

# 火力發電所에서 副産되는 石炭灰의 工學的 特性

Engineering Characteristics of Coal Ash from Thermal Power Plants

千 柄 植\*  
Chun, Byung Sik  
曹 泳 求\*\*  
Cho, Young Ku

## Abstract

At the present time, annually about 2 million tons of coal ashes are generated from thermal power plants in Korea, however, they are dumped into ash ponds mixed with sea water very expensively. In this thesis, engineering characteristics of bituminous and anthracite ashes are studied to utilize them as construction materials.

The coal ash is non-plastic material and its grain size falls in the range of silt, but it has better soil engineering characteristics than general soils of same grain size. For example, the permeability, shearing strength, CBR, and consolidation properties match to that of sandy soils, moreover, strengthening by hydration can be expected with the lapse of year because of CaO presence in the components. So, utilizing those coal ashes in a productive way as reclamation or banking materials is expected.

## 要 旨

本 研究은 國內 火力發電所에서 年間 約 200 萬噸 以上 集中大量으로 副産되어 莫大한 經費로 바다 灰捨場에 廢棄되고 있는 無用한 石炭灰를 建設材料로 活用하고자 無煙炭灰와 有煙炭灰에 대한 工學的 特性을 究明한 것이다.

石炭灰는 非塑性으로서 그 粒度는 大略 실트 범위에 속하나 그 透水性, 剪斷強度, CBR 및 壓密特性 등이 同一 粒徑의 일반흙에 비해 매우 有利한 土質工學的 特性을 갖고 있음을 알 수 있었으며 더욱 CaO 등의 化學的 成分을 갖고 있어서 時間이 經過함에 따라 水和作用에 의한 強度增加가 豫상된다. 따라서 建設工事에서 盛土·埋立材料로서의 活用이 期待된다.

## 1. 序 論

우리나라도 工業이 發達함에 따라 에너지需要가 크게 增加하여 石油, 石炭, gas 및 우라늄

등의 海外輸入量 또한 擴大一路에 있다. 石炭은 國內唯一의 火石燃料로서 低品位의 無煙炭이기는 하지만 脫油代替에너지 資源으로서 그 使用 價値가 있을 뿐 아니라 高燃量의 輸入有煙煙은 國內에서는 아직도 가장 低廉한 에너지源으로 評價되고 있다. 그러나 石炭의 使用에는 公害問

\* 正會員·漢陽大學校 工科學 副教授, 土木工學科

\*\* 正會員·韓國電力株式會社 土木課長

題, 輸送問題, 灰處理問題 등이 隨伴되어 여러 가지 立地制限을 받고 있으므로 이의 大量消費는 바다에 隣接한 産業施設에서만 이루어지고 있는 實情이다. 위와 같은 事情으로 2001년까지의 長期電源開發計劃에 의하면 新規大型發電所의 建設은 大部分 原子力과 有煙炭으로 構成되어 있고 總發電量의 42%를 有煙炭火力發電所가 1.3%를 無煙炭火力發電所가 擔當하게 된다.<sup>(4)</sup> 使用石炭 重量에 대한 灰發生比率는 無煙炭은 約 50%, 有煙炭은 約 15%로서 現在 有·無煙炭은 約 2百萬噸/年씩이 副產되고 있으나 해마다 增加되어 2000年度에는 約 5百萬噸/年以上이 副產될 것으로 展望된다.<sup>(5,6)</sup>

비좁은 國土與件이 老대한 灰捨基(火力發電所 500 MW×6基에 5~6 km<sup>2</sup>)을 收容하기 어려운 形편이므로 敷地確保가 至難하고 工事費(km<sup>2</sup> 당 20~40 억원)가 莫大한데다 環境도 不良하여 石炭使用 火力發電所立地도 隣近 住民들로부터 強力히 忌避되고 있고 壽命이 完了된 灰捨場의 將次 活用對策이 樹立되어 있지 않다.<sup>(4)</sup> 그 理由는 通常의 石炭灰 利用方案은 大部分이 製品化에만 集中되어 少量(發電所 副生分の 約 5%)만이 利用되고 있을 뿐 大量的 混合灰는 灰捨場에 埋立, 廢棄되고 있으므로서 灰處理의 根本的인 問題가 未解決 狀態에 있다.

