

금속 알콕시드로 부터 유리의 합성에 관한 연구

최 석 진 · 김 별 훈
전남대학교 무기재료공학과
(1984년 3월 22일 접수)

Synthesis of Glasses from Metal Alkoxide

Soek-Jin Choi and Byung-Hoon Kim
Dept. of Inorganic Materials, Chonnam Univ.
(Received 22 March, 1984)

ABSTRACT

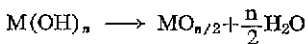
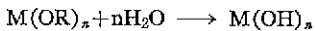
Basic research on the formation of monolithic glasses from metal alkoxide has been done concerning gelling of silicon alkoxides and dehydration of those gells.

The gelling time were increased with increasing of Carbon number of alkyl radical of alkoxide and amount of water and the lower pH value of water. Large portions of water and organic materials were removed below 250°C and shrinkage of glass took place above 800°C. Therefore heating up to 250°C and above 750°C must be done gradually with rate of 0.5°C/min.

1. 서 론

일반적으로 유리는 특수한 경우를 제외하고 대부분 분말상의 원료를 고온에서 용융하여 급냉하는 방법에 의하여 제조되고 있다.

H. Dislich¹⁾가 금속 알콕시드의 가수분해 및 탈수 증합에 의하여 겔이 얻어지고 이것을 적당히 열처리 함으로써 유리가 얻어진다는 것을 보고하였다. 이것을 반응식으로 나타내면



로 된다. 여기서 M은 금속이고 R은 알킬기이다. 이 방법은 보통의 용융법과 비교해서 몇가지 장점을 가지고 있다.

첫째, 유리의 전이점 부근의 비교적 저온에서 열처리함으로써 유리가 얻어지기 때문에 용융법에 비하여 훨씬 저온에서 유리를 얻을 수 있다. 따라서 分相이 생기거나 냉각중에 결정화하기 쉬운 유리 일지라도 이 방

법으로는 균질의 유리가 얻어질 수 있다.

둘째, 증류나 재결정등에 의해서 원료의 정제가 비교적 쉽기 때문에 용융법에 있어서 내화물로 부터 혼입되는 불순물이나 제조공정중에 혼입되는 불순물로 부터의 오염을 방지할 수 있으므로 보다 높은 순도의 유리를 얻을 수 있다. 지금까지 내알칼리 및 내열성 섬유유리²⁻⁷⁾ 보호피막 및 반사방지용 박막⁸⁻⁹⁾ 다공질재료¹⁰⁻¹³⁾, 그리고 덩어리 상태의 유리¹⁴⁻²³⁾ 등 여러가지 형태의 조성의 유리를 이 방법으로 제조하려고 노력하고 있다. 덩어리 상태의 유리를 지은 합성하는 방법에는 겔의 분말을 가열 압축해서 소성의 형태로 하는 것과 소성의 형태의 겔을 만들어서 이것을 가열하여 균열이 생기지 않도록 탈수 증합 및 기공을 제거하여 직접 유리로 하는 방법의 두 가지가 있다. 가열 압축하는 방법은 유리화 과정에서 시료가 파손될 염려는 없었지만 투과율이 높은 유리를 얻기란 매우 어렵다.

직접 겔을 소결하는 방법에는 가수분해에 의한 겔화로 부터 최종적으로 기공을 없애고 균질한 유리를 얻는데 까지에 균열이 생기거나 파손되지 않도록 엄밀한

공정 관리가 필요하다.

본 연구에서는 일반 용융범위로서는 분상이나 결정화 때문에 제조가 불가능한 조성의 유리를 제조하는 수단의 기초로서 SiO_2 의 단일 성분의 유리를 저온 합성하는데 필요한 기초적 자료를 조사하는데 그 목적을 두었으며 고화경향 및 열처리 조건 등에 대하여 검토하기로 하였다.

2. 실험

2.1 시료 제조

실리콘 알콕사이드(Silicon Alkoxide), 알콜 및 증류수를 일정량씩 취하여 삼각 플라스크에 넣고 1시간씩 교반한 후 탈형제로 진공 그리스를 내면에 칠한 유리 용기에 옮겨서 은박지로 밀봉 하였다. 예비실험결과 탈형제인 진공 그리스를 바르지 않으면 겔이 굳으면서 수축할때 깨어지기 쉽기 때문에 그리스를 얇게 발랐다. 은박지로 밀봉한 용기는 각각 일정한 온도로 유지된 건조기 속에서 숙성하여 가수분해를 촉진하였다. 가수분해가 진행되어 생성된 겔이 수축하기 시작 하였을 때 은박지에 바늘구멍을 하루 한개씩 뚫어서 알콜의 증발을 촉진시켰다. 겔의 직경이 용기의 2/3 정도까지 수축하였을 때 서서히 온도를 올려서 90°C 에서 2~3일 유지하여 알콜을 완전히 제거하였다. 일반적으로 고화가 시작후후 완전한 건조 겔을 만드는 데는 약 10일이 소요 되었다.

