

## 國產 Fly Ash의 特性 및 斷熱材로의 利用에 關한 研究

朴 金 詰 · 林 泰 榮

漢陽大學校 無機材料工學科

(1983年 3月 24日 接受)

### A Study on Properties of Domestic Fly Ash and Utilization as an Insulation Material

Keum-Churl Park and Tae-Young Lim

Dept. of Inorganic Material Eng. Han Yang Univ.

(Received March 24, 1983)

#### ABSTRACT

This study is to investigate the properties of domestic fly ash for utilization as data in regard to fly ash which is by-product of domestic coal power plants, and the possibility of utilization as insulation material of domestic fly ash.

Composition, refractoriness, size distribution, density, contents of hollow particles, and crystalline phase were examined as the properties of domestic fly ash.

As to the fired test pieces of fly ash by itself that varied contents of hollow particles with four kinds and of the fly ash - clay - saw dust system, linear shrinkage, bulk density, app. porosity, compressive strength, thermal conductivity and structures were investigated for the possibility of utilization as an insulation material.

The results are as follows;

#### 1. The properties of the fly ash

- i) The constituent particle of the fly ash is spherical and it contains not a few hollow particles (floats by water 0.30-0.50, floats by  $ZnCl_2$  aq. (SpG=1.71) 6.97-16.72%).
- ii) The chemical compositions of fly ash are  $SiO_2$  43.9-54.1%,  $Al_2O_3$  21.0-30.7%, Ig. loss is 7.4-24.1%, and the principal of Ig. loss is unburned carbon.
- iii) Fly ash was not suitable to use for mortar and concrete mixture because Ig. loss value is higher than 5%.

#### 2. Utilization as insulation material

- i) The test pieces of original fly ash, floats by water, floats by  $ZnCl_2$  aq. (SpG=1.71), p. p. t by  $ZnCl_2$  aq. (SpG=1.71) that were fired at  $1100^\circ C$  represented 0.11-0.18 Kcal/mh $^\circ C$  as thermal conductivity value.
- ii) The test pieces which (76.5-85.5) wt. % fly ash-(8.5-9.5) wt. % clay-(5.0-15.0) wt. % saw dust system, (68.0-72.0) wt. % fly ash - (17.0-18.0) wt. % clay - (10.0-15.0) wt. % saw dust system, and 59.5 wt. % fly ash-25.5 wt. % clay-15.0 wt. % saw dust system, were fired at  $1100^\circ C$ , the thermal conductivity was less than 0.1 Kcal/mh $^\circ C$ .
- iii) In view of thermal conductivity and economic aspect, insulation materials which added saw dust as blowing agent and clay as inorganic binder are better than that of fly ash as it is or separated hollow fly ash particles.
- iv) When the saw dust contents increased in the (59.5-90.0) wt. % saw dust system, and when amount of clay decreased and firing temperature decreased under the condition of equal addition of saw dust, app. porosity increased, but bulk density, compressive strength, and thermal conductivity decreased.

1. 緒論

1981年 現在 우리나라 發電施設量 構成比는 火力가 81.3%로서 그 중 석유화력이 71.3%이고 석탄화력이 10.0%인데 政府의 脫石油政策에 따라 석탄화력이 점차 증가된 가능성을 보이고 있다<sup>1)2)</sup>.

그러나 석탄화력의 발전량이 늘 경우 石灰에는 灰分이 많아서 석탄 使用量의 약 40%에 해당하는 炭渣가 발생할 것이므로<sup>3)</sup> 이 炭渣의 效果的인 活用 技法이 開發된다면 發電原價가 切下될 것이고 炭渣는 良好 副産資源이 될 것이다. 종래 fly ash는 그대로 큰크리트나 모르타르에의 혼합제로, 또는 燒結하여 輕質骨材로 많이 利用되어 왔으며<sup>4)5)</sup> 혼합제용 fly ash에 대해서는 品質이 規格化되어 있다<sup>6)7)</sup>. 또한 fly ash 중에는 cenospher라고 불리는 空洞粒子가 含有되어 있으므로<sup>8)</sup> 이 空洞粒子를 분리하여 鐵皮 構造物의 防熱板이나 窯爐用斷熱材 등을 製造한 바 있고<sup>9)</sup> NASA에서는 이를 Space shuttle의 斷熱材로 使用하기 위한 研究도 수행되었다<sup>10)</sup>. 뿐만 아니라 空洞粒子의 生成機理와 微構造에 관한 研究도<sup>11)12)</sup> 활발히 進행되고 있는데 반하여 우리나라의 fly ash에 대해서는 그 特性이나 利用에 관한 報告가 거의 없는 實情이다<sup>13)</sup>.

本 研究은 國産 fly ash의 特性을 調査 分析하여 活用을 위한 資料가 되게 하는 한편 이러한 fly ash를 斷熱材로 利用하기 위한 技法에 관한 것이다.

2. 實驗方法

2-1 fly ash의 特性 調査

(1) 試料

fly ash는 炭의 種類, 燃燒條件, 採取場所에 따라서 그 特性이 다르므로 本 實驗에서는 燃燒條件을 고려하여 삼척, 영동, 영월, 부산, 마산, 군산 등 모든 國內 石灰火力發電所에서 微粉炭 燃燒 boiler의 연도가스로부터 집진기에 의해 採取된 fly ash를 시트로 하였다.

(2) 組成 및 耐火度

化學分析은 KSL 3120(네화석들의 화학분석 방법), 工業分析은 KSM 2604(석탄류 공업분석 방법), 耐火度는 KSL 3113(네화석들의 내화도 시험 방법)에 따랐다.

(3) 粒度分析 및 比重測定

粒度分析은 습식 체가름 방법으로 하였으며 比重은 KSL 3114(네화 석들의 비중 및 기공률 측정 방법)에 따랐다.

(4) 空洞粒子 分離

중액 분리법은 이용하였으며 분리액으로는 물과 염화아연 수용액(SpG=1.71)을 使用하였다.

(5) 結晶相 및 熱化學變化

結晶相과 熱化學變化는 X線回折圖 DTA 및 TGA 曲線으로 測定하였다.

(6) 粒子의 形狀

반사 현미경을 사용하여 100배로 관찰하였다.

2-II 斷熱材로의 利用 研究

(1) 試料

① fly ash 單味燒結

fly ash 중의 空洞粒子의 含量이 斷熱材로서의 特性에 미치는 영향을 알아보기 위해 空洞粒子의 含量이 가장 많은 마산 발전소 fly ash를 각각 i) 採取한 그대로 (Original), ii) 물에서 부유된 粒子(flo. water), iii) 염화아연 수용액(SpG=1.71)에서 부유된 粒子(flo. ZnCl<sub>2</sub>), iv) 염화아연 수용액(SpG=1.71)에서 침강된 粒子(ppt. ZnCl<sub>2</sub>)의 4종으로 나누어 使用하였다.