石炭灰를 처음 利用한 예로는 古代 Rome時代 火山灰가 大量堆積한 Pozzoli 地方에서 火山灰에 石灰를 配合하여 굳히면 단단한 block 이 만들어짐을 發見하고 Clandia 의 水路橋에 이 mortar로 石材를 쌓았던 흔적이 發見되므로서 pozzolan 이란 명칭을 붙여 사용하고 있다. 이 火山灰와 燒石灰의 混合材는 1824年 portland cement가 發明되기까지 基本的 結合材로서 쓰여졌다. 石炭灰의 利用을 위한 研究는 1940年代末부터 進行되어 주로 콘크리트 혼화제로 사용되어 왔고 최근 先進國에서는 埋立·盛土材로 大量 利用되고 있으나 우리나라에서는 製品化에만 置重하고 있을뿐 埋立·盛土材로는 公式的으로 研究開發되어 利用되고 있지 않다.<sup>(5,6)</sup>

한 편, 우리나라는 1980~1985 사이에 151 km<sup>2</sup>의 國土擴張이 干拓 등을 통하여 이루어졌고 山地는 317 km<sup>2</sup>, 農耕地는 514 km<sup>2</sup>가 減少하였으

나 垜地, 工業用地, 公共用地 등의 土地利用이 每年 70 km<sup>2</sup>씩 增加하는 등 앞으로 엄청난 埋立土가 必要할 것으로 생각된다. 發生灰의 大部分이 폐기되고 있는 大量的 灰를 어떻게 하면 海岸埋立 등의 盛土材로 活用하여 灰捨場規模를 줄일 수 있겠는가 앞으로의 石炭火力立地와 그 運用의 當面課題가 되고 있다.

이의 무난한 解決은 莫大한 工事費가 所要되는 灰捨場을 大幅 縮小하여 國土를 보다 効率的으로 利用하고 工事費를 大幅 節減시킬 뿐 아니라 環境도 改善하면서 國土開發에 有益하게 活用하여 對官, 對民의 石炭火力 立地에 대한 抵抗感도 줄이고 國家豫算도 줄일 수 있을 것이다. 또한 遊休産業 副產物을 効率的으로 利用하므로서 灰의 資源化가 可能하고 埋立完了된 發電所 灰捨場의 工業用地 등으로의 活用도 可能할 것이다. 위와 같은 여러 點에 着眼하여 發電所에서 集中 大量으로 排出되고 있는 無用한 灰를 埋立·盛土材 등으로 活用코자 이의 工學的 特性을 把握하여 이의 具體的 活用을 圖謀코자 한다.

## 2. 石炭灰의 發生과 利用

### 2.1 石炭灰의 發生過程

石炭이 完全 燃燒하고 나면 무기질의 미연소 고체 찌꺼기를 石炭灰라고 한다. 미분탄을 使用하고 있는 石炭火力發電所에서는 연소후 發生되는 石炭灰가 爐의 아랫부분에서 나오는 底灰(bottom ash)와 排氣개스와 함께 날아가는 飛灰(fly ash)로 區分되어 發生되고 있다.

bottom ash의 크기는 clinker 모양이므로 clinker ash라고도 하며, fly ash는 公害防止 施設인 집진기(electro static precipitators), filter, scrubbers 등을 利用하여 排氣 gas로부터 分離된다.

fly ash는 질탄기와 공기 예열기에서 채취되는 clinder ash (or stockingash)와 전기집진기에서 채취되는 EP ash로 區分된다. cinder ash는 0.1~0.4 mm 입자이고, EP ash는 20~30 $\mu$  정도이다.

bottom ash, cinder ash, EP ash의 發生比率는 10~25% : 5% : 70~80%로서 fly ash가

石炭灰의 80~90%를 차지하고 있다<sup>(3)</sup>.

