

단열재의 종류별 특성과 시공



전세계의 산업경제에 상당한 영향을 미쳤던 지난 1·2차 석유파동으로 모든 국가는 에너지 소비의 규제, 에너지의 절약, 대체에너지로서의 새로운 에너지원개발 등에 노력을 기울이고 있으며 이중에서도 가장 손쉽고 효과가 큰 에너지 절약에 대한 관심은 날로 증대되고 있다.

한편 우리나라의 에너지 정책도 큰 변화를 가져와 에너지절약으로 또 하나의 에너지원이라는 차원에서 모든 부문의 에너지절약과 이용의 합리화를 촉진하기위해 에너지절약 정책을 강화하고 있다. 따라서 본지는 에너지절약을 위한 실질적이고 적극적인 방법으로 단열재의 종류별 특성을 고찰하고 단열시공에 관해 집중연구기로 한다. <편집자 주>

로크울

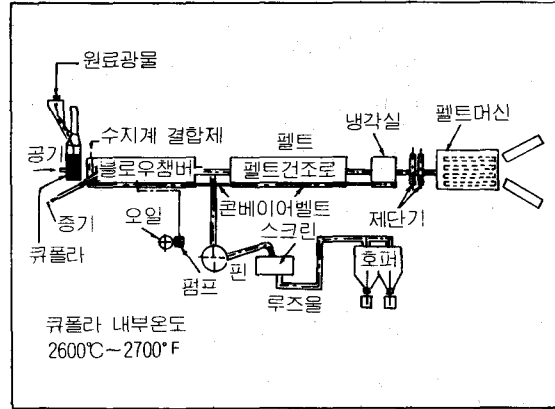
로크울은 고로(高爐)슬래그, 현무암 등의 주로 규산석회질 원료를 큐플라 등의 용해로를 이용해서 1400~1600℃의 고온으로 용융하여 고속기류, 또는 원심력을 이용해서 섬유상(狀)을 성형한 것으로 울상(狀)의 것부터 펠트, 보드상(狀)등의 각종 2차제품이 제조되고 있다.

로크울의 역사는 비교적 오래되어 1836년 하와이 제도(諸島) 마우나로아 화산에서 우연히 섬유상(狀)물질을 발견한 일에 시초를 두고 있다. 제2차 대전 전에는 주로 군사용 선박의 보온단열재료로서 약 2만톤/년의 수요가 있었다. 전후는 크게 수요가 떨어졌지만 '30년대 후반부터 경제규모의 확대에 따라 산업, 건축용의 에너지절약 재료로서 용도가 넓어져 제조기술의 혁신과 대폭적인 품질의 개량 및 2차제품의 개발이 이루어졌다. 현재 일본의 경우는 약 20만톤/년이 생산되고 있다. 이와 같은 로크울은 그라스울보다 높은 내열성(600℃)을 갖고 있기 때문에 주로 보일러, 탱크, 가열로 등의 산업용 배관기기의 보온단열재료로서 이용되며, 또 건축용으로서 주택용 단열흡음재 및 철골내화 피복재 등에 사용되고 있다.

〈그림 14〉에 로크울 제품의 제조라인을 든다.

재질특성

로크울은 섬유상(狀) 형태이기 때문에 뛰어난 단열성과 흡음성, 그의 종류별로 특성을 지니고 있지만 다음에 에너지



〈그림 14〉 로크울 제품의 제조라인

절약 재료 면에서 주로 로크울 섬유화 조성, 내열성 및 보온단열재 등에 대해서 기술하겠다.