② fly ash-粘土-토포믹스 燒結物

i) fly ash는 採取한 상태 그대로의 마산 발전소 fly ash를 使用하였으며 ii) 粘土는 粒度가 115 mesh 下이고 Table 1 과 같은 化學組成을 갖인 함평점토를 使用하였고, iii) 토포믹스는 粒度가 24mesh 下인 것을 使用하였다.

(2) 試片의 製造

각 試片의 組成은 單味燒結物에서는 粒子構成이 서로 다른 4가지의 fly ash 만을, fly ash-粘土-토포믹스 燒結物에서는 Table 2 와 같이 토포믹스는 0~15 wt. %까지 변화시키고 粘土는 fly ash에 대해서 10~30 wt. %가 되게 변화시켰다.

試片의 成形은 각 試料의 총중량 5g에 單味燒結 時는 5%의 PVA를, 粘土와 토포믹스 가해진 때는 15~20%의 물을 가하여 잘 혼합한 후 직경 1 inch의 원형금속 계 볼드를 使用하여 100kg/cm<sup>2</sup>의 壓力下에서 하였다.

(3) 燒成

Table 1. Chemical composition of Hampyeong clay

Constituent	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	lg. loss
Content (wt %)	52.92	22.37	1.89	0.27	0.58	5.87	15.41

Table 2. Batch composition of the test pieces.

Fly ash (%)	Clay (%)	Saw dust (%)
90.0	10.0	0.0
80.0	20.0	0.0
70.0	30.0	0.0
85.5	9.5	5.0
76.0	19.0	5.0
66.5	28.5	5.0
81.0	9.0	10.0
72.0	18.0	10.0
63.0	27.0	10.0
76.5	8.5	15.0
68.0	17.0	15.0
59.5	25.5	15.0

成形된 試片을 전기저항爐에서 200°C/hr의 昇溫速度로 所定의 燒成溫度까지 소성한 뒤 爐內에서 서서히 냉각시켰다.

(4) 特性 測定

① 燒成 線 變化率

燒成 線 變化率은 燒成前後의 試片의 直徑을 測定하여 나타내었다.

② 부피比重 및 겔보기 氣孔率

試片의 부피比重 및 겔보기 氣孔率은 KSL 3304(耐火 단열벽들의 비중 및 기공율 측정 방법)에 따라 측정하였다.

③ 壓縮強度

試片의 壓縮強度는 油壓式 압축강도 시험기를 사용하여 KSL 3305(耐火 단열벽들의 압축강도 시험방법)에 準해서 측정하였다.

④ 熱傳導率

試片의 熱傳導率은 日本 京都産業社의 열전법식 열전도는 측정장치를 사용하여 측정하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3-I fly ash의 特性

(1) 組成 및 耐火度

試料 fly ash의 化學 및 工業分析値와 耐火度는 Table 3과 같다. 표에서 보던 SiO<sub>2</sub> 함량은 43.9~54.1%이며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 21.0~30.7%, Ig. loss는 7.4~24.1%이고 耐火度는 SK 13+~18이다. 여기서 耐火度 값은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량이 증가함에 따라 커지는 경향을 나타내고 있으며 Ig. loss는 未燃炭素가 主要原因임을 알 수 있다.

(2) 粒度分布

試料 fly ash의 粒度分布는 Fig. 1과 같으며 44μm(325mesh) 이하의 微粒은 영월발전소 試料가 32%로 最低値이고 영동발전소 試料가 80%로 最高値를 나타내고 있다. 또한 74μm(200mesh) 이상의 粒子는 영월발전소 試料가 51%로 最高値이고, 나머지 試料들은

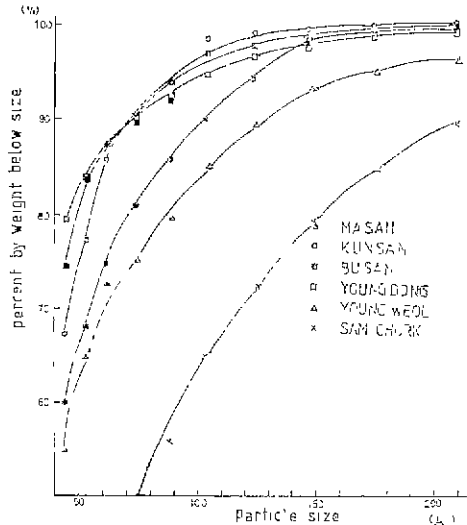


Fig. 1. Particle size distribution curves of fly ash

Table 3. Composition and refractoriness of fly ash

	Chemical Comp. (%)							Proximate comp. (%)			Refractoriness (SK)
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	Ig. loss	VM	AS	FC	
SAMCHURK	51.04	26.22	6.63	—	1.21	3.60	11.29	0.56	88.71	10.73	14+
YOUNGDONG	48.68	30.69	4.71	0.14	1.10	3.91	10.10	1.42	89.90	8.68	18
YOUNG WEOL	51.01	23.47	5.49	0.13	1.63	5.01	18.37	0.51	18.07	18.42	13
BUSAN	47.18	23.26	4.99	0.14	0.91	4.99	18.42	1.45	81.58	16.97	14
MASAN	54.06	26.42	5.63	0.14	1.21	5.02	7.40	0.85	92.60	6.55	14
KUNSAN	43.88	21.00	4.00	0.28	1.21	5.01	24.13	1.35	75.87	22.18	13+

Table 4. Density of fly ash.

	Density (g/cm <sup>3</sup> )	
	True	Apparent
SAMCHURK	2.317	2.234
YOUNGDONG	2.433	2.288
YOUNGWEOL	2.422	2.193
BUSAN	2.309	2.183
MASAN	2.457	2.232
KUNSAN	2.198	2.114

Table 5. Hollow particle contents of fly ash.

	Floats by water (%)	Floats by ZnCl <sub>2</sub> aq. (%)
SAMCHURK	0.43	13.46
YOUNGDONG	0.46	12.62
YOUNGWEOL	0.55	16.35
BUSAN	0.46	6.97
MASAN	0.50	16.74
KUNSAN	.30	10.22

8~25%를 나타내고 있다.

(3) 密度와 空洞粒子 含有率

試料 fly ash의 참밀도와 겉보기 밀도는 Table 4와 같다. 여기서 참밀도와 겉보기 밀도와의 차는 속이 빈, 즉 空洞粒子的 存在를 암시해주고 있다.