2.1.1 알콕사이드의 종류에 따른 고화경향

실리콘의 메톡사이드, 에톡사이드, 프로톡사이드의 세 종류를 택하였다.

알콕사이드 1mol 에 가수분해에 필요한 이론적인 물의 양인 4mol 을 넣고 물과 알콕사이드가 균일하게 혼합할 수 있도록 알콜을 첨가하였다. 사용한 알콜은 메톡사이드의 경우에는 메탄올, 에톡사이드의 경우에는 에탄올, 프로톡사이드의 경우에는 iso-프로판올을 각각 사용하였다. 또한 숙성온도는 70°C 로 하였으며 조성은 Table 1에 나타내었다. 고화시간은 용기를 흔들어도 내용물이 유동하지 않을때까지의 시간으로 하였다.

2.1.2 물의 양에 따른 고화경향

물의 양이 고화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실리콘 메톡사이드와 에톡사이드의 두 종류에 대하여 물의 양을 알콕사이드 1mol 에 대하여 1, 2, 3, 4, 8 및 16mol로 변화시켜 보았다. 이때 알콜의 양은 4.5mol로 고정 시켰다. 그러나 물이 16mol일 경우는 알콕사이드와 물의 두 액상이 서로 분리되므로 균일하게 혼합될 때까지 알콜을 여분으로 첨가하였다. 혼합이 끝난 용액은

50°C 의 건조기 속에서 숙성, 가수분해 시켰다. 용액의 조성은 Table 2에 나타내었다.

2.1.3 pH 변화에 따른 고화경향

물의 pH가 고화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실리콘 메톡사이드의 경우 조성은 Table 1의 M으로 고정하고 pH 4, 10, 10.5, 11에 대하여, 에톡사이드의 경우 조성 E로 고정하고 pH 2, 3, 5, 9, 10.5에 대하여, 고화시간을 측정하였다. 여기서 pH는 겔제조에 사용되는 물의 pH이며 증류수에 HCl 혹은 암모니아수를 적당량 넣은후 pH메타로 측정 한 값이다.

2.1.4 숙성온도에 따른 고화시간

동일조성의 시료에 있어서 숙성 온도가 고화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Table 1의 M의 조성을 30° , 50°C , 70°C 로 유지된 건조기에서 숙성하고 고화시간을 측정하였다.

2.2 열처리

건조된 겔을 탈수 증합시키기 위해서는 열처리가 필요하며 사용한 열처리 장치의 구조는 Fig. 1과 같다. 겔의 기공내에 흡착되어 있는 수분과 탈수 증합과정에 생성된 수분을 빨리 제거하기 위해서는 반응관속을 로타리 펌프로 공기를 뿜아서 진공으로 하였다. 그러나 알킬기등 미반응 유기물질의 분해를 돕기 위하여 250°C 부터 400°C 까지는 공기를 넣어 주었다¹⁶⁾. 또한 시료를 가열한 열처리 곡선은 Fig. 2에 나타냈다.

2.3 열분석

2.3.1 DTA 및 TG

겔을 열처리할 때 가열 스케줄을 대략 세우기 위하여 Shimadzu DT-20B를 사용하여 DTA와 TG 시험을 하였다. 실온에서 1000°C 까지 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 의 속도로 가열하였고 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 를 표준 물질로 공기 중에서 가열하였다.

2.3.2 적외선 분광분석

겔을 가열 할때의 탈수 증합이 어느 정도 진행 되었나를 조사하기 위하여 $100^\circ\text{C}\sim 800^\circ\text{C}$ 사이의 각 온도에서 2시간씩 유지한후 IR 스펙트럼을 측정 하였다. 열처리한 겔을 적당히 미분으로 분쇄하여 KBr 에 무게 비율 1/100로 분산하여 압축 성형한후 Shimadzu IR-430을 이용하여 400cm^{-1} 부터 4000cm^{-1} 까지의 파수 범위에서 측정 하였다.

2.3.3 진비중과 부피비중

진비중은 물을 이용하여 피크노메타법으로 측정하였으며 부피비중은 원판형의 시료를 양면이 평행하도록 연마하여 두께, 직경 및 중량으로 부터 산출 하였다.

