

# 유리 공학

에코융합섬유연구원

이 수 진

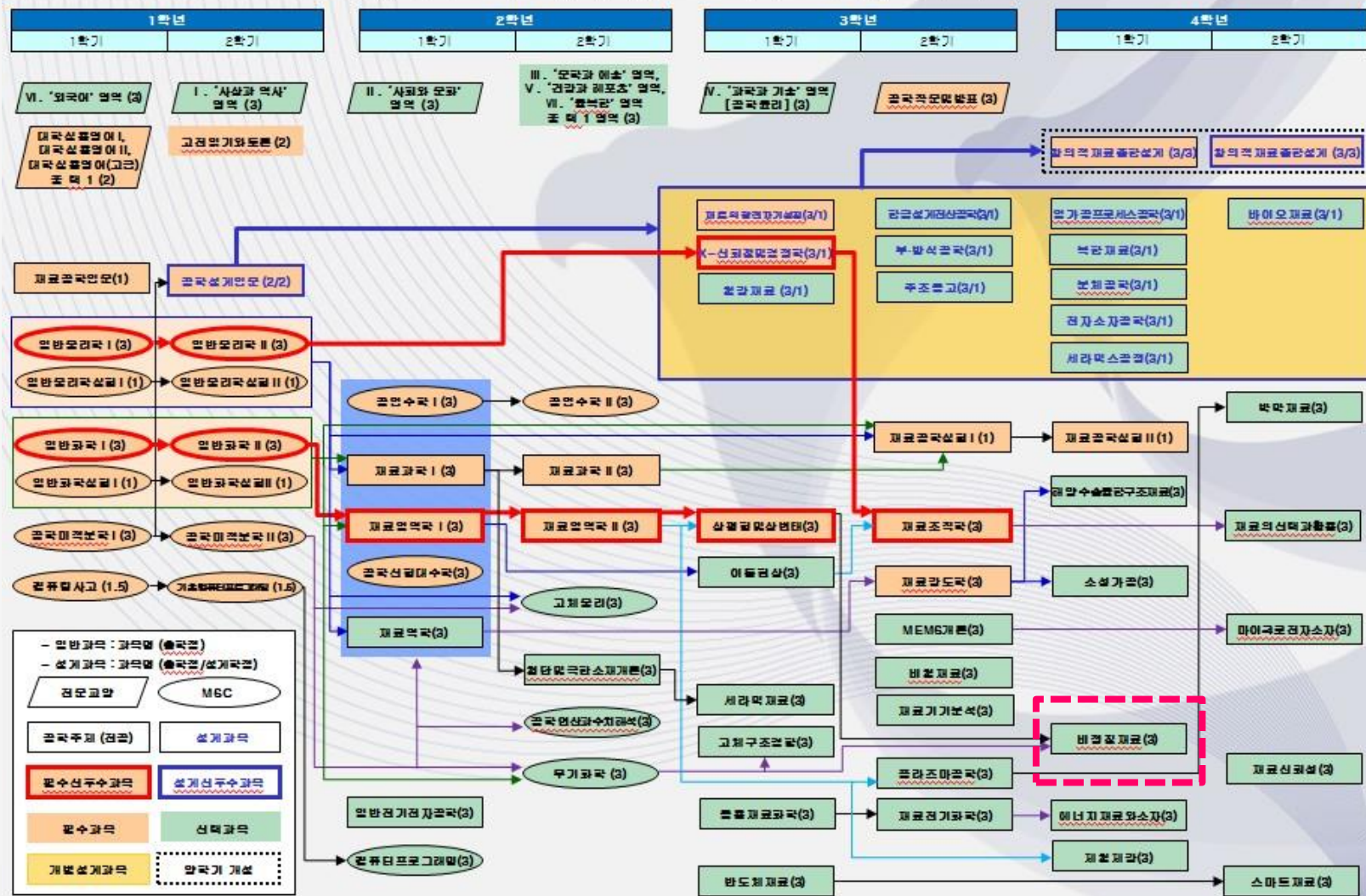


1. **교재소개; 실용유리공학**
2. **유리란? ; 맛보기!**





부산대학교 재료공학전문프로그램 교육과정 이수체계도

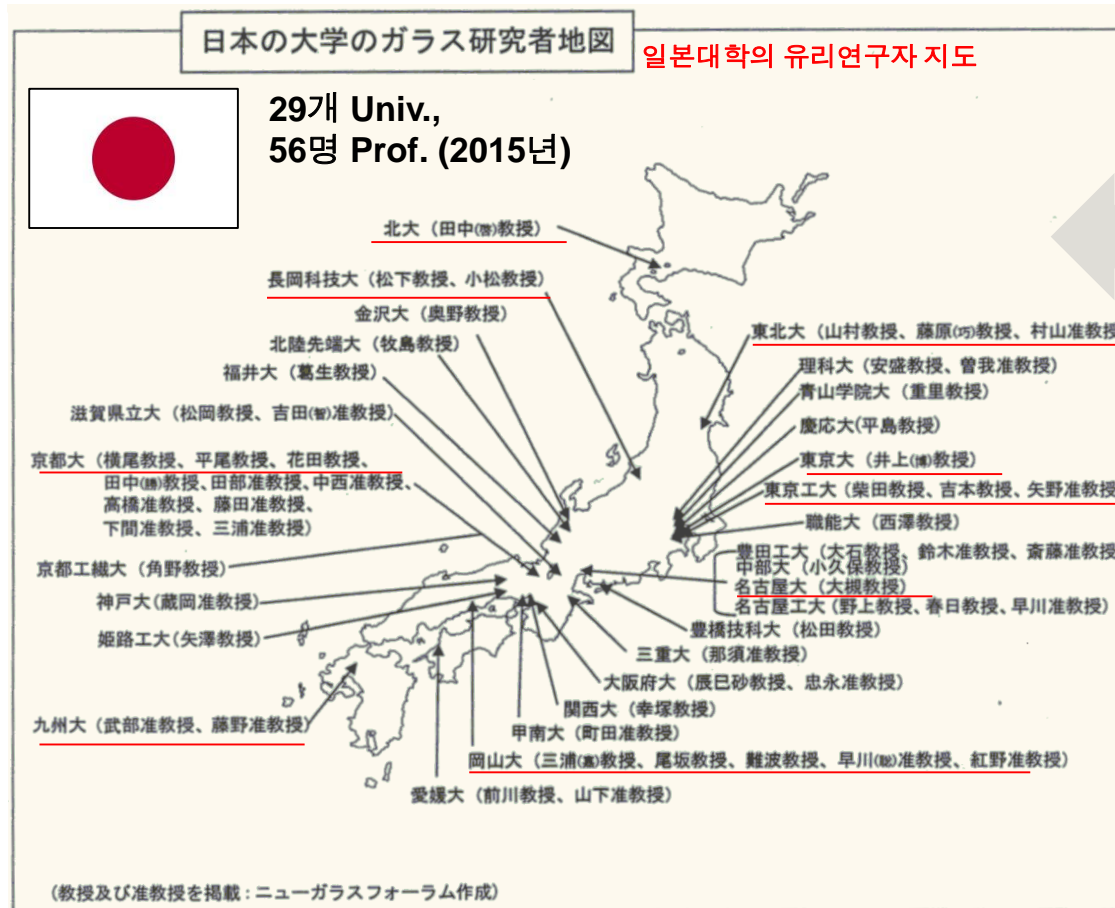


## Q2; 유리분야 연구 및 교육 현황(일본 vs 한국)?



1억2천7백만(세계 11위)

5천2백만(세계 28위)



**5개 Univ.,  
6명 Prof. (2018년)**

**XY?**

항공대 (Prof. 최용규)

경기대 (Prof. 강승규)

공주대 (Prof. 정운진)

포항공대 (Prof. 허중)

군산대 (Prof. 김기동)