Table 5는 試料 fly ash의 空洞粒子 含有率을 나타낸 것이며 fly ash의 楕圓粒子的를 完全한 球形으로 보고 그 粒子가 同心의 空洞을 가졌다고 할 때 물 부유분의 경우는 密閉氣孔을 60% 이상 함유하는 입자를 나타내고, 比重 1.71의 鹽化아연 수용액 부유분의 경우는 密閉氣孔을 30% 이상 함유하는 입자를 나타낸다.

Table 6은 마산발전소 試料의 각 粒度別 鹽化아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분의 分率을 나타낸 것으로 微粒部보다 粗粒部에 空洞粒자가 많이 含有되어 있는 것으로 나타나고 있다.

(4) X線回折分析

Fig. 2.1은 試料 fly ash의 X線回折圖의 例로서 fly ash의 주된 結晶相은 다같이 α-Quartz와 Mullite로

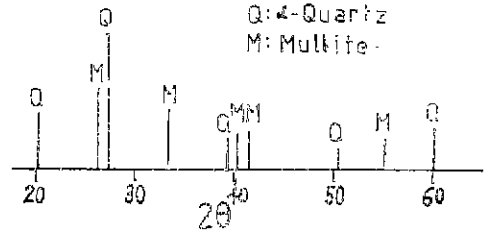


Fig. 2-1. X-ray diffraction pattern of MASAN fly ash.

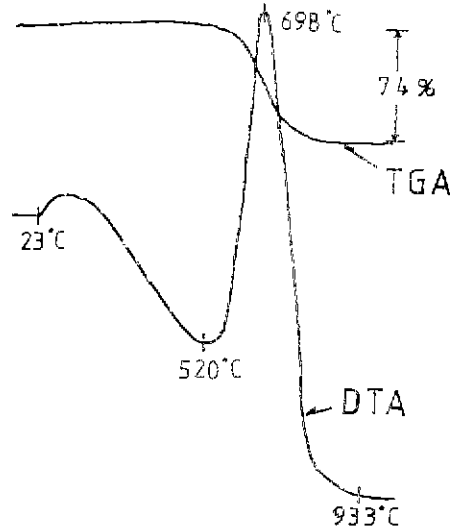


Fig. 2-2. DTA, TGA curves of MASAN fly ash

나타나고 있다. 또한 Fig. 2.2는 DTA, TGA 曲線의 例이며 fly ash는 다같이 520°C 근방에 무게감소가 있는 吸熱 peak가 있고 698°C 근방에는 무게減量이 있는 發熱 peak가 나타나고 있다. 前者는 石英의 α→β 轉移, 後者는 加燃成分의 燃燃때문인것 같다.

(5) 顯微鏡 觀察

Fig. 3은 fly ash 楕圓粒자의 形狀과 種類를 나타낸 마산발전소 試料의 100배 반사현미경 사진이다. a)는 약 200μm의 크기를 갖는 투명한 球形粒자를 나타내고 있으며 b)는 투명입자 사이에 끼어있는 未燃炭의 存在를 나타내고 있고 c)는 물에 부유된 투명한 空洞粒자를

Table 6. Distribution of hollow particles floated by ZnCl<sub>2</sub> aq. (spg. =1.71) of MASAN fly ash.

Particle size (mesh)	-24 +70	-70 +80	-80 +100	-100 +115	-115 +150	-150 +170	-170 +200	-200 +250	-250 +270	-270 +325	-325	Average
Floats by ZnCl <sub>2</sub> (spg=1.71) (%)	55.10	41.35	31.80	25.26	16.50	19.30	14.32	6.80	6.32	4.12	1.52	16.74

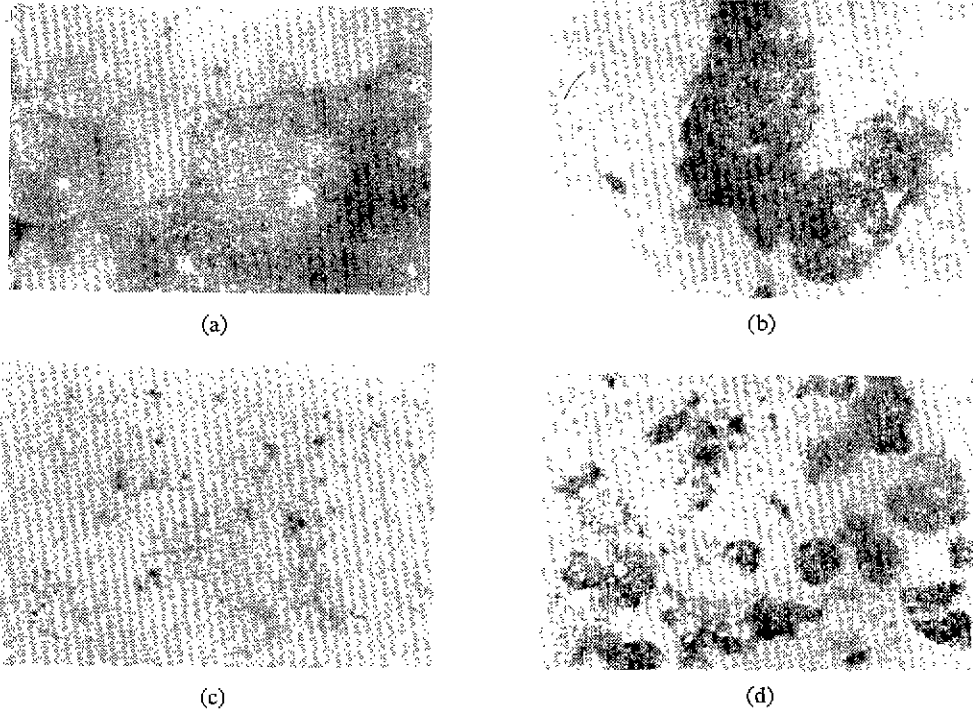


Fig. 3. Shape and size of fly ash particles. ( $\times 100$ )

(d)는 물에 침강된 粒子들의 形狀을 나타내고 있다.

이상으로 미루어 fly ash의 構成粒子는 球形의 것이 많고 空洞粒子는 투명한 유리질 겹질로 되어 있음을 알 수 있다.

### 3-II 斷熱材로의 利用

#### (I) fly ash 單味の 燒結特性

##### ① 燒成 線 變化率

燒成溫度에 따른 試片들의 線 變化率は Fig. 4와 같다. 여기서 보던 燒成 線 變化率は 대체로 燒成溫度가 높아질에 따라 커지고 있으며 燒成溫度 1100~1300°C 범위에서는 물에 부유된 것이 열화아연수용액 (SpG=1.71)에서 부유된 것보다 燒成 線 收縮率이 크게 나타나고 있으나 1300°C 이상에서는 반대현상을 보이고 있다.