Table 1. Composition (mol) and gelling time of solutions containing different alkoxide

Sample No.	Si-Mt	Si-Et	Si-Pr	MeOH	EtOH	PrOH	H ₂ O	gelling time (hrs)
M	1			4.5			4	1
E		1			4.5		4	4
P			1			4.5	4	336

Si-Mt : Silicon Methoxide
 Si-Et : " Ethoxide
 Si-Pr : " Propoxide
 MeOH : Methanol
 EtOH : Ethanol
 PrOH : iso-Propanol

A: Furnace
 B: Thermocouple
 C: Silica glass tube
 D: Rotary pump
 F: Sample

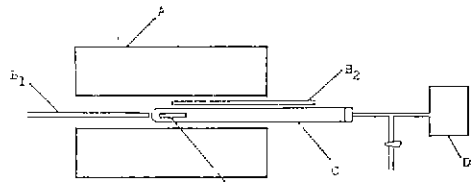


Fig. 1. Schematic diagram of heating unit

Table 2. Water content and gelling time of solution (mol. ratio)

Sample No.	Si-Mt	Si-Et	MeOH	EtOH	H ₂ O	gelling time (hrs)
MH-1	1		4.5		1	57
MH-2	1		4.5		2	13
MH-4	1		4.5		4	4.5
MH-8	1		4.5		8	2
MH-16	1		4.5		16	1
EH-1		1		4.5	1	480
EH-2		1		4.5	2	144
EH-4		1		4.5	4	54
EH-8		1		4.5	8	11
EH-16		1		4.5	16	2

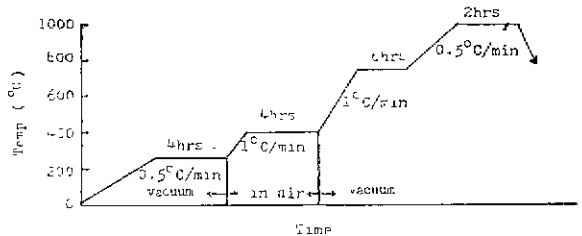


Fig. 2. Heating Schedule of gel

3. 결과 및 고찰

3.1 알콕시드의 종류에 따른 고화시간

알콕시드의 종류에 따른 고화시간은 Table 1 과 같이 알킬기의 탄소수가 클수록 고화시간은 길어졌다. 실리콘 에톡시드와 프로폭시드의 경우, 건조 겔은 미세한 입자로 케이지기 때문에 덩어리 상태의 건조 겔을 얻기 위해서는 더욱 엄격한 양생조건이 필요하다고 생각되며 실리콘-프로폭시드의 경우는 고화시간이 너무나 길어서 특별한 경우를 제외하고는 실용상 어려움이 많다고 생각된다 따라서 이후의 실험은 실리콘-메톡시드와 에톡시드의 두 종류로 범위를 좁히기로 하였다.

3.2 물의 양에 따른 고화시간

물의 양에 따른 고화시간의 변화는 Table 2 및 Fig. 3 과 같으며 실리콘-메톡시드와 에톡시드 양쪽 모두 물의 양이 감소함에 따라서 고화시간은 거의 대수함수적으로 증가하고 있다. 실리콘-알콕시드 1mol 이 완전히 가수분해하는데 필요한 이론적인 물의 양인 4mol

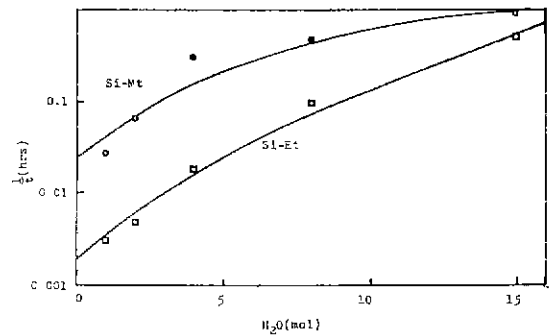


Fig. 3. Variation of gelling time with amount of H₂O

보다 적을 경우 건조 겔은 매우 투명하지만 건조가 진행됨에 따라서 직경 1~2mm 의 크기로 케이지었다. 이것은 알콕시드의 알킬기가 일부만 물과 치환되어 사슬 모양의 구조가 되기 때문이라고 생각된다²³⁾.