PNU



## Q3; 교재구성?

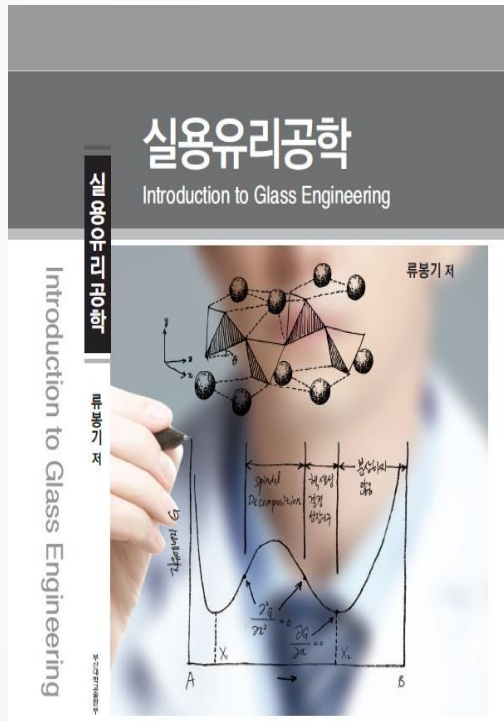
'실용(實用)'과 '공학(工學)'이라는 수식어가 앞뒤로 들어간 책 제목에서 시작하여, 겉표지를 넘긴 이후 350쪽을 훌쩍 넘기며 기술된 내용은, 우선 기본 정의와 개념 설명이외에도 실험결과 및 실습자료 등 실용 지식을 중심으로 구성하였다. 여기에 추가적으로 다수의 정량,정성적 수식과 원리를 더하므로서, 실용유리분야에서 필요로 하는 지식적 균형을 기대하게 되었다.

- 제 I 편의 기초편  
; 유리의 정의, 본성 및 제조

- 제 II 편은 이론편  
; 유리의 구조 및 특성 설계

- 제 III 편의 응용편  
; 유효한 응용을 위한  
기능성 구조 및 주요물성  
- 기계적, 화학적, 열적 특성

유니크한 유리



## I. 기초편 유리의 정의, 본성, 제조

### Chapter 1 유리 재료 개관: 정의, 본성 및 제작특성 · 9

1.1 유리의 어원 및 제작 유래	9
1.2 유리의 정의	11
1.3 유리의 제작방법	15
1.4 유리 상태의 특징	16
유니크한 유리 '태양광발전' 에도 결크 없어서는 안 될 유리	26

### Chapter 2 유리의 종류 및 본류 · 27

2.1 산화물계 조성의 유리	27
2.2 비산화물계 조성의 유리	48
2.3 혼합 조성계 유리	61

### Chapter 3 유리화 공정 및 주요 특징 · 67

3.1 유리의 형성이론	67
3.2 유리화 능력	74
3.3 유리화 범위	80
3.4 냉각속도	85
3.5 초급형 유리의 제작 및 특징	90
유니크한 유리 Low-B 유리가 무엇인가?	98

### Chapter 4 제작 공정(1): 원료, 조성조합설계 · 99

4.1 원료 화합물의 선정	99
4.2 조합 계산	113
4.3 미량성분의 첨가	119

### Chapter 5 제작 공정(2): 용융 및 성형 · 121

5.1 용융 설비	122
5.2 용융, 성형	130
5.3 성형	135
5.4 도가니 세척	138
유니크한 유리 한쪽 면에서밖에 보이지 않는 창유리	140

### Chapter 6 제작 공정(3): 저온유리합성법 · 141

6.1 콜-겔(Sol-gel)법	141
6.2 Sol-gel법의 장단점	143
6.3 Sol-gel 공정 및 주요 공정 인자	144
6.4 Sol-gel법으로 만들어지는 재료의 종류	150
유니크한 유리 인공 뼈의 이식재료가 되는 유리	152