##### ② 부피比重

Fig 5는 燒成溫度에 따른 試片들의 부피比重을 나타낸 것으로 燒成溫度가 上昇함에 따라 부피比重이 증가하고 있으며 물이나 열화아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분의 試片들이 다른 試片들보다 낮은 부피比重값을 나타내고 있다. 燒成溫度가 上昇함에 따라 부피比重이 커진 것은 燒結의 進行에 따른 것이며 부유분의 試片들이 낮은 부피比重값을 나타내는 것은 粒子 内部에 空洞을 많이 含有하고 있기 때문이라 여겨진다. 그리

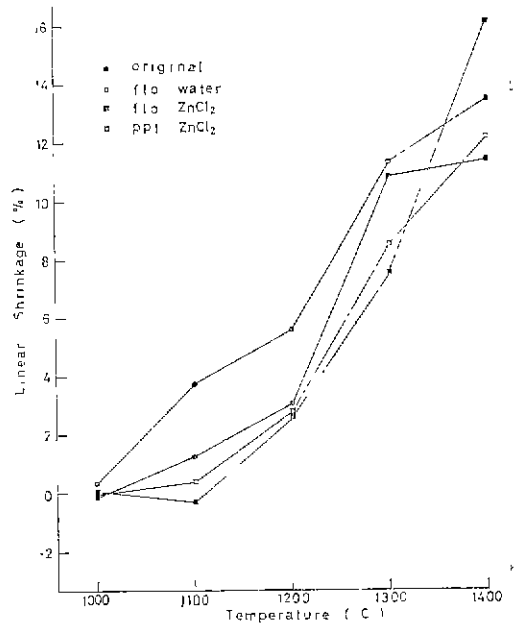


Fig. 4. Linear Shrinkage of test pieces with firing temperature.

고 1300°C 까지에서 물부유분으로된 試片의 부피比重이 열화아연 수용액에서의 부유분보다 큰 것은 Fig. 4

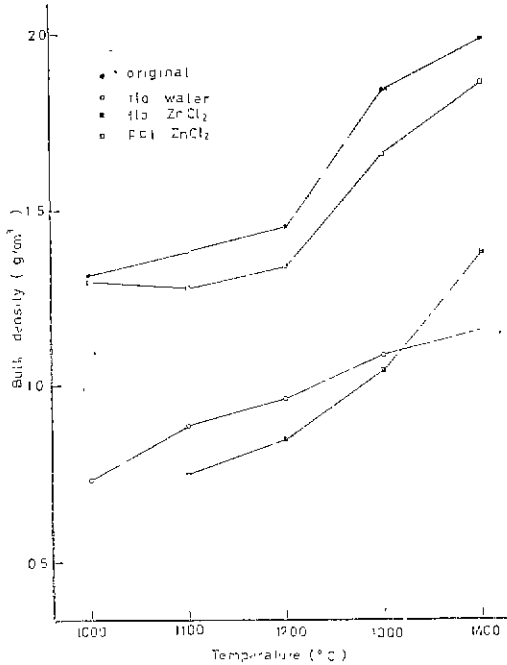


Fig. 5. Bulk density of test pieces with firing temperature.

의 소성 선수축률 관계로 미루어 염화아연 수용액 부유분이 融着이 더더기 때문이라고 보아진다.

③ 결보기 氣孔率

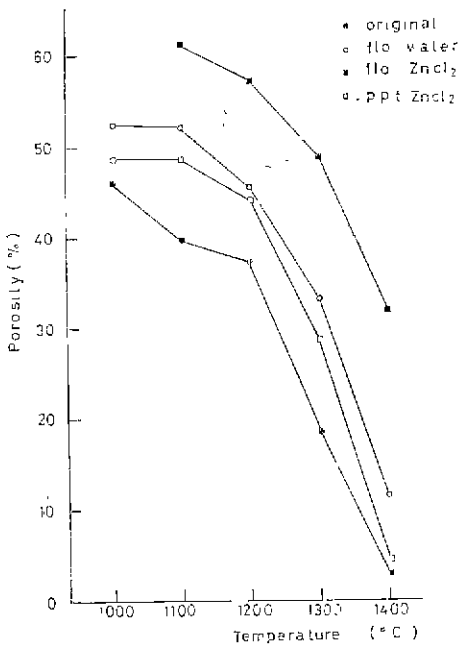


Fig. 6. App. Porosity of test pieces with firing temperature.

燒成溫度에 따른 결보기 氣孔率의變化는 Fig. 6과 같으며 소성은 온도가 높아지면 燒結이나 融着이 진행됨으로 결보기 氣孔率은 줄어들고 있으며 空洞粒子가 많은 부유분으로된 試片들의 결보기 氣孔率이 크게 나타나고 있다.

④ 壓縮強度

Fig 7은 壓縮強度變化에 따른 試片들의 壓縮強度를 나타낸 것으로 燒成溫度가 上昇함에 따라 燒結의 進行으로 強度는 증가하고 있으며 물 부유분을 제외하고 1300°C 이상의 고온영역에서 그 증가율은 크게 나타나고 있다. 1000°C~1200°C에서는 壓縮強度의 變化關係가 결보기 氣孔率이나 부피비중과의 관계고너는 燒成線 收縮率의 변화와의 關係가 크게 나타나고 있으며 물부유분과 같이 유리질 質料로 된 空洞粒子라 할지라도 입자들이 잘 融着되어 固體造紋型 構造를 이루면 강도가 크게 나타남을 알수 있다. 1300°C 이상에서 물부유분으로된 試片의 압축강도가 크게 낮아진 것은 일부 유리질 質料이 부풀고 터지는 등 bloating 現象이 일어나기 때문이라고 보아진다.