알콕시드 1mol 에 대한 물의 양이 4mol 보다 많을

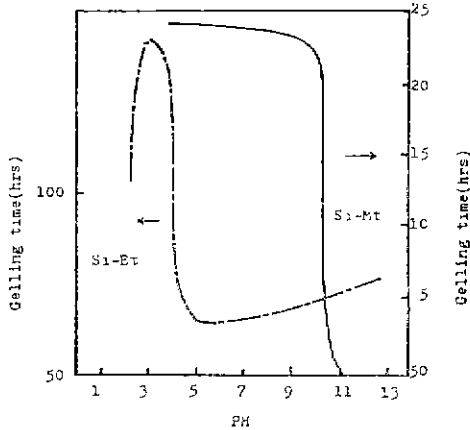


Fig. 4. Variation of gelling time with pH

경우는 고화가 빨리되며 겔은 약간 유탁되었다. 그리고 물이 16mol 인 경우는 빨리 고화되는 반면 건조과정에서 두쪽 내지 네쪽으로 깨어졌다. 이것은 필요 이상의 물때문에 부분적으로 건조 속도가 다르기 때문이라고 생각된다.

3.3 pH 변화에 대한 고화속도

pH의 변화에 의한 고화속도를 측정 한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 실리콘-메톡시드의 경우, pH 4에서 10까지는 거의 변화가 없다가 10~10.5 사이에서 고화시간이 급격히 빨라졌다. pH가 11부터 다시 완만하게 변화하고 있다¹³⁾. 이에 반해서 실리콘-에톡시드의 경우는 pH 3에서 5로 변환에 따라 고화속도가 급격히 빨라지고 있다. 이 두 경우 모두 pH가 높아짐에 따라서 건조 겔은 점차 유탁되며 메톡시드는 pH 11일때, 에톡시드는 pH 10.5일때는 완전히 유탁되어 불투명하게 되었다.

3.4 숙성온도에 따른 고화시간의 변화

숙성온도가 높을수록 고화시간이 빨라지며 부피 비중도 작아진다. 이 결과를 Table 3에 나타내었다.

이상의 결과로서 알콕시드의 종류에 따라 물의 양과 pH를 조절함으로써 고화시간을 조절할 수 있으며 다 성분계의 유리를 저온 합성할 경우 서로 다른 종류의 금속-알콕시드의 고화속도 차를 조절할 수 있다고 생각된다. 또 이 세가지 요인으로 부터 건조 겔의 부피 비중 및 기공률도 조절 가능하다. 얻어진 건조 겔의 사진을 Fig. 5에 나타내었다.

3.5 겔의 열분석

건조 겔에 대한 DTA 및 TG 결과의 예를 Fig. 6에 나타내었다. TG 곡선은 DTA 곡선에 있어서 흡열 피크에 해당하는 온도범위에서 큰 감량을 보이며 많

Table 3. Gelling time, aging temperature and specific gravity of gels

Sample No.	Aging temp. (°C)	Gelling time (hrs)	Bulk Sp. gr
MT-30	30	24	1.51
MT-50	50	4.5	1.34
MT-70	70	1	1.10

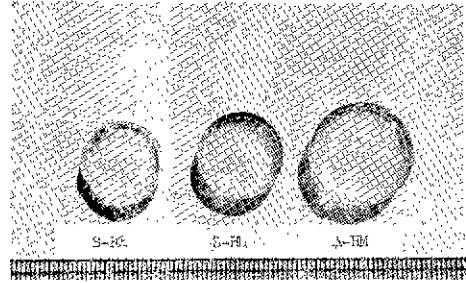


Fig. 5. Monolithic gels for Silica glass

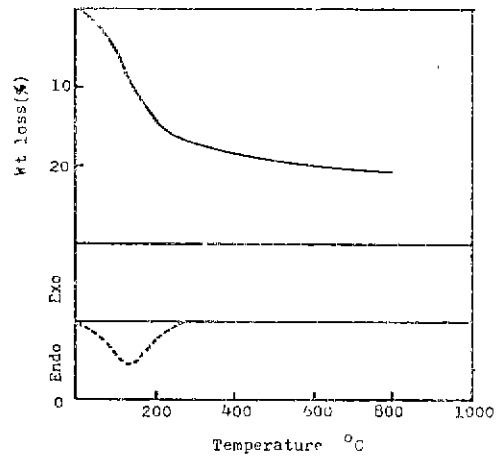


Fig. 6. DTA and TG curve of gel

은량의 물과 유기 물질이 250°C 이하에서 제거되는 것을 알 수 있다. 그러나 겔은 계속하여 조금씩 증량이 감소되고 있다. 이것은 소량 남아 있는 유기 물질이 온도 상승에 따라 조금씩 분해 및 증발하기 때문이라고 생각된다.