## II. 이론편

### 유리의 구조, 조성·물성구조 최적화 및 재료설계

Chapter 7 유리구조 및 구조 이론(1); 원자 배열 배열구조 · 155	
7.1 유리구조이론 개관, 연구개발 역사의 배경, 성과 및 전망	155
7.2 원자 배열관점에서의 유리구조	163
Chapter 8 유리구조 및 구조 이론(2); 전자구조 및 상태분석 · 175	
8.1 전자를 매개로 한 화학결합관점에서의 유리구조	175
8.2 전자 및 화학결합 관련 구조정보의 측정 및 분석	183
Chapter 9 유리의 조성·물성 최적화 설계 · 201	
9.1 성질에 영향을 미치는 가성성 인자	201
9.2 규산염 유리 성질에 미치는 각종 성분의 영향	208
9.3 규산염 유리의 성질에 대한 가성성	216
유니크한 유리 알의 치료에 사용되는 유리	224
Chapter 10 유리의 기본특성 · 225	
10.1 제조된 유리제품의 기초특성	225
10.2 유리제조 이력과 관련된 특성	236
유니크한 유리	
방사성 핵폐기물을 고정하여 안정적으로 처리하기 위한 유리	246
Chapter 11 유리 전이역에서의 특이 특성 · 247	
11.1 유리 전이역	247
11.2 유리의 안정화	248
11.3 용융 발생 에너지	251
11.4 서냉공정	254

## III. 응용편

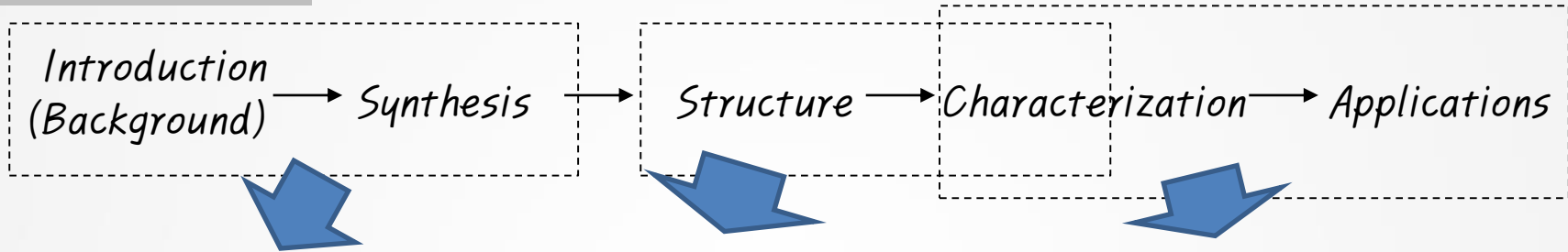
### 응용을 위한 기능성 구조, 주요물성

Chapter 12 유리 내 특이구조형성(1); 결정화 · 261	
12.1 핵생성의 현상과 이론	261
12.2 결정성장의 현상과 이론	271
12.3 결정화 유리를 얻기 위한 열처리 공정	274
12.4 결정석을 기구	278
유니크한 유리 식물에 유용한 비로로서 작용하는 유리	280
Chapter 13 유리 내 특이구조형성(2); 본상 · 281	
13.1 본상 현상과 발생 메커니즘	281
13.2 열처리에 의한 본상조각의 성장 과정과 그 정량화	291
13.3 본상이 유리특성에 미치는 영향	294
유니크한 유리 심해에서 자발광하는 생물체처럼 빛 밝히는 유리	300
Chapter 14 유리의 기계적 특성 강화기술 설계 · 301	
14.1 유리의 강도	301
14.2 열 강화	307
14.3 화학 강화	312
14.4 고강도 유리의 조성-이론설계	320
Chapter 15 유리의 화학적 내구특성 설계 · 325	
15.1 유리의 화학적 내구특성 개요	325
15.2 pH 변화에 따른 표면반응 및 반응메커니즘	327
15.3 pH 변화에 따른 유리 성분의 용출 및 열역학적 반응특성	331
15.4 화학적 내구성에 미치는 유리 성분의 영향 및 내구성 증진방안	340
Chapter 16 유리의 열적 특성 설계 · 343	
16.1 유리의 열처리 및 사용 중의 변화(1); 열충격	343
16.2 유리의 열처리 및 사용 중의 변화(2); 열팽창	345
16.3 유리의 열처리; 용해열	356
유니크한 유리 첨단 광화이버용 유리의 기능이 가능한 해면동물	360
찾아보기	361