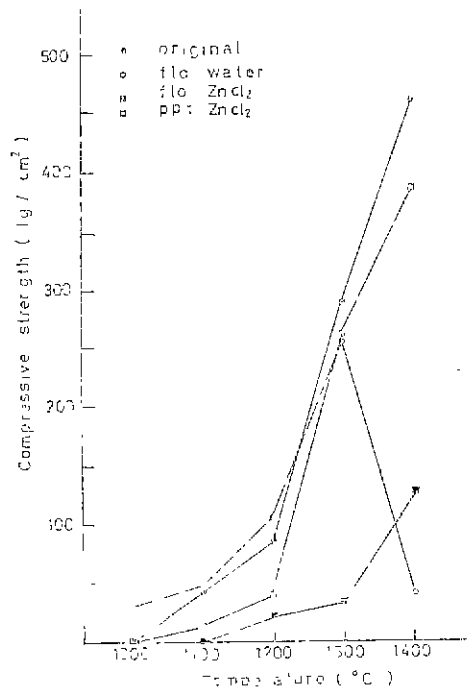


Fig. 7. Compressive strength of test pieces with firing temperature

⑤ 熱傳導率

燒成溫度에 따른 試片의 熱傳導率은 Fig. 8과 같으며 溫度의 上昇에 따라 燒結이 進行되어 부피비중이 커자

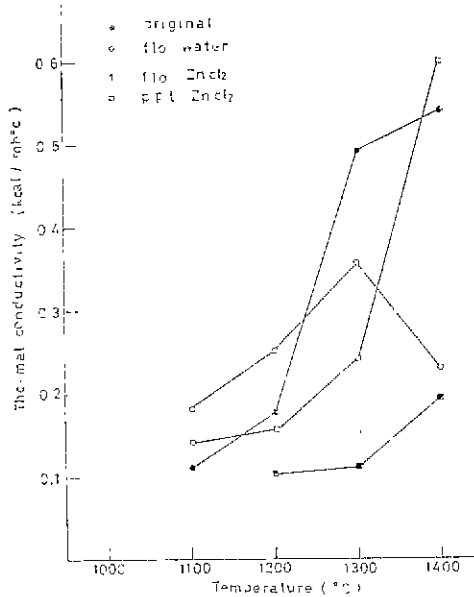


Fig. 8. Thermal conductivity of test pieces with firing temperature.

면서 熱傳導率값 또한 커지고 있다. 1100~1300°C에서 燒成된 試片의 熱傳導率은 耐熱強度가 낮은 것일수록 작아지고 있다. 1100°C에서 燒成한 試片들의 熱傳導率은 0.11~0.19kcal/mh°C 이고, 1200°C에서 燒

成한 試片들의 熱傳導率은 0.11~0.25kcal/mh°C로서 비교적 낮은 값을 나타내고 있다.

⑥ 顯微鏡 觀察

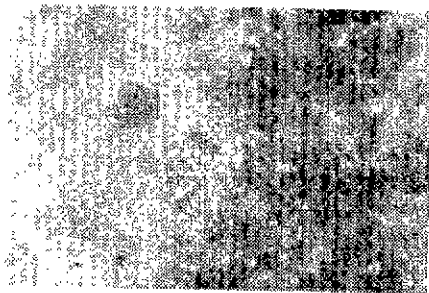
Fig. 9는 1300°C에서 燒成한 各 試片들의 組織을 100배의 放大率으로 나타낸 것으로 물이나 염화아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분 試片의 組織들은 주로 크고 작은 閉氣孔들이 獨立적으로 存在하는 多孔質 組織으로 觀察되고 있으나 矽質분 試片의 組織은 주로 粒子들간의 結合 部分에만 開放氣孔이 存在하는 組織으로 觀察되고 있다.

Fig. 10은 燒成溫度에 따른 염화아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분 試片의 燒結組織의 變化를 100배의 放大率으로 나타낸 것으로 溫度가 上昇함에 따라 粒子間격이 좁아지고 組織이 緻密해지고 있으며 1300°C 이상에서는 粒子들간의 neck 間격이 커지면서 燒結이 進行되고 있음을 觀察할 수 있다.

(2) fly ash—粘土—燐鎂系의 燒結特性

空孔粒子의 含量이 많지 않고 未燃炭素를 相當히 含有한 fly ash 燐鎂의 燒結組織보다 多孔質이 되게 하기 위하여 粘土를 結合材로 하고 fly ash 등의 未燃炭素와 첨가한 燐鎂를 可燃性 發泡劑로 한 試片의 特性은 Table 7과 같다.

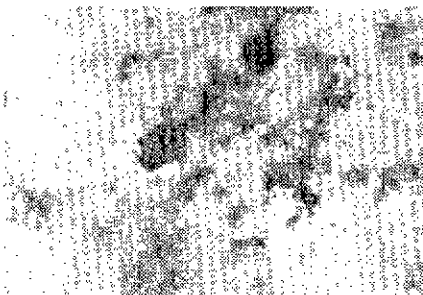
① 燒成 率 變化率



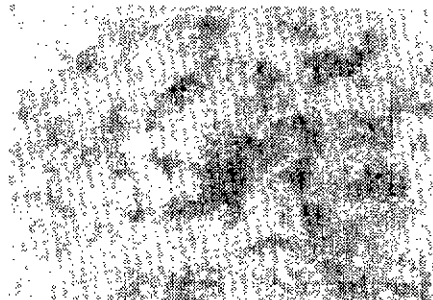
flo. water



flo. ZnCl<sub>2</sub>



original



p.p.t. ZnCl<sub>2</sub>

Fig. 9. Sintered structures fired at 1300°C. (×100)

Table 7. Properties of specimens of fly ash-clay-sawdust system

Batch composition (%)			Firing temp(°C)	Firing shrinkage (%)	Bulk Sp. G	App. porosity (%)	compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Thermal conductivity (kcal/mh° C)
Sawdust	Flyash	Clay						
0	90.0	10.0	1000	0.66	1.07	53.17	10.99	0.123
			1100	2.79	1.18	49.67	24.58	0.183
			1200	7.35	1.32	43.86	151.21	0.296
	80.0	20.0	1000	0.85	1.22	48.09	22.15	0.148
			1100	2.51	1.21	48.41	32.00	0.180
			1200	6.58	1.44	38.84	206.56	0.420
	70.0	30.0	1000	0.97	1.26	46.64	59.53	0.183
			1100	3.17	1.30	45.10	92.90	0.229
			1200	6.89	1.49	37.30	399.89	0.438
5.0	85.5	9.5	1000	0.66	1.01	55.11	7.33	—
			1100	2.51	1.06	55.27	19.05	0.098
			1200	6.77	1.23	48.42	33.32	0.163
	76.0	19.0	1000	0.77	1.06	54.57	16.12	0.126
			1100	2.59	1.12	52.05	22.86	0.129
			1200	6.00	1.29	45.50	122.92	0.194
	66.5	28.5	1000	1.35	1.13	52.53	44.65	0.148
			1100	2.79	1.19	49.81	76.80	0.210
			1200	6.58	1.43	40.32	264.39	0.336
10.0	81.0	9.0	1000	0.39	0.85	63.67	0.96	0.083
			1100	1.35	0.90	62.06	3.58	0.078
			1200	7.54	1.07	55.80	29.65	0.104
	72.0	18.0	1000	0.66	0.92	60.52	3.47	0.100
			1100	1.74	0.97	59.18	7.50	0.102
			1200	6.65	1.15	52.54	33.32	0.138
	63.0	27.0	1000	1.16	0.98	58.59	5.30	0.110
			1100	2.40	1.03	56.71	26.67	0.142
			1200	7.43	1.24	48.74	101.65	0.174
15.0	76.5	8.5	1000	-1.66	—	—	0.28	0
			1100	1.04	0.73	68.52	0.97	0.058
			1200	6.96	0.94	61.33	8.06	0.089
	68.0	17.0	1000	0.00	0.80	65.66	0.59	0.059
			1100	1.55	0.83	64.87	1.96	0.083
			1200	6.38	1.00	58.86	14.87	0.092
	59.5	25.5	1000	0.85	0.85	64.03	1.07	0.074
			1100	2.59	0.89	62.84	4.87	0.085
			1200	5.44	1.03	57.37	24.95	0.180