3.6 IR 분석 및 기공률

Fig. 2의 소성 스케줄을 결정하기 위하여 각 온도에서 2시간 열처리한 시료의 IR 흡수 곡선을 Fig. 7에 나타내었다. 온도가 높아짐에 따라서 Si-OH의 신축진동에 해당하는 960cm⁻¹의 흡수의 세기가 감소하

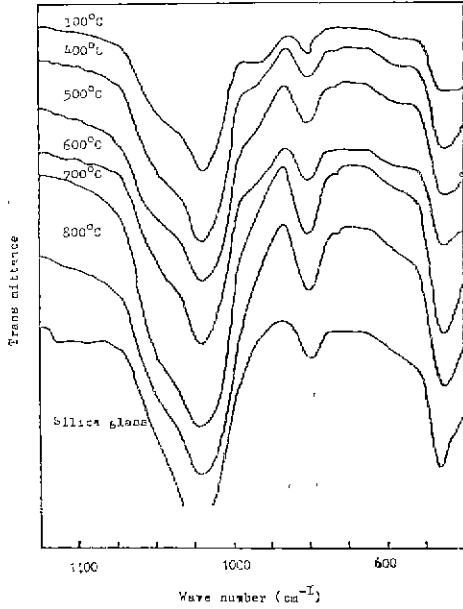


Fig. 7. IR absorption spectra of heat treated gels

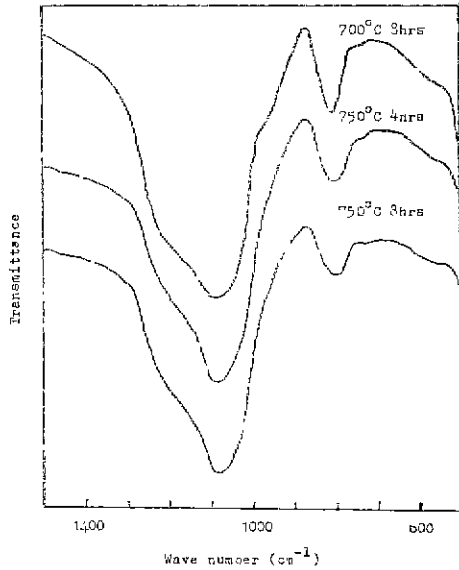


Fig. 8. IR absorption spectra of gels heat treated at 700°C and 750°C.

고 Si-O-Si의 신축에 해당되는 1100cm^{-1} 의 흡수대가 세기 때문에 960cm^{-1} 부근의 흡수대는 거의 알아 볼 수 없게 된다. 또 Si-O-Si 변각진동에 해당되는 450cm^{-1} 부근의 흡수대와 신축진동에 해당되는 800cm^{-1}

Table 4. Bulk Specific gravity and pore volume of heat treated gels

Temp (°C)	time (hrs)	Bulk Sp. gr.	pore vol (cc/g)
R. T.		1.13	0.382
400		1.25	0.332
600	0	1.35	0.276
	8	1.42	0.269
650	0	1.44	0.262
700	8	1.48	0.242
	16	1.48	0.242
	0	1.51	0.236
750	8	1.62	0.185
	16	1.64	0.177
	0	1.62	0.219
800	4	1.68	0.071
	8	1.72	0.054
850	0	1.78	0.086
900	0	1.80	0.008
1000	0	2.11	0.000

부근의 흡수대는 열처리 온도가 높아짐에 따라 점차 커지고 있다. 800°C 에서 열처리한 시료의 IR 흡수 스펙트럼은 석영유리와 매우 유사한 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 8에 나타낸 바와 같이, 700°C 에서 열처리한 시료와 750°C 에서 열처리한 시료의 IR 흡수 스펙트럼을 비교하여 보면 750°C 로 열처리한 시료에서 960cm^{-1} 의 흡수 스펙트럼이 훨씬 많이 없어지며 이 조성 스케들로 750°C 에서 4시간 열처리하면 Si-OH의 탈수반응은 800°C 미만에서 거의 끝나는 것으로 보인다. 그러나 Table 4에서 기공율이 900°C 까지 소량 존재하는 것은 아직 수축이 완료되지 않았기 때문이라고 생각된다.

3.7 열처리에 의한 겔 및 유리의 조직변화와 얻어진 유리의 사진.