1) 화학조성

용융하는 원료의 종류에 의해 로크울의 화학조성은 변화한다. 현재 제조되고 있는 로크울은 철 정련(精鍊)시에 부생하는 슬래그를 주원료로 하는 것과 현무암 휘연암(輝綠岩) 등의 천연암석을 주원료로 하는 것으로 대별할 수 있다. 전자는 저규석 고석회 조성으로 CaO/SiO₂ 비율이 0.5 이상이고 후자는 그 비율이 0.5 이하인 것이 많다. CaO/SiO₂ 비가 큰 로크울은 제조시, 저온에서 용융되는 제조가 비교적 용이하지만 일반적으로 내후성, 특히 내습강도가 뒤떨어진다. 〈표 3〉에 대표적인 양쪽의 로크울 화학조성을 들었다. 또 로크울의 색조는 Fe₂O₃의 함유비율에 의해 백색에서 녹색까지 변화한다. 일반적으로 천연암석을 원료

로 하는 것은 Fe₂O₃가 5~12% 존재하기 때문에 슬래그를 사용하는 것 보다 검은 색조를 나타내지만 단열보온성, 흡음성 등의 모든 특성에는 차이점이 없다. 또 산, 알칼리에 대해서는 일반적으로 강하다고 말할 수 없고, 특히 산에 대해서는 저항성이 현저히 낮다.

2) 내열성

로크울의 내열성(사용온도의 최고)에 대해서는 일본의 경우 JISA 9504에서 600℃로 규정되어 있지만 안전 사용온도의 정의와 시험방법은 명확하지는 않다. 로크울을 단열재로서 사용하는 경우 그 사용조건에 따라서 사용온도의 한계가 상당히 다르다. 예를 들면, 정적(靜的)조건인가 혹은 동적(진동)조건인가, 하중이 무거운가 그렇지 않은가에 따라서도 사용온도의 한계가 다르며 단열재의 밀도, 유기물의 함유율 등에 의해서도 큰 영향을 받는다. 그러나 우선 목표로 JIS에서는 로크울 외에

〈표 3〉 로크울의 화학조성(%)

구 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
슬래그계(派) 로크울	33~44	6~14	35~45	5~11	0.3~0.5
암석계 로크울	42~48	12~16	9~20	7~11	5~13

〈표4〉 로크울 보온재의 최고사용온도

종 류	밀도도 (kg / m ³)	최고사용온도 (°C)	
		현 행	실 험 치
로크울	150 이하	600	650*
로크울 보온판 1호	100 "	400	500
2호	160 "	400	550
3호	300 "	400	600
4호	350 "	600	600
로크울 펠트	70 "	400	400
로크울 보온판	200 "	400	400
로크울 보온대 1호	100 "	400	500
2호	160 "	600	600
로크울 브란케트 1호	100 "	600	600
2호	160 "	600	600

* 열간 하중시험에 의한 10% 수축온도

가공품인 보온판, 펠트, 보온통, 보온대, 브란케트의 최고 사용온도의 〈표 4〉와 같이 정하고 있다.

내열시험의 한 방법으로 열간하중시험이 제안되고 있다. 이것은 5g / cm²의 가중(加重)을 가하면서 3°C~5°C / min의 승온속도에서 가열하여 원래 두께에서 10% 수축하는 점을 내열온도로 하는 방법으로 JIS의 사용온도 표시와 비교적 일치하지만 석면섬유 등 그 밖의 섬유에 대해서는 다른 상태가 존재하므로 적당하지 않으며, 또 실제 사용하중과 다르다는 문제점이 남아 있다.