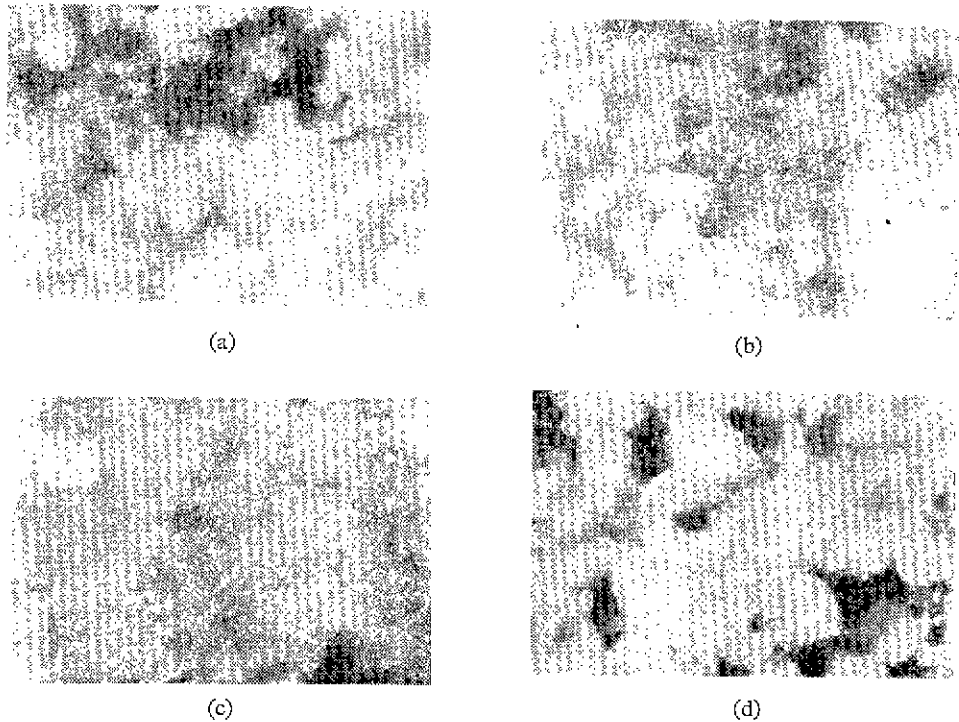


Fig. 10. Sintered structures of flo.  $ZnCl_2$  fired at (a) 1100 (b) 1200 (c) 1300 and (d) 1400°C ( $\times 100$ ).

試片의 燒成 線 收縮率의 變化 모양은 Fig. 11에 나타낸 바와 같이 燒成溫度가 높아짐에 따라 커지고 있으며 1000~1100°C 사이에서 보다 1100~1200°C 사이에서 더욱 큰 收縮을 보이고 있다. 또한 1000°C에서 燒成한 것은 粘土의 含量이 많은 것이 큰 收縮率을 나타내고 있으나 1200°C에서 燒成하면 粘土의 含量이 적은 것이 가장 큰 收縮率을 나타내고 있으며 이는 1000°C에서는 粘土가 1200°C에서는 fly ash가 각각 收縮을 지배함을 말해 주고 있다. fly ash—粘土系와 fly ash單味の 燒結 試片들을 비교해 보면 fly ash單味の 것은 1000~1200°C에서 0.2~3.0%의 燒成 線 收縮率을 나타내고 있는데 비해 (Fig. 4) fly ash—粘土系의 것은 0.7~7.4%로서 보다 큰 收縮率을 나타내고 있으며 이는 粘土가 fly ash의 燒結劑 役割을 하고 있음을 말해 주고 있다.

② 부피比重

試片의 부피比重의 變化 모양은 Fig. 12와 같이 一定한 燒成 溫度에서는 燻煤 첨가량에 따라 部피 比重은 거의 直線的으로 減少하고 있으며 燻煤 첨가량이 같을 경우에는 粘土의 첨가량이 적을수록 작은 部피 比重을 나타내고 있다. 또한 燻煤 첨가량이 같을 경우 燒成溫度가 낮을수록 작은 部피 比重 값을 나타내

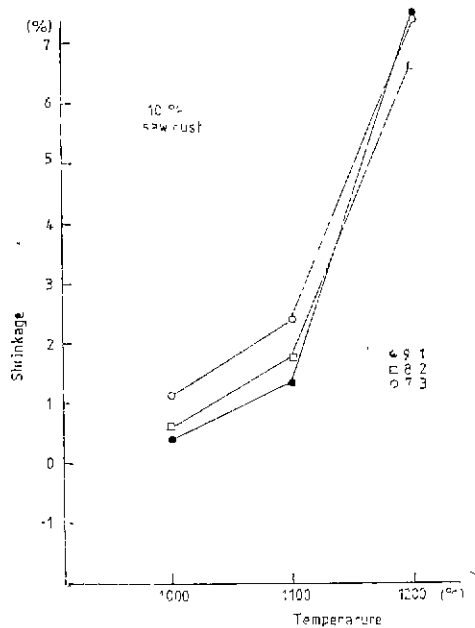


Fig. 11. Linear shrinkage of test pieces with firing temperature and with contents of saw dust.

고 있다 (Table 7). fly ash單味の 것과 비교하면 燒成溫度가 1100°C일 때 fly ash單味の 것은 열화아연 수용

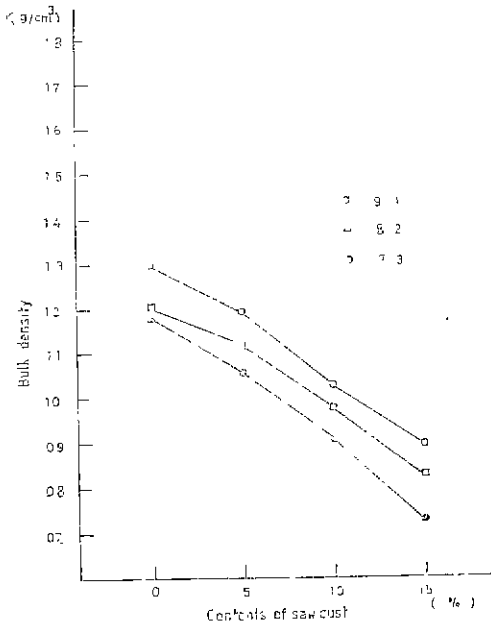


Fig. 12. Bulk density of test pieces fired at 1100°C

액 (SpG=1.71) 부유분이 부피比重 0.75로서 가장 작고 채취상태 그대로의 fly ash가 1.38로서 가장 큰데 fly ash—粘土—톱밥系에선 모든 組成의 것이 1.30 이하로 채취상태 그대로의 fly ash의 것보다 작고 76.5 wt% fly ash—8.5 wt% 粘土—15 wt% 톱밥系는 0.75으로서 염화아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분의 것보다 작다.