石炭灰의 處理는 小規模 보일러나 産業用 보일러 等에서는 乾式방법을 使用하나 國內 發電所에서는 습식방법을 채택하고 있다. 그러나 일부 飛灰는 製品化 等に 利用하기 위하여 싸이로를 利用하여 乾식으로도 채취하고 있다.

보일러의 bottom ash hopper에서 배출되는 灰는 물과 혼합되어 hopper의 유출구를 통하여 clinker crush에서 管内 마찰을 줄이기 위해 미세하게 분쇄하여 jet pump로 灰處理場까지 운반된다. 대부분의 경우 飛灰水流輸送方式은 底灰 直接灰處理方式(direct sluicing system)의 pressure source와 sluice pipe line을 共同으로 使用한다. 이러한 輸送上의 問題로 國內 石炭火力에서 發生되고 있는 灰는 fly ash와 bottom ash가 海水와 混合되어 混合灰로 處理되고 있다. 例外的으로 寧越火力만이 담수를 使用하고 있다.

### 2.2 石炭灰의 化學的 性質

國內에서 生産되고 있는 無煙炭과 輸入有煙炭의 化學的 特性은 表 2.1과 같다.

國內 無煙炭의 경우 寧越·嶺東火力에서의 灰 發生比는 使用重量의 42.45~43.86%에 達하나 大川地域의 저질탄을 使用하고 있는 서천화력은 58.17%에 達하고 있다. 이러한 灰의 比重은 1.84~2.28인데 fly ash는 2.0~2.28로서 bottom ash의 1.84~2.02보다 약간 높은 편이다. 輸入有煙炭灰의 發生比는 灰使用量의 約 15%이다.

표 2.1 Coal Ash Components<sup>(2)</sup>

種 類	國內無煙炭	輸入有煙炭
Ash 發生 (%)	42.45~58.17	0.15
Ash의 化學性分		
SiO <sub>2</sub> (Wt %)	55.79~58.32	57.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (〃)	19.44~22.14	29.2
Fe <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (〃)	8.98~11.20	4.4
MgO (〃)	0.76~ 2.44	0.9
CaO (〃)	0.43~ 1.46	2.7
Na <sub>2</sub> O (〃)	0.88~ 3.12	0.3
K <sub>2</sub> O (〃)	2.44~ 5.22	0.7
TiO <sub>2</sub> (〃)	0.27~ 0.68	1.3
Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +K <sub>2</sub> O(〃)	—	1.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +CaO	—	—

표 2.2 Status of Coal Ash Utilization in Korea<sup>(2)</sup>

(1982년 기준)

區 分	Fly Ash	고로 Slag	Bottom Ash
發 生 量(톤/년)	664,138	3,041	
利 用 項 目			統 計
(1) Cement 分野	20%	27%	없 음
(2) 골 재	—	10%	
(3) 내화벽돌원료	0.04%	—	
(4) Rock Wool	—	0.3%	
(5) 비 료	—	9%	
(6) 기 타	0.5%	6%	
計	20.5%	52%	

石炭灰 性分의 半을 차지하고 있는 SiO<sub>2</sub>는 물과 接觸하면 미량의 SiO<sub>2</sub>가 溶出하며, CaO와 水和하여 Fly Ash 表面에 치밀한 水和物을 形成한다. CaO가 1%미만일 때는 수화반응이 매우 느리게 일어난다.

水硬性 發見時 알칼이 자극제의 存在下에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 加해지면 CaO SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nH<sub>2</sub>O 등의 水和生成物인 Gel을 형성한다.

그러므로 시멘트 원료로서 粘土는 SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=4.25이지만 石炭灰는 SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=2 前後로서 적다. 따라서 石炭灰를 利用할 때는 SiO<sub>2</sub>를 補充해야 한다.

### 2.3 國內外 利用現況과 展望

외국의 석탄회 유효이용은 그 나라의 國土與件을 반영하듯 이용율에서 큰 차이가 있음을 쉽게 발견할 수가 있다. 유럽이나 일본같은 나라는 50% 이상을 現在 活用하고 있으며 美國의 경우에도 石炭灰處理 Manual<sup>(7)</sup>을 作成하여 運用하고 있는 實情이다.