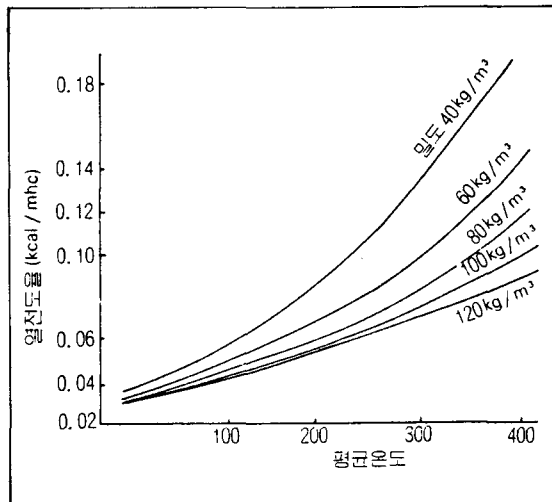
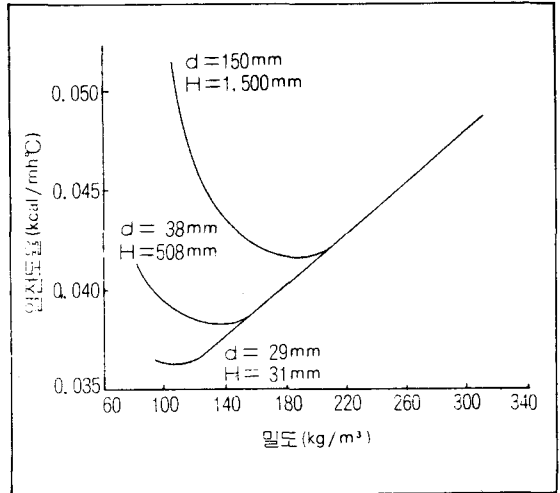
3) 단열성

열의 전달은 복사, 대류, 고체전도 등의 3요소에서 이루어지고 있지만 재료의 두께 및 사용조건 등에 의해 복사, 대류의 영향이 강하게 나타나게 되어, 열전도율이 크게 변동한다. 〈그림 15〉에 3종류 크기의 가열판을 사용하여 Griffiths 가 로크울의 열전도율을 측정한 결과를 나타냈는데, 측정시료의 사이즈보다 낮은 밀도 구역에서 큰 차이를 보이

고 있다. 시료의 두께와 높이가 큰 것 만큼 열전도율이 큰

것은 복사에 의한 영향을 견디어 내고 시료 내 대류의 영향 때문인 것으로 생각된다. 이와 같은 측정조건에 의해 열전도율이 변하므로 JIS에서는 일정조건하에서 측정하는 (JISA 1412, JISA 1413) 것이 정해졌다. 따라서 실제 사용에 있어서는 성능치, 규격치 이외에 개개의 사용조건에 맞는 설계치를 고려할 필요가 있다. 〈그림 16〉에 평판직접법에 의해서 실측한 로크울 보온판의 밀도 차이에 의한 평균온도와 열전도율 곡선(성능치)

〈그림15〉 3종류의 큰 가열판을 사용했을 때의 열의 밀도와 열전도율의 관계



〈그림16〉 로크울 보온판의 열전도율

을 든다.

로크울 제품과 용도

JISA 9504에 규정되어 있는 로크울보온재로서는 로크울, 보온판(1호~4호), 펠트, 보온통, 보온대, 브란케트 및 매트 등의 7종류가 있다.

1) 로크울

로크울 섬유를 층상(層狀) 또는 입상(粒狀)화 해서 이용되는 것으로 탱크, 산소발생장치 또는 건물의 천정, 마루 등의 충전용(充填用)으로 이용된다. 그러나 가장 많은 용도로는 화장(化粧) 흡음판(JISA 6307)의 소재, 이어서 철골내

화 피복원료 등이다.