③ 겉보기 기공률

一定 燒成溫度에서 톱밥 첨가량의 변화에 따른 試片들의 겉보기 기공률의 변화 모양은 Fig. 13과 같으며 각 燒成溫度에서 톱밥 첨가량이 증가함에 따라 기공률은 거의 직선적으로 증가하고 있으며 톱밥 첨가량이 같을 경우는 粘土의 첨가량이 적을수록, 또 燒成溫度가 낮을수록 겉보기 기공률이 커지고 있다.

이것은 톱밥이 試片의 기공形成에 큰 效果를 나타내고 있고 粘土量이 적고 燒成溫度가 낮을수록 開放氣孔이 많이 形成되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 기공률 값을 fly ash 單味の 것과 비교해 보면 燒成溫度가 1100°C 때 fly ash 單味の 것으로는 겉보기 기공률이 가장 큰 것이 염화아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분의 52%이고 가장 작은 것은 채취상태 그대로의 것의 40%인데 fly ash—粘土系와 fly ash—粘土—톱밥系는 다같이 겉보기 기공률이 45% 이상이고 62% 이상의 겉보기 기공률을 갖는 系는 81.0wt. % fly ash—9wt. % 粘土—10 wt. % 톱밥系와 (59.5~76.5) wt. % fly ash—(8.5~25.5) wt. % 粘土—15 wt. % 톱밥系이다.

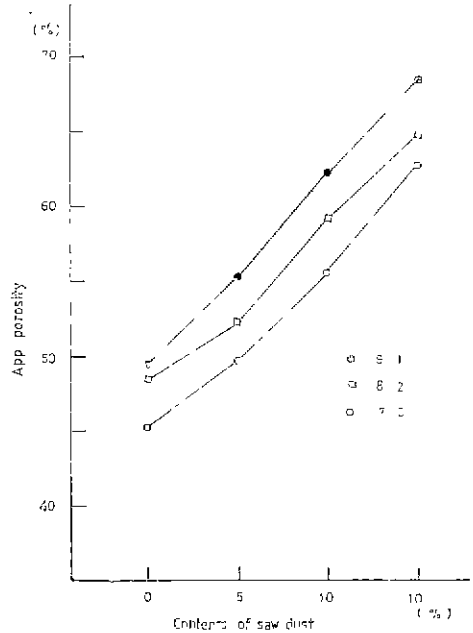


Fig. 13. App Porosity of test pieces fired at 1100°C

④ 壓縮強度

一定한 燒成溫度에서 톱밥 첨가량의 변화에 따른 試片들의 壓縮強度 變化關係는 Fig. 14와 같다. 톱밥의 첨가량이 증가할수록 壓縮強度는 현저하게 減少하고 있으며 톱밥의 첨가량이 같을 경우 粘土의 함량이 많을수록 燒成溫度가 높을수록 높은 強度를 나타내고 있다. 同一한 燒成溫度에서는 톱밥 첨가량이 적을 경우는 粘土의 함량에 대한 強度의 차이가 매우 크게 나타나고 있으나, 톱밥 첨가량이 많을 경우에는 粘土의 함량에 대한 強度의 차이가 작게 나타나고 있다. 이와 같은 사실은 톱밥 첨가량이 적거나 粘土 첨가량이 많을 경우, 또 燒成溫度가 높을 경우는 結合粘土層에는 기공률이 적어서 強度가 크게 나타나고, 톱밥 첨가량이 많거나 粘土 첨가량이 적은 경우, 또 燒成溫度가 낮을 경우는 結合粘土層에도 많은 기공이 存在하여 結合력이 弱化되기 때문으로 보아진다. 壓縮強度 값을 fly ash 單味の 것과 비교하면 燒成溫度가 1100°C 일때 fly ash 單味の 것으로는 염화아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분이 0.49kg/cm²로서 가장 적고 채취상태 그대로의 fly ash가 1.8kg/cm²로서 가장 크다. 그러나 fly ash—粘土系, fly ash—粘土—톱밥系는 다같이 2kg/cm² 이상이고 4.8kg/cm² 이상의 強度를 나타내는 것은 70.0 wt. % fly ash—30.0 wt. % 粘土系와 66.5 wt. fly ash—28.5 wt. % 粘土—5.0 wt. % 톱밥系이다.

⑤ 熱傳導率

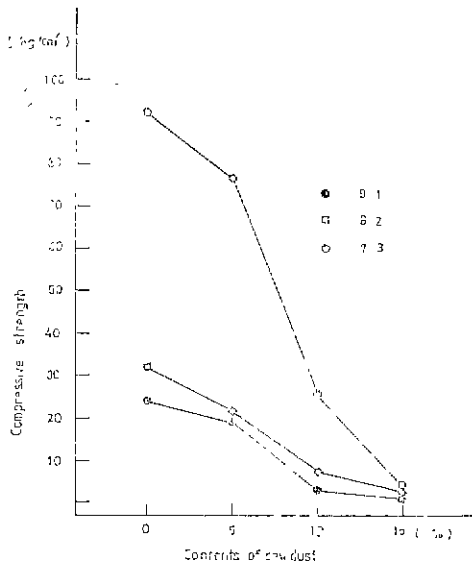


Fig. 14. Compressive strength of test pieces fired at 1100°C

Fig. 15는 一定 燒成溫度에서 燻煤 첨가량의 變化에 따른 試片들의 熱傳導率의 變化關係를 나타낸 것인데 燻煤의 첨가량이 증가할수록, 粘土의 함량이 적을수록, 燒成溫度가 낮을수록 熱傳導率은 減少하고 있고 이는 比重의 變化 양상과 거의 비슷하게 나타나고 있다. 그리고 低溫에서보다 高溫에서 燒成한 試片들이 燻煤 첨가량에 대한 熱傳導率 값의 차가 크게 나타나고 있다. 이들 값을 fly ash 單味の 것과 비교해 보면 1100°C로 燒成한 것은 fly ash 單味の 경우 채취상태 그대로의 것이 0.12kcal/mh°C로서 작은 편이고 물 부유분이 0.18kcal/mh°C로서 큰 값에 속한다.