Fig. 9에 각 온도에서 열처리한 겔 또는 유리의 조직을 나타내었다. 750°C 나 850°C 에서 열처리한 시료는 불균질하며, 기포가 많은 것을 알 수 있다. 1000°C 까지 열처리한 시료는 균질화가 많이 진행되었음을 알 수 있고 일반 용융법으로 얻어진 창유리와 비교하여 거의 차이가 없다고 보겠다. Fig. 10은 1000°C 까지 열처리한 시료들의 사진이다. A는 Table 2의 MH-4의 조성의 겔을 본 연구에서 얻어진 조성스케들로 열처리한 것으로 투명한 유리가 얻어졌으며 B와 C는 동일 조성의 겔을 같은 스케들로 열처리 하되,

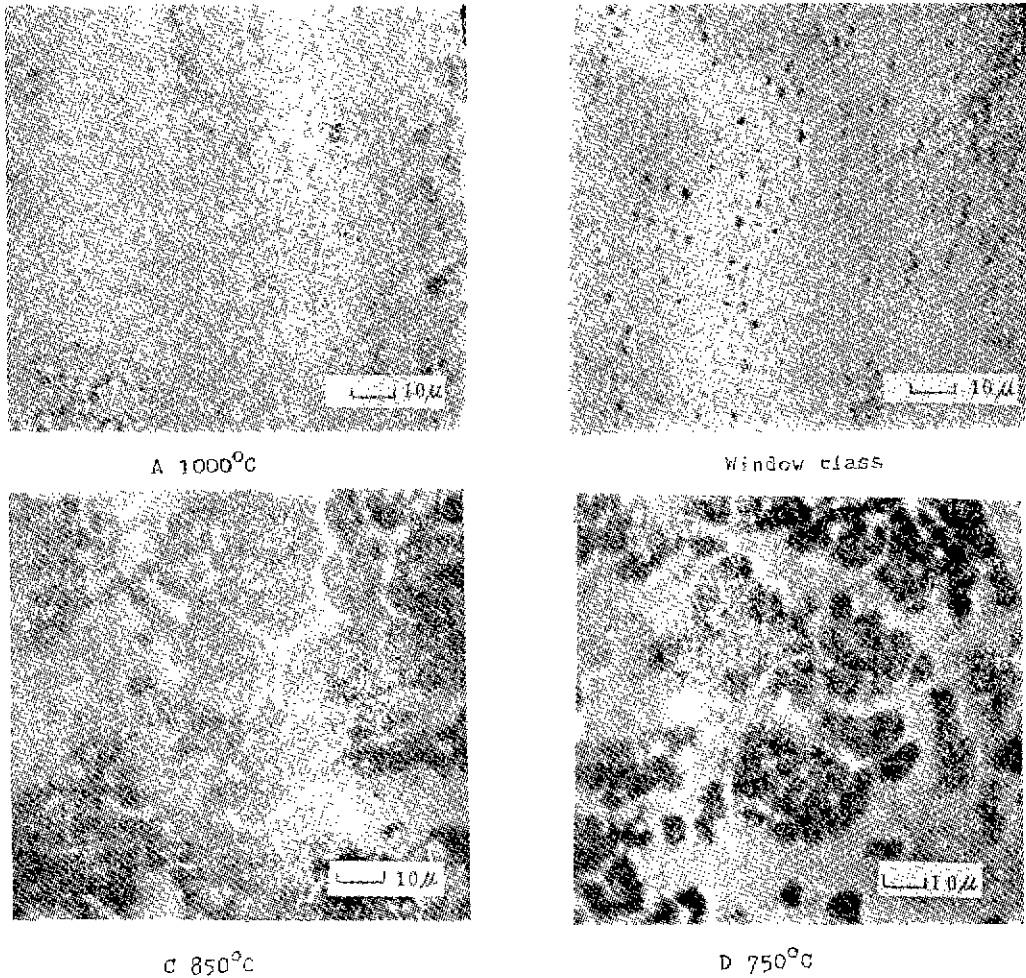


Fig. 9. Micrograph of samples heat treated at various temperature.

750°C에서 각각 2시간과 4시간씩 밖에 유지하지 않았을 경우에 얻어진 유리이다. A에 비하여 더욱 잘게 쪼개짐을 알 수 있다. D는 MH-8의 조성을 A와 같은 소성스케들로 열처리한 것이므로 아주 작은 알맹이로 깨짐과 동시에 입자 내부에 기포가 남아 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

덩어리 상태의 다성분계 유리 제조의 기초 실험으로서 실리콘 알콕시드로 부터 덩어리 상태의 실리카 유리를 저온 합성하기 위하여 원료의 혼합조건, 숙성온도, 열처리 조건등을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실리콘 알콕시드의 알킬기의 탄소수가 커질수록, 불의 양이 적어질수록, 또 숙성온도가 낮을수록 고화 시간은 길어진다.