2) 로크울 보온판

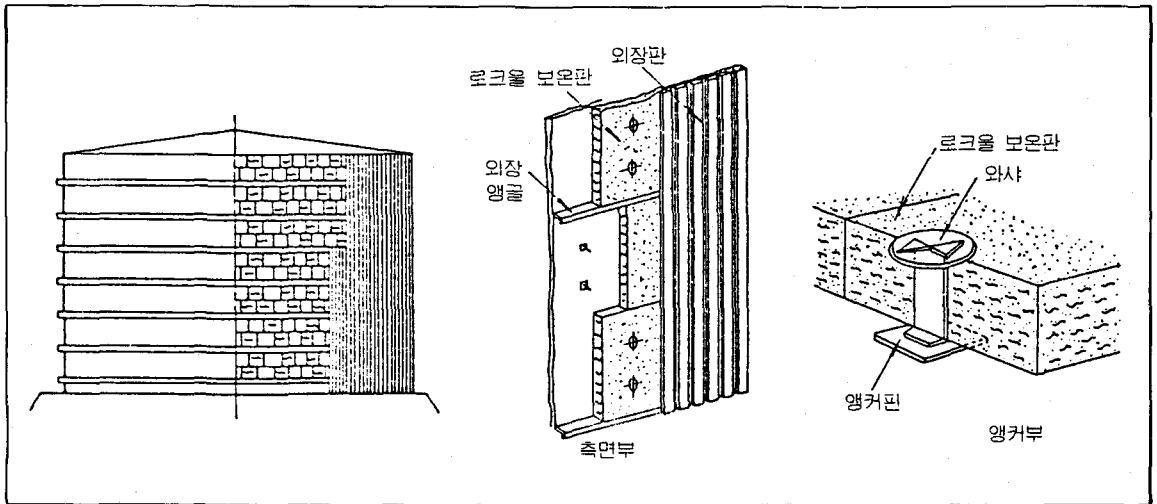
로크울 섬유를 페놀수지 등의 유기바인더를 이용해서 판상(板狀)에 성형한 것으로 밀도에 따라 1호~4호 까지가 있다. 특히 경량에서 열전도율도 작고, 보온성과 시공성에 뛰어난 재료이다. 용도로는 밀도가 작은 1호, 2호는 덕트와 기기의 보온단열, 또 3, 4호는 보일러, 가열로, 건조기의 단열내화용, 그리고 고온가열로 등의 내화재의 백업으로 사용된다. 이것은 통상의 보온판 외에 비(雨水)등의 침입에 의

해서 보온면에서의 기기 부식을 방지하기 위해 특히 강력한 폐수성을 실현한 보온판도 개발되고 있으며, <그림 17>과 같은 시공법에 의해서 중유탱크 등에 크게 이용되고 있다

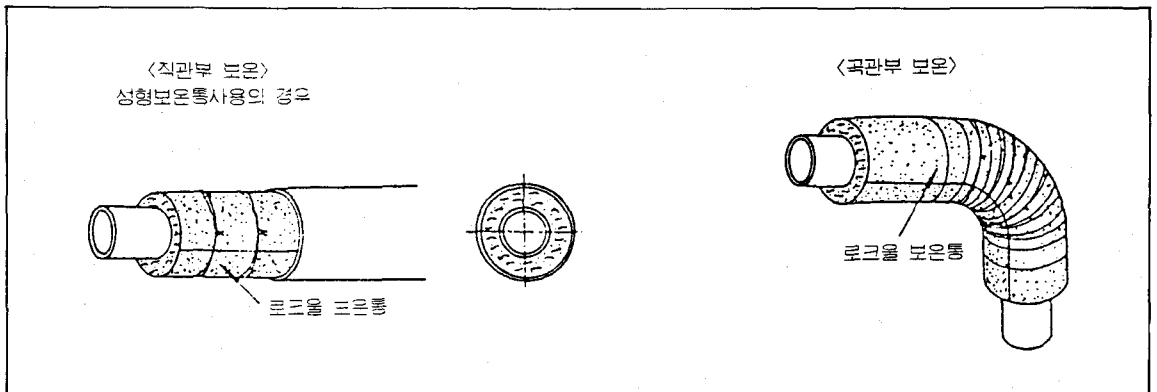
3) 로크울 펠트

로크울에 유기바인더를 이용하여 밀도 70kg/m²이하의 탄력있는 펠트상(狀)에 성형한 것으로 필요에 따라서 한냉사(寒冷紗) 등의 외피(外皮)에 피복한 것이다. 용도로는 기기 등에 피복한 덕트보온용 외에도 건물의 지붕, 천정안,