## Q4; 교재내용구성과 재료공학연구범위간의 관계?

### 1. 재료공학연구범위



### 2. 교재내용구성

#### 1. 기초편;

정의, 본성, 제조

##### 1장 유리개관

유래, 정의, 제작방법, 특징

##### 2장 종류/분류

##### 3장 유리화 공정 및 특성

유리화능력, 범위, 냉각속도, 초급랭유리 제조

##### 4장 제작공정(1) 원료/조합설계

##### 5장 제작공정(2) 용융, 성형

##### 6장 제작공정(3); 저온합성법

정의, 공정인자, 재료의 종류 및 응용

#### 2. 이론편;

구조, 조성, 물성. 구조 최적화 및 재료설계

##### 7장 유리구조 및 구조이론(1);

원자레벨의 배열구조

##### 8장 유리구조 및 구조이론(2);

전자 상태 및 결합구조

##### 9장 조성물성의 최적화

additivity

##### 10장 유리의 기본특성

제조된 유리의 기초특성  
; 유리전이점( $T_g$ )측정, 밀도측정, 결합  
유리제조이력과 관련된 특성  
; 점도, 표면장력

##### 11장 유리전이이력에서의 특징

#### 3. 응용편;

응용을 위한 기능성 구조, 주요물성

##### 12장 특이구조(1); 결정화

발생 메카니즘  
특이구조-특성과의 상관

##### 13장 특이구조(2); 분상

발생 메카니즘  
특이구조-특성과의 상관

##### 14장 기계적 성질; 강화기술설계

유리의 강도  
열강화  
화학강화

##### 15장 화학적 내구특성

표면반응 메커니즘  
활량 및 열역학적 반응특성  
내구성증진방안

##### 16장 열적 성질; 열팽창, 열용량

열처리중의 변화; 열팽창  
열역학적 특성; 열용량  
점성, 표면장력



Q5; 나는, 유리에 대해 얼마나 잘 알고 있을까?

1. 유리는 본래 잘 깨질까?
2. 유리는 왜 투명할까?
3. 유리로 전기를 통하게 한다는 게 사실일까? (유리는 대표적인 절연체아냐?)
4. 유리의 불규칙한 구조(micro-structure)는 인간의 능력으로는 결코 규명 불가능한 것일까?
5. 균질한 유리구조와 달리 그 불균질성을 이용하는 신기한 기술이 있다면서?
6. 유리를 (구워 만든) 세라믹재료처럼 하는 방법이 있다는데?
7. 열간 팽창수축이 일어나지 않는 유리가 있다면서?
8. 디스플레이를 구성하는 다양한 재료중 유리재료의 역할이 으뜸이라면서?
9. (무시무시한) 핵폐기물을 고화처분하는데 사용하는 유리재료가 있다는데?
10. 최근 나노재료가 각광을 받고 있는데, '나노유리'는 없는가?
11. 유리모재의 정보 저장(Storage)매체화 기술을 아는가?
12. 태양에너지 등 대체에너지 이용분야에서 활용되고 있는 유리기술들?