國內의 石炭灰 活用現況은 表 2.2와 같다. 國內에서 副産되고 있는 石炭灰는 크게 fly ash, bottom ash, 製鐵所의 고로 slag, 煙炭재로 大別되고 있으나 연탄재는 全國에 分散되어 小量으로 排出돼 쓰레기로 매립, 폐기되고 있는 실정이므로 效果的으로 이용이 困難하다. 1982년도 기준으로 有效하게 이용되고 있는 것은 제철소에서 발생되고 있는 고로 slag의 52%와 시멘트 工場과 發電所에서 발생되고 있는 fly ash의 20.5%에 불과하고 大量으로 集中排出되고 있

는發電所의 混合灰는 全量이 灰捨場에 廢棄되고 있다.

### 3. 實驗

#### 3.1 試料土 및 實驗方法

試料土의 採取場所는 無煙炭發電所인 嶺東火力發電所를, 有煙炭發展所인 保寧火力發電所를 선정하였다. 國內發電所에서 發生되고 있는 石炭灰는 粉碎된 底灰가 海水와 混合되어 灰捨場에 침전 처리되는 混合灰와 시멘트 등에 使用키 위해 별도로 장치된 싸이로에서 채집된 飛灰뿐이므로 이 두 種類를 試驗對象으로 하였다. 순수한 底灰의 採取는 發電所 施設關係로 事實上 不可能한데다 排出되고 있지 않았다.

試料土의 採取는 飛灰는 집진기에서, 混合灰는 現發生狀態를 基準하여 灰捨場에서 各各 60 kg씩 採取하였다.

흙의 物理試驗으로는 粒度分析 및 比重試驗을 實施하였다. 흙의 力學試驗으로는 A-1 및 D-2 方法으로 다짐試驗 變水位透水試驗, 急速直接剪斷試, CBR 試驗, 驗壓密沈下特性등을 檢討코자 保寧火力 및 嶺東火力의 飛灰와 混合灰등 4가지의 各試料에 對한 土質試驗을 實施하였다.

#### 3.2 實驗結果 및 分析

實驗成果는 表 3.1과 같다.

##### (1) 物理的 性質

自然狀態의 Fly Ash는 最大粒徑이 0.08mm 程度이며 0.074mm(No. 200체) 以下되는 微粒子가 大部分을 차지한다. 混合灰는 最大粒徑이 2.0mm, 0.074mm~2.0mm 사이에 分布하는 Sand의 含有率이 約 70%, 0.074mm 以下되는 微少量의 微粒子로 構成되어 있다. 그림 3.1은 飛灰와 混合灰에 對한 粒度分布曲線을 比較하여 나타낸 것이다. 飛灰는 대체로 外國試驗值와 비

표 3.1 Engineering Properties of Coal Ash by Soil Test

區分	種類	有煙炭(保寧火力)		無煙炭(嶺東火力)		備 考
		飛 灰	混 合 灰	飛 灰	混 合 灰	
土質分類	三角	Silty Loam	Silty Loam	Silty Loam	Sandy Clayey Loam	NON PLASTIC
	統一	ML	ML	ML	SC	
Gs		2.099	2.21	2.34	2.29	
K(cm/sec)		$2.130 \times 10^{-5}$	$2.893 \times 10^{-5}$	$1.883 \times 10^{-5}$	$1.543 \times 10^{-5}$	95% A-1 다짐
$\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )		1.321	1.382	1.520	1.375	A-1, O.M.C
$\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )		1.486	1.590	1.700	1.450	D-2, O.M.C
$\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )		0.845	0.979	1.086	0.876	건조 상태, 다짐을 않은 상태
$\gamma_t$ (g/cm <sup>3</sup> )		0.894	1.034	1.137	0.914	자연상태
$\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )		1.321	1.382	1.520	1.375	A-1 다짐
		1.486	1.590	1.700	1.450	D-2 "
O.M.C(%)		27.50	26.25	20.20	22.50	A-1 "
		26.40	25.60	20.20	21.90	D-2 "
C.B.R(%)		2.54	7.3	3.0	31.5	
C(kg/cm <sup>2</sup> )		0.025	0.015	0.01	0.01	95% A-1 다짐
$\phi$ (°)		32.0	34.0	31.0	35.0	"
Cc		0.113	0.051	0.065	0.032	"
Po(kg/cm <sup>2</sup> )		0.28	0.39	0.38	0.24	"