2. 건조 길을 열처리 할때 250°C이하에서 흡착수 및 미반응 유기 물질이 거의 방출되며 Si-OH 탈수반응은 750°C~800°C에서 거의 완료되지만 그 이상의 온도까지도 수축이 계속 일어나고 있다. 따라서 250°C이하와 750°C이상에서의 온도상승 속도를 특히 주의하여 0.5°C/min로 하고 그 위의 온도 범위에서도 1°C/min이 넘지 않도록 주의할 필요가 있다.

謝意: 이 연구의 일부는 한국과학재단의 연구비에 의하여 수행되었으므로 여기에 감사의 뜻을 표하는 바이다.

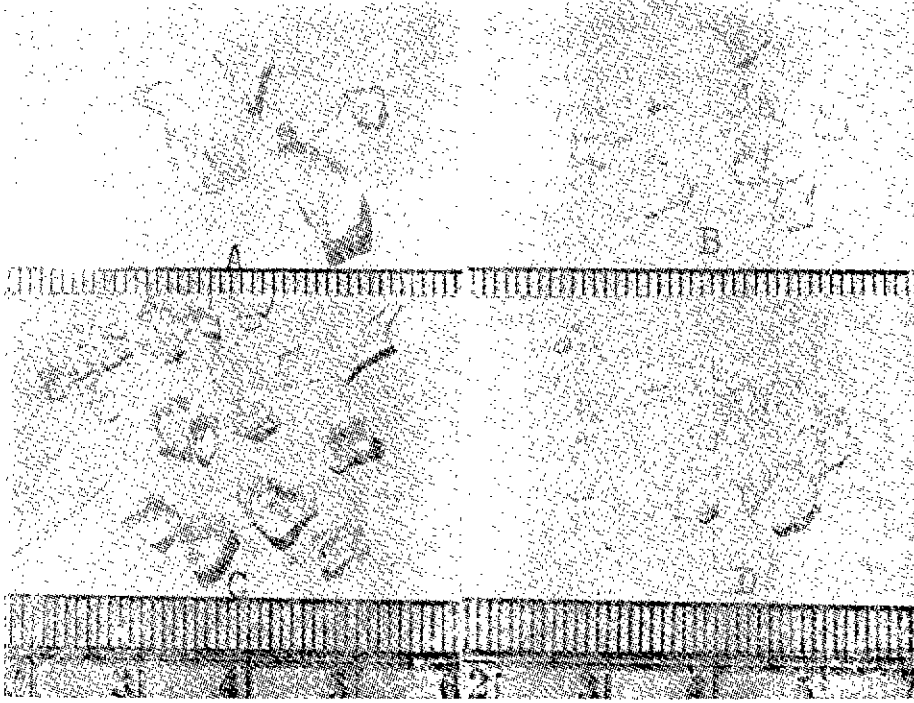


Fig. 10. Bulk glasses from gels

Reference

1. H. Dislich, "New Routes to Multicomponent Oxide Glasses", *Angew. Chem. intern. Edit.* **10**, (1971) 363-370.
2. K. Kamiya, S. Sakka, "Preparation of Refractory Oxide Fibers from Metal Alcoholates", *Yogyo-Kyokai-Shi*, **84**, (1976), 614-618.
3. K. Kamiya, S. Sakka, "Preparation of Glass Fibers of the ZrO_2-SiO_2 system from Metal Alcoholates, *ibid*, **85**, (1977), 308-309.
4. K. Kamiya, S. Sakka, "Preparation of Oxide Fibers from Metal Alcoholates", *ibid*, **85**, (1977), 599-605.
5. M. Nogami, Y. Moriya, "Study on the Formation of Non-Crystalline Films from Metal Alkoxides by Means of Infrared Spectroscopy", *Yogyo-Kyokai-Shi*, **85**, (1977), 59-65.
6. M. Nogami, Y. Moriya, "On the properties of Non-crystalline Films Containing TiO_2 and ZrO_2 Prepared from Metal Alkoxides", *ibid*, **85**, (19