1. 유리는 본래 잘 깨질까?  
- 자동차유리는 왜 잘게 부서질까?  
- 그런데, 망치로 두드려도, 던져도 깨지지 않는 유리가 있다면서? .....▶ 파괴, 강화메카니즘  
기계적 특성(14장)
2. 유리는 왜 투명한까?  
- 통유리의 고층건물제작이 가능할까? .....▶ 발색메카니즘, 내부구조(Band구조)  
부원료 첨가효과(4장)
3. 창유리로 전기를 통하게 한다는 게 사실일까?  
- Optical fiber재료 .....▶ 광전특성, 도전메카니즘  
바나듐산염유리(2장), 가성성(9장)
4. 유리의 불규칙한 구조는 인간의 능력으로는 결코 규명 불가능한 것일까? - 구조해석 등.. .....▶ 구조 및 그 해석 이론  
구조편(7, 8장)
5. 유리구조의 불균질성을 이용하는 신기한 기술이 있다면서? .....▶ 결정화(12장), 상분리(13장)  
- 유리의 분상
6. 유리를 구워 만든 세라믹재료처럼 하는 방법이 있다는데? .....▶ 결정화 유리(12장)  
- 결정화 글라스 (기계적 강도 증진)  
- 강화문
7. 열간 팽창수축이 일어나지 않는 유리가 있다면서? .....▶ 응용/열적특성/결정화유리  
결정화유리(12장), 특성과 응용(16장)  
- 결정화 유리
8. 디스플레이를 구성하는 다양한 재료중 유리재료의 역할이 으뜸이라면서?  
- FPD(PDP 등)
9. 무시무시한 핵폐기물을 고화처분하는데 유리가 사용된다니 .....▶ 화학적 내구성/합성 응용  
오히려 위험한 것 아닌가?  
유니크한 유리(10장), 화학적 내구성(15장)  
- 핵폐기물 고화유리
10. 최근 나노재료가 각광을 받고 있는데, '나노유리'는 없는가?.....▶ Nano-coreshell(별도자료)  
- 고차구조, 초미립자분산 유리



- Q6; **W**hat's the difference of 1,2,3,4 in application ?

1. Classical Glass?
2. New Glass?
3. Nano Glass?
4. Future(Next generation) Glass?

➡ Developing History in Glass?

# Developing history in Glass; Old(Classical)- ? New- ? Nano- ? Future- glass ?

## Old(Classical) Glass? (1970년대 이전)

### Mission!

판유리의 성능을 어떻게 하면 다종 다양하게 할 수 있나?

- 63년~69년; 차관도입을 통한 경공업중심 수출주도 고도성장기
- 69년~78년; 경제 성장과 정치적 격동기
  - 1) 69년; 경제성장의 구조적 한계봉착후, 73년; (철강화학, 기계, 조선기자재 등 6대 전략업종) 중화학공업중심으로 전환
  - 2) 72~76년; 3차 경제개발5개년계획 연평균경제성장을 10.1%
  - 3) 74~78년; 반유신민주화 시위격화, 긴급조치발동
- 육영수여사 피격사건(1974년)
- 경부선새마을호, 서울지하철 1호선 개통(1974년)
- 일본, 마징가 제트 종영(1974년)

- **해방전 기업설립**; 1902년 이용익선생이 건립한 국립유리제조소(러시아기술자도움으로 설립된 대표적인 병유리제조), 1904년 러일전쟁이후 폐쇄. 1909년 서울 서대문에 유리공장설립, 1913년 경성초자 제조소 (유리병과 램프제작) 일본사람의 기술과 자본에 의해 몰락. 그 뒤에도 작은 규모의 유리공장이 병유리 수요를 충족하기 위하여 서울-평양-부산 등 대도시에 건설되어, 전국에 31년에는 6개, 34년에는 19개, 38년에는 24개의 공장이 있었음.

- **해방후 기업설립**; 57년 **한국유리공업 창업**, 56년 두산유리(해남초자공업, 대한유리공업 등을 거쳐 사명변경), 67년 삼광유리공업(주), 88년 금강(KCC) 등 설립 ; 병유리, 판유리, 유리섬유, 브라운관유리 등 기간산업제품생산

- **제품생산**; 60년대 이후 전체 유리공장의 근대화가 촉진되었고, 안면도 규사가 개발되고 소다회가 국산화됨에 따라 유리공장도 급속히 발전하여 유리제품도 다양화되고. 유리 제조기술과 시설도 국제 수준화한 공장의 수가 늘어나 도자기와 함께 수출산업으로 전환됨.