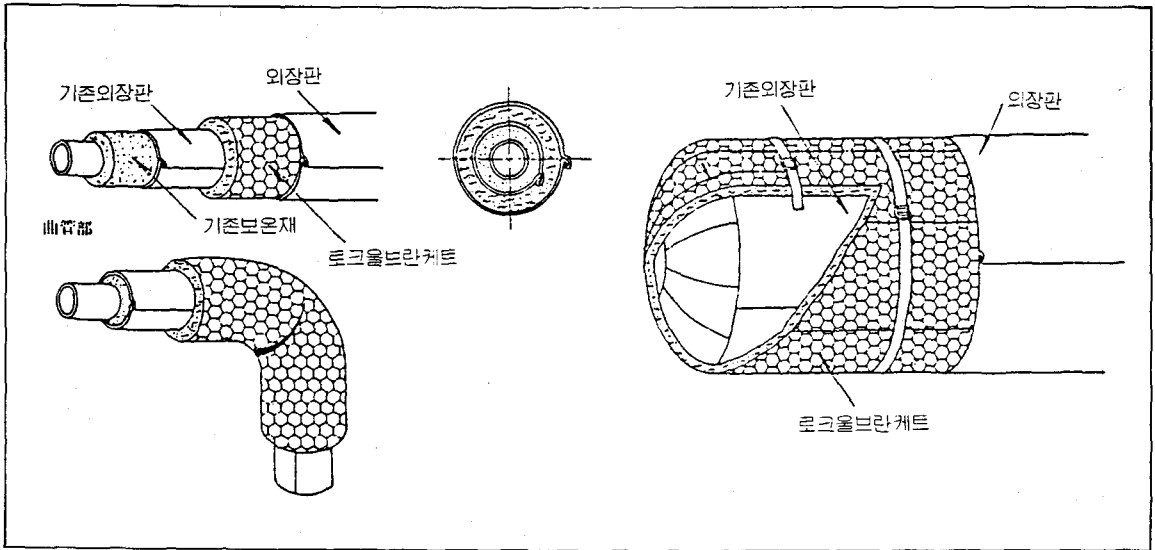
<그림 17> 발수성 로크울 보온판의 중유탱크에의 시공에



<그림 18> 로크울 보온통의 시공에



〈그림19〉 로크올 브란케트의 시공예



벽사이 또는 패널의 층간(層間) 흡음단열재 등으로도 쓰인다.

4) 로크올 보온통

페놀수지를 이용하여 로크올 섬유를 원통상에 성형한 것으로 필요에 따라서 표면에 그라스크로스, 알루미늄상과 한냉사로 피복한 것이다. 관경(管徑)에 합쳐서 보온 두께 별로 성형되어 있고, 탄력성이 풍부하고 원터치로 설치가 가능하며, 나이프 등으로 간단히 절단할 수 있는 등 시공성도 우수하다. 용도로서는 증기관, 열유관(熱油管) 등의 고온배관의 보온단열, 또 지하매설관, 브라인관, 냉수관, 암모니아관 등의 보냉, 동결방지용 단열재로서 이용되고 있다. 〈그림 18〉에 대표적 시공 예를 든다.

5) 로크올 보온대

이것은 로크올 보온판을 짧게 절단하여 90° 방향을 바꾸어 배열하여 당기는 강도 2kgf/cm 이상의 종이 또는 천을 한 쪽 면으로 끌어 당겨 시공한 것이다. 섬유방향이 보온판,

펠트와 다르며 자유롭게 굽힐 수 있으므로 곡면에서의 사용이 용이하다. 각종 파이프, 등근덕트의 보온, 방로(防露), 방음 특히 지름이 큰 파이프와 끼워피는 관 등의 보온단열에 편리한 제품이다.