그런데 (76.5~85.5) wt% fly ash—(8.5~9.5) wt. % 粘土—(5.0~15.0) wt % 燻煤系, (68.0~72.0) wt. % fly ash —(17.0~18.0) wt. % 粘土—(10.0~15.0) wt % 燻煤系, 59.5 wt. % fly ash —25.5 wt. % 粘土—15.0 wt. % 燻煤系는 더질이 0.12 kcal/mh°C 보다 작은 熱傳導率 값을 나타내고 있고 (66.5~70.0) wt % fly ash —(28.5~30.0) wt.% 粘土—(0.0~5.0) wt.% 燻煤系는 0.18kcal/mh°C 이상의 값을 나타내고 있다. 따라서 fly ash를 채취상태 그대로, 또는 空洞粒子만을 分離하여 單味로 斷熱材로 하는 것보다는 粘土와 같은 無機質結合材의 燻煤과 같은 發泡劑를 加하여 斷熱材로 하는 것이 熱傳導率 면에서, 또 경제적인 면에서 좋다고 思料된다.

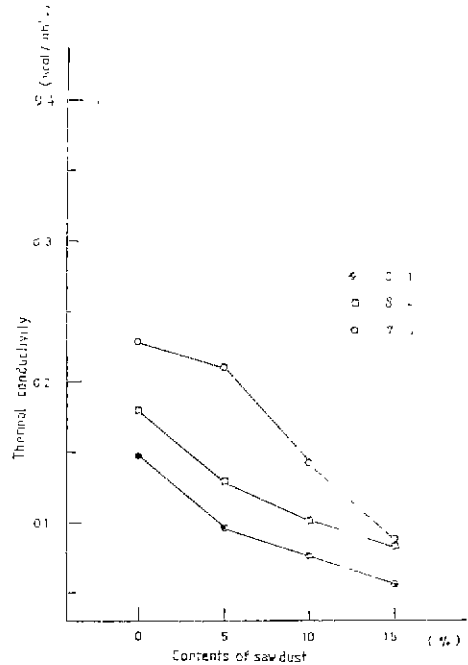


Fig. 15. Thermal Conductivity of test pieces fired at 1100°C

#### 4. 結 論

國産 fly ash의 特性調査 및 斷熱材로서의 利用에 關한 實驗을 통해 얻어진 結果는 다음과 같다.

##### (1) 國産 fly ash의 特性

i) fly ash의 構成粒子는 球形이며 空洞粒子를 상당량(물 부유분 0.30~0.50% 열화아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분 6.97~16.72%) 함유하고 있다.

ii) fly ash의 化學組成은 SiO<sub>2</sub>가 43.9~54.1% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 21.0~30.7%, Ig. loss가 7.4~24.1% 이며 Ig. loss는 未燃炭素가 主要原因이다.

##### (2) 斷熱材로서의 利用

i) 채취상태 그대로의 fly ash, 물 부유분 열화아연 수용액 (SpG=1.71) 부유분, 열화아연 수용액 (SpG=1.71) 첨가분을 각각 1100°C로 燒成한 試片은 0.11~0.18kcal/mh°C의 熱傳導率을 나타냈다.

ii) (76.5~85.5) wt.% fly ash—(8.5~9.5) wt.% 粘土—(5.0~15.0) wt.% 燻煤系, (68.0~72.0) wt.% fly ash—(17.0~18.0) wt.% 粘土—(10.0~15.0) wt.% 燻煤系, 59.5 wt.% fly ash—25.5 wt.% 粘土—15.0 wt.% 燻煤系를 1100°C에서 燒成한 것은 0.11kcal/mh°C 이하의 熱傳導率을 갖는다.

iii) fly ash를 채취상태 그대로, 또는 空洞粒子만을

分離하여 單味로 斷熱材로 하는 것보다는 粘土와 같은 無機質結合材와 燄발과 같은 發泡劑를 加하여 斷熱材로 하는 것이 熱傳導率 면에서, 또 경제적인 면에서 좋다고 思料된다.

iv) (59.5~90.0) wt. % fly ash—(3.5~30.0) wt. % 粘土—(0.0~15.0) wt. % 燄발系에서 燄발 첨가량이 많을수록, 燄발 첨가량이 같을 때는, 粘土 첨가량이 적고 燒成溫度가 낮을수록, 결보기 氣孔率은 커지고, 부피비중, 압축강도, 열전도율은 작아진다.

感謝의 글

本 研究는 1982年度 韓國科學財團研究費로 이루어진 것으로 同財團에 感謝를 드린다.

### 參 考 文 獻

1. 金 善 “電力産業 I” 産業技術 (한국산업은행刊) NO. 156. P. 55 (1979)
2. 廢資原研究室 “石炭의 産業利用 擴大에 따른 問題點과 對策에 관한 研究” 에너지研究(動資部研究所刊) 겨울호 P.102-124 (1982)
3. 中原萬次郎, 村上惠一著, セメント石膏 石灰(工業化學全書 7) P.118 日刊 工業新聞社刊 (1960)
4. F. M. Lea “The chemistry of cement and concrete” 3rd edition P. 421, p. 582 Chemical Pub. Co. Ltd. (1971).
5. J. Beretka “Utilization of fly ash in Australia”

- Energy and Ceramics p. 335-46 Elsevier, Sci. Pub. Co. (1980).
6. 中原萬次郎, 村上惠一著, セメント石膏 石灰(工業化學全書 7) P.122. 日刊 工業新聞社刊 (1960)
7. “Fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete” Annual book of ASTM Standard ANSI/ASTM C618-80, p. 370-73 (1980).
8. E. RAASK “Cenosphere in Pulverized Fuel-Ash” *J. Inst. Fuel.* 41(332) p. 339-44 (1968).
9. A. BRJGG “High quality thermal insulation materials from power station ash” Energy and ceramics p. 318-334, Elsevier, Sci. Pub. Co. (1980).
10. A Tobin, C. Feldman, M. Russak and J. Reichman “Development of Closed pore insulation material” tech. report NASA CR-2254 (1973).
11. G. L. Fisher “Fly ash collected from electrostatic precipitators: microcrystalline structures and the mystery of the spheres” *J. Sci.* Vol. 192, p. 553-55 (1976).
12. G. L. Fisher “Physical and Morphological Studies of Sized-Classified Coal Fly ash” *Am. Chem. Society.* 12,(4) p. 447-51 (1978).
13. 金宗協 “高嶺 slag 및 fly ash의 利用에 관하여” *Cement* 62(3) p. 53-54 (1976)