체가 20wt%인 고화체에 비해 AE counts가 보다 많이 검출되었다. 이와같은 사실로부터 수열 hot press법에 의해 얻어진 고화체는 원석과는 다르게 암석 입자간의 결합이 보다 치밀하게 이루어지고 있음을 유추할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 1995년도 교육부 지원 한국학술진흥재단의 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 나익균, 정세희, 高橋秀明, “수열 Hot Press법에 의한 화강암 폐재의 고화체 형성 및 평가기술에 관한 연구”, 한국재료학회지, 제5권, 제3호, pp.288~296, (1995).
2. 나익균, 橋田俊之, “수열 Hot press법에 의한 화강암 폐재의 고화체형성과 AE특성 평가에 관한 연구”, 한국재료학회지, 제6권, 제3호, pp.242~252, (1996).
3. 山崎 仲道, 西岡 守, ニューセラックス10, pp.82~86, (1989).
4. 山崎 仲道, 西岡 守, 各種 無機粉末の水熱固化體, ニューセラミックス12, pp.67~71, (1989).
5. 中根 裕司, “水熱ホットプレスによる法コンクリト廢材の固化體合成及び評價技術の開発に関する研究”, 修士學位論文, 東北大學 大學院, (1994).
6. F.G. Smith, Physical Chemistry, Additi-on-Wesley, pp.335~336, (1963).
7. K.Hosoi, S.Kawaki, N.Yanasaki, “Densification Process for Spherical Glass Powders with the Same Particle Size by Hydrothermal Hot Pressing”, Journal of Materials Science, pp.26~32, (1991).
8. 정희돈, “음향방출법의 공학적 이용을 위한 기초”, 대한기계학회지, 제34권, 제1호, pp.20~32, (1994).