6) 로크올 브란케트

브란케트는 층상의 로크올은 비금속 또는 인장강도 2kgf/cm의 종이 등으로 외피를 보강성형한 것으로 내풍속성(耐風速性)이 요구되는 장소, 또는 보온재 표면을 습식도재(塗材) 등으로 사용하는 경우에 이용된다. 용도로는 보일러, 탱크, 덕트, 굴뚝 등이다. 또, 최근 보온재에 거북이등 모양의 금속망을 아연을 늘린 철선으로 연속적으로 시공한 브란케트도 개발되고 있다. 금속망을 사용하기 때문에 유연하고 형상을 자유자재로 할 수가 있다. 3이상의 배관에서 평면, 직관 외에 곡면, 경부(鏡部) 등의 설치도 용이하다. 그 시공 예를 〈그림 19〉에 든다.

7) 로크올 매트

로크올을 유기바인더에서 탄력있는 매트로 성형하여 주위를 종이 등으로 피복하여 시공성과 방습성을 높인 제품이다. 이것은 주로 건축용 단열재로서 사용되어 지붕, 천정, 벽, 마루 등에 시공된다. 단열보온의 의미 외에 방음 및 화재시의 방화재로서의 효과도 있다.

이들 로크올 JIS 제품 외에 최근개발되어 시판되고 있는 특징있는 로크올 제품에 대해서 간단히 소개한다.

① 로크올 니들펠트

이것은 로크올 섬유와 소량의 유기바인더에서 이루어진 펠트를 니들 가공한 것으로 고온에서의 강도와 유연성을 요구하는 장소, 또 10mm 정도의 두께로 효과적인 단열을 요구하는 장소 등에 사용되는 제품이다. 특징으로는 로크올의 충전밀도가 높기 때문에 (170kg/cm³), 보통의 로크올 보온판 보다 고온에서의 열전도율이 낮고 흡음, 내진동성도 우수하다. 산업용도로서는 자

동차의 히터박스, 마후라단열, 선박용발전기, 비상용발전기, 주기관 등의 배가스관의 고온 쿠션재 등, 또 건축용도로서는 절판(折板) 지붕용 내화단열재 등이며, JISA 1321 불연재 및 지붕내화 30분 시험에도 합격한 제품이다.

② 탈착가능한 보온재

보통 보온재는 메인テナンス 때에 국부적으로 파손되어 버리는 것이 보통이지만 이로 인해 다시 보온시공하기 위한 메인テナンス 일수(日數) 보온 경비등의 부담을 느끼게 한다. 그래서 탈착(脱着)이 용이하게 하고 재사용이 가능한 보온재가 개발되고 있다. 이것은 로크울 보온판을 스테인레스 또는 알루미늄판으로 피복하여 적당한 크기로 분할한 것인데, 상호 긴결금구(緊結金具)로 연결할 수 있도록 설계되고 있다. 열교환기, 탑조류(塔槽類), 펄프, 밴드, 프랜지 등의 메인テナンス를 필요로 하는 각종 기기배관의 보온단열에 사용되고 있다.

석면

석면이란 천연적으로 생겨 섬유상태가 된 무기질 결정(結晶)광물(함수<含水> 산염 광물)의 총칭이며 일반적으로는 섬유로서 공업용으로 이용할 수 있는 성질을 가지고 있는 것을 가리킨다.

석면은 섬유의 집괴(集塊)로서 채출되며 이것을 개직(開織) 처리하여 면상(綿狀)으로 한 것이 공업재료로 이용되고 있다.

석면에는 사문석(蛇紋石)

광물에 속하는 크리스탈 일석면(溫<溫>석면)과 각섬석(角閃石) 광물에 속하는 아모사이드 석면, 안소피라이트석면, 크로시드라이트 석면(청석면), 트레모라이트 석면, 액티노라이트석기면이 있으나, 이들 중에서 크리스탈일 석면은 공업적인 가치가 크고 가장 많이 이용되고 있다.

크리스탈일 석면은 고대 그리스, 로마시대에 이미 알려져 있었다고 하지만, 공업적인 이용은 1870년대에 캐나다의 케벡주(州)에서 대광맥이 발견된 이후이다.