- 62년 한국유리공업협동조합 설립 기업간 유기적 발전도모.
- 64년 유리섬유 생산, 65년 판유리 자동생산, 69년 무늬유리 생산, 71년 자동차유리 생산, 74년 TV브라운관 유리 생산, 77년 소다회 국산화, 79년 광통신용 광섬유유리 개발,
- 이 밖에도 석영유리-결정화유리-안전유리 등을 비롯하여 각종 산업 분야에 활용될 새로운 종류의 유리가 개발, 일부 생산단계 (84년 광섬유유리 생산, 88년 플로트 판유리 생산)

자기감응 특성향상

광학특성향상

내열성향상

내열성향상

강도증대

전자기특성향상

융점저하

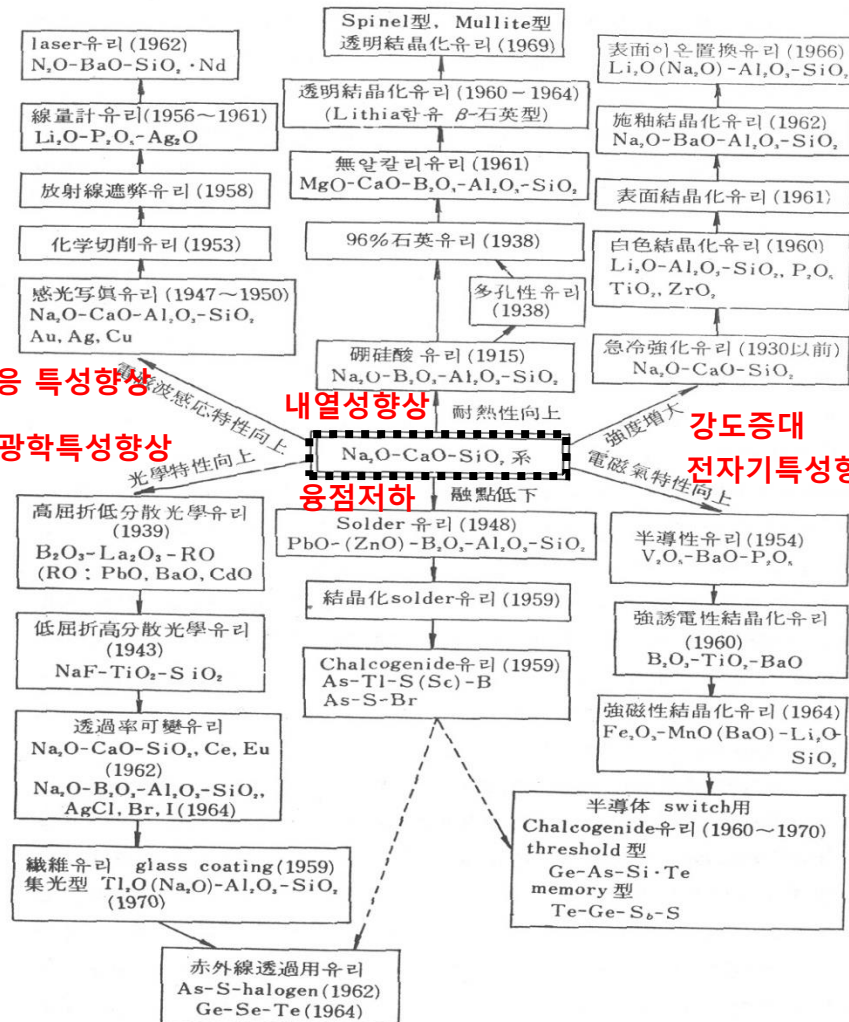


Fig. Many Kinds of glass compositions for useful applications

# Developing history in Glass; Old(Classical)- ? New- ? Nano- ? Future- glass ?



## New Glass? (1970~)

- Mission!! High technology  
특징; 고부가가치창출, 실용재료로서 재인식

### 기술의 고도화!!!

- 1) 기능의 고도화
- 2) 제조 및 가공방법의 고도화

1. 화학조성의 선택:  
양이온, 음이온의 선택적 변경제어,  
제어된 구조를 위한 Doping기법
2. 순수화
3. 무중력화
4. 열이력, 생성온도, 용융분위기의 조절
5. 이온교환
6. 표면코팅
7. 초급냉
8. 신 기상법에 의한 합성법
9. 신 액상법에 의한 합성법
10. 분상의 이용
11. 결정화의 이용