- 77), 448-454.
7. K. Kamiya, S. Sakka, Y. Tatemichi, "Preparation of Glass Fibres of the ZrO_2-SiO_2 and $Na_2O-ZrO_2-SiO_2$ Systems from Metal Alkoxides and their Resistance to Alkaline Solution", *J. Mater. Sci.*, **15**, (1980), 1765-1771.
8. W. A. Pliskin, H.S. Lehman, "Structural Evaluation of Silicon Oxide Films", *J. Electrochem. Soc.*, **112**, (1965), 1013-1019.
9. B.E. Yoldas, T.W. O'keefe, "AR Coatings Applied From Metal Organic derived Liquid precursors", *Appl. Opt.*, **18**, (1979), 3133-3138.
10. B.E. Yoldas, "Investigation of Porous Oxide as an AR Coating for Glass Surfaces", **19**, (1980), 1425-1430.
11. B.E. Yoldas, "Alumina Gels That Form Porous Transparent Al_2O_3 ", *J. Mater. Sci.*, **10**, (1975), 1856-1860.
12. M. Nogami, Y. Moriya, "Fabrication of Hollow Glass Microspheres for Laser Fusion Targets from Metal Alkoxides", *Yogyo-Kyokai-Shi*, **88**,

- (1980), 712-717.
13. L. Kruczynski, H.D. Gesser, C.W. Turner, & Edward A. Speers, "Porous Titania glass as a Photocatalyst for Hydrogen Production from Water", *Nature*, **291**, (1981), 399-401.
 14. M. Yamane, S. Aso, T. Sakaino, "Preparation of a Gel from Metal Alkoxide and Its Properties as a Precursor of Oxide Glass", *J. Mater. Sci*, **13**, (1978), 865-870.
 15. M. Yamane, & S. Okano, "Low Temperature Synthesis of a Monolithic Silica Glass", *Yogyo-Kyokai-Shi*, **87**, (1979), 434-437.
 16. M. Yamane, S. Aso, S. Okano & T. Sakaino, "Low temperature synthesis of a Monolithic Silica Glass by the Pyrolysis of a Silica Gel", *J. Mater. Sci.*, **14**, (1979), 607-611.
 17. S.P. Mukherjee, "Sol-Gel Process in Glass Science and Technology", *J. Non-cryst. Solids*, **42**, (1980), 477-488.
 18. B.E. Yoldas, "Formation of Titania-Silica Glasses By Low Temperature Chemical Polymerization", *ibid*, **38 & 39**, (1980), 81-86.
 19. D.P. Partlow and B.E. Yoldas, "Colloidal versus Polymer Gels and Monolithic Transformation in Glass-Forming Systems", *ibid*, **46**, (1981), 153-161.
 20. M. Nogami & Y. Moriya, "Glass Formation Through Hydrolysis of $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ with NH_4OH and HCl Solution", *ibid*, **37**, (1980), 191-201.
 21. S. Sakka & K. Kamiya, "Glass from Metal Alcoholates", *ibid*, **42**, (1980), 403-421.
 22. C.J. Brinker, S.P. Mukherjee, "Conversion of Monolithic Gels to Glass in a Multicomponent Silicate Glass System", *J. Mater. Sci.*, **16**, (1981), 1980-1988.
 23. B.E. Yoldas, "Preparation of Glasses and Ceramics from Metal Organic Compounds", *ibid*, **12**, (1977), 1203-1208.

Solar Hydrogen Needs Heat Exchanger.

미국 에너지성에서는 황산을 촉매로 하여 물로부터 수소를 제조하는 신프로세스를 개발하였다. 이 기술은 고온 태양열교환기를 필요로 하며, Slip Casting 기술로 제조된 SiC 소결체가 가장 유망한 재료로 되고 있다. 열교환기제조기술은 Garrett Airesearch Mfg. 社에 의해 말되었는데, ceramic gas turbine 재료연구의 일부이다. 이 계획으로부터 생산되는 저가격수소는 수소 동력 자동차의 연료로서 사용될 수 있다.

(*Am. Cer. Soc. Bull.*, **63**(1), 1984)

Ceramic Composition Contains Uranium Melts

우라늄과 그 합금의 유도가열을 위한 비반응성 도가니가 미국에서 개발되었다. Susceptor의 조성을 Nb(20~50 Vol. %)와 MgO, CaO, Y_2O_3 로 안정화시킨 ZrO_2 의 혼합물이 주성분이다. 성형은 pressing에 의해서나 casting에 의해서나 행할 수 있다. 이 경우 소결은 불활성가스 분위기에서 행하게 된다. 저온에서의 전도도와 용융우라늄에 대한 불활성의 정도가 이 ceramic susceptor의 주요 성질이 된다. 이밖에도 내열금속탄화물을 주원료로 하여 사용하기도 한다.

(*Am. Cer. Soc. Bull.*, **63**(1), 1984)