공업재료로서의 석면의 주된 가치는 섬유상(狀)인것, 불연(不然)으로 내열성이 있는 것, 우수한 섬유강도를 가진 것 등이지만 이 밖에 크게 비표면적 흡착특성, 내약품성,

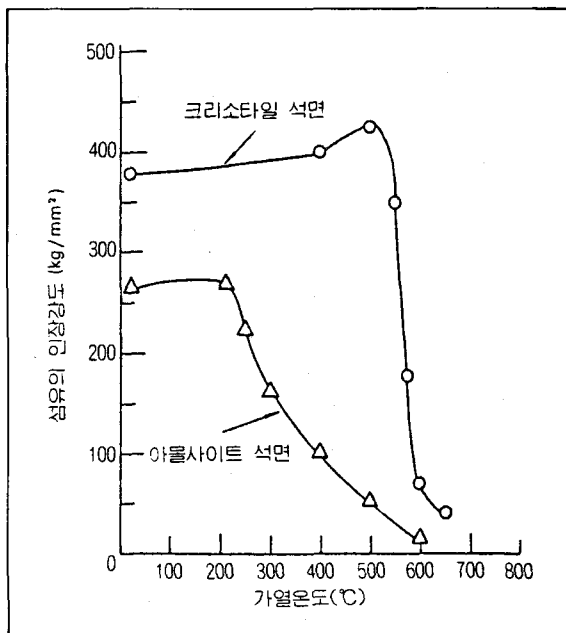
내노화성, 전기절연성 등 많은 특성을 지니고 있다. 석면은 종류마다 뛰어난 특성을 지니고 있으므로 주재료와 보강재료로서 광범위하게 이용되고 있다. 그 용도는 단열재료, 내열재료, 방화(防化) 재료, 내화피복재료, 건축재료, 시일재료, 전기절연재료 등 다방면에 걸쳐 있다. 여기서는 석면을 주재료로 하는 제품으로 에너지절약에 관계가 깊은 것에 한정해서 기술하겠다.

석면의 기초특성

석면 자체에 대해서는 지면의 관계로 공업적 이용도가 큰 크리스탈일 석면과 아모사이드 석면에 한해서 살펴보기로 한다.

1) 화학조성

크리스탈일 석면의 기본적인 화학구조는 $3MgO \cdot 2SiO$



〈그림20〉 석면섬유의 가열에 의한 강도변화

〈표5〉 크리스탈일 석면, 아몰사이트 석면의 화학조성범위

구 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	H ₂ O
크리스탈일 석면	37~44	0.2~1.5	0.1~5.0	0.0~6.0	Tr.~5.0	39~44	12~17
아몰사이트 석면	49~53	0.0~9.0	0.0~0.1	34~44	0.0~2.0	1.0~7.0	1.5~4.5

$2 \cdot 2H_2O$ 로 나타내며, 아모사이드 석면은 $5.5FeO \cdot 1.5MgO \cdot 8SiO_2 \cdot H_2O$ 로 나타내지만 이온치환과 잡(雜)광물에 의해 이것의 화학조성은 일반적으로 <표 5>에 나타난 범위이다.

2) 내열성

에너지절약에 관련된 석면 제품은 보통 열에 관계하는 부분에 사용되기 때문에 석면 섬유유의 내열성은 중요하다. 석면 섬유유의 가열에 의한 강도변화를 <그림 20>에 표시하였다.

석면은 온도 이상에서는 어떤 구조중 2가지의 철분산화와 결정수(結晶水)의 이탈, 다른 광물에서의 결정전이(轉移)등이 일어나므로 섬유는 열화(劣化)해서 강도는 저하되고 약해진다.

크리소타일 석면은 FeO 함유량이 40%정도로 많기 때문에 크리소타일 석면에 비해서 산화에 의한 섬유유의 열화가 일어나기 쉽고, 이 산화에 의한 섬유유의 열화는 200~300℃에서 시작된다.