### 기능 및 특성별

#### 광학적 기능 유리

광섬유  
광기능용  
선택흡수반사  
굴절율분포  
Laser  
광회로용유리  
IC Photomask

#### 자기적 기능 유리

Faraday 회전  
투자성  
지연성  
Hybrid IC기판  
자기기록 기판  
Ion 전도성

#### 전기적 기능 유리

Zero팽창결정화  
봉착성  
초고순도석영유리

#### 기계적 기능 유리

고강도  
정밀가공

#### 생체적 기능 유리

방사성 폐기물처리  
촉매항체  
생체

### 산업분야별

#### 원자력,에너지

방사성폐기물처리  
Laser  
적외용광fiber  
아몰퍼스태양전지  
이온도전성

#### 정보,전자분야

광화이버  
광기록재료  
Faraday회전  
굴절율분포  
IC용 마스크

#### 해양개발

심해용캡슐

#### 항공우주

태양연료Cover  
열선반사  
단열재

#### 바이오산업

효소단체  
세포배양담체  
인공치근, 뼈  
인공귀연골



# Developing history in Glass; Old(Classical)- ? New- ? Nano- ? Future- glass ?



## Nano Glass? (1980~)

### - Mission!! Creation Technology

특징; 고효율(에너지, 성능) 독창적 (대체불능) 신재료로서 인식

#### 1. 초미립자 분산 등 구조제어 기술

- 1) 이질상미세석출기술
- 2) 초미립자 분산기술

#### 2. 고차구조제어기술

- 1) 주기구조 형성기술
- 2) 외부장 조작기술

#### 3. 3차원 광회로 재료 기술

- 1) 저손실 광도파로용 재료기술
- 2) 대용량 광메모리용 재료기술

#### 4. 신기술의 정립, 체계화기술

## 1. 정보통신분야 1. 기억,저장 (Storage), 2. 통신 (Communication), 3. 표시 (display)용 소자

### 1. 광디바이스 (저장, 통신)용 유리재료

- 3차원 광회로 - 광스위치 - 광아이소레이터 - 광증폭기 - 분파/합파기 - 발광소자 - 광메모리, 헤드재료

### 2. 디스플레이분야

- 고효율발광소자 - 디스플레이용 기판

## 2. 광, 에너지, 환경분야

### 1. 환경분야 - 가스선택투과 글라스 - 환경정화 글라스

### 2. 에너지분야 - 연료전지 - 조명 - 태양전지기판

### 3. 광학 분야 - 렌즈 - 필터

### 4. 기타; 초경량, 고강도글라스 - 디스플레이용 기판 - 수송기용 창유리 - 광기능성 창유리 - 자기디스크기판 - 태양전지 기판 - 재활용가능 글라스 용기



## Future Glass? (2020~)

Maybe.....

### - Mission

- ; 융복합, 유지지속형 유리관련 기술/제품 완성
- ; 4차 산업혁명의 정신, 방법의 유리분야에서 실제 구현

### - 특징? 승패의 Key

- ; 유관 기술, 산업분야의 수준과 기술적 조화

---

유리의 과거, 현재 그리고 먼 미래

‘유리’의 근간을 지탱하는 ‘공학과 과학’이 현재처럼 이렇게 급속히 발달해 간다면, ‘유리’를 둘러싼 학문분야의 미래상은 과연 어떻게 변할까?

유리의 미래가 아마 ‘예술(藝術)’과 같이 창조적 분야로, 한편으론 ‘철학(哲學)’과 같은 보다 인본적(人本的) 분야로 회귀하여 보다 인간 본질과 교감하고 어루만지는 학술 분야로 변해 갈 것을 예견한다.

‘실용유리공학’의 書評(서평)에서..... 2017.06.