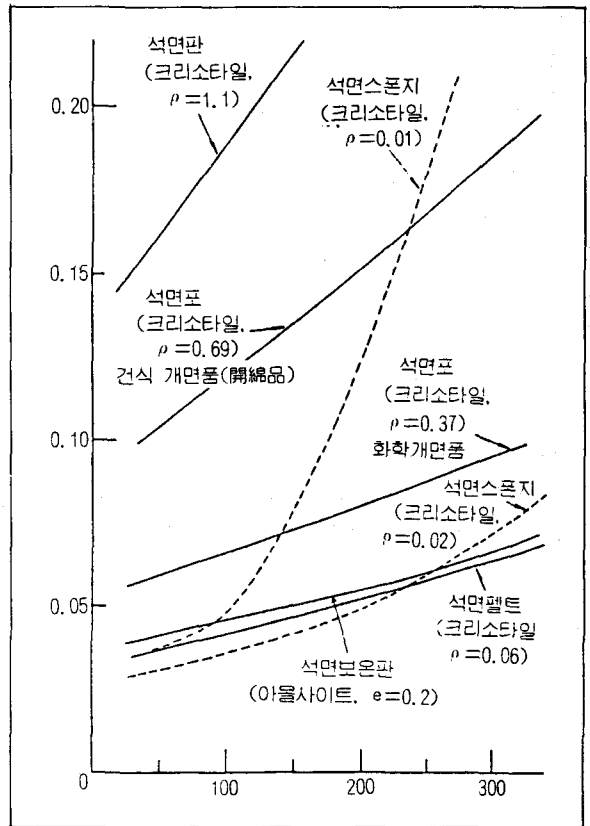
에너지절약에 관련된 석면 질재료

1) 석면의 종류와 석면질 단열재

크리소타일 석면과 아모사이드 석면은 그 특성이 서로 달라 이들 석면의 특성을 살린 단열재등이 만들어 지고 있다. 섬유질의 단열재 등은 일반적으로 내진성이 우수하지만 특히 석면질은 내진성(耐振性)이 좋다.

크리소타일 석면에서 만들어지는 단열재 등에는 석면계, 석면직포(織布) 석면 직포리본, 석면판 석면펠트, 석면스폰지, 디스크를 등이 있고 그

<그림 21>
석면을 주재료한 재료의 열전도율



외의 직포류로서 아모사이드 석면 로크올 그라스올 등을 중면(中綿)에 사용한 석면포단(布團) 석면보온판 등이 있다. 아모사이드 석면은 석면보온판, 석면보온통의 원료로서 이용되며, 또 석면포단, 석면보온판이 중면으로 사용되고 있다.

2) JIS에서 규정되고 있는 석면질재료

JIS에서 규정되고 있는 에너지절약에 관련된 석면질 재료에는 보온재(단열재)로서 석면보온판, 석면보온통, 석면보온판, 석면포단이 있고 보온재 이외로는 석면판, 석면포가 있다.

3) JIS에서 규정하지 않는 석면질재료

에너지절약과 관련된 석면

질재료에서 JIS에서 규정하지 않는 것에는 석면펠트, 석면직포리본, 디스크를 등이 있다.

4) 석면질재료의 단열특성

석면은 종류마다 우수한 특성을 가지고 있으므로 주재료와 보강재료로서 광범위한 용도에 이용되고 있지만, 에너지절약과 가장 연관이 깊은 단열재료로서의 특성만 기술하겠다.

석면을 주재료로 하는 재료의 열전도율은 <그림 21>에 든다. 단열, 보온을 목적으로 만들고 있는 재료는 일반적인 밀도가 $0.3g/cm^3$ 이하로 작고 열전도율도 작지만 다른 사용 목적을 가지고 있는 재료는 단열, 보온용의 재료에 비해서 일반적으로 밀도가 크고($0.3 \sim 1.2g/cm^3$), 열전도율도 크다.<계속>