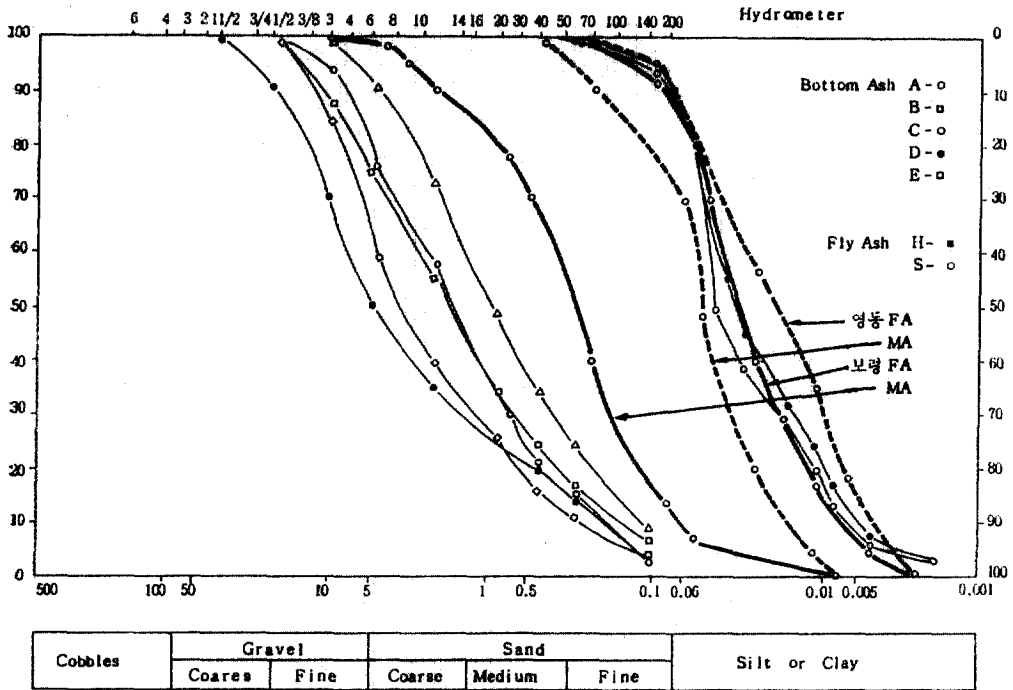


그림 3.1 Grain Size Diseribution of Coal Ash

숫하나 混合灰는 底灰와 상당히 다른 粒度로 나타났다. 그 原因은 混合灰의 構成이 飛灰와 底灰의 混合으로 이루어졌기 故로 判斷된다. 特히 有煙炭灰가 無煙炭灰에 비해 粒度가 高르지 못한 것은 水流輸送時 지나치게 粉碎하였기 故로 判斷된다.

飛灰의 比重은 보령화력의 경우 2.099, 嶺東火力の 경우 2.34로서 有煙炭 飛灰의 比重이 無煙炭의 경우보다 약 10% 큰 것으로 나타났다. 이것은 同一한 飛灰 種類이지만 原料의 生産地에 따라 石炭의 含有成分이 현저하게 다르기 故로 判斷된다. 混合灰의 比重은 보령화력의 경우 2.21, 嶺東火力の 경우 2.29로서 비슷한 값으로 나타났다. 飛灰와 混合灰의 比重은 一般的인 흙의 比重보다 더 낮은 값들이다.

이 두 種의 試料는 모두 非塑性이며 三角分類法에 依해 飛灰는 silty loam, 混合灰는 保寧火力の 경우 silty loam, 嶺東火力の 경우 sandy clayey loam으로 分類되었으며 混合灰가 각기 相異한 土性으로 分類된 것은 燃料의 生産地가 달라 含有成分이 다를 뿐 아니라 發電所의 石炭

灰 排出時 底灰의 粉碎치수가 다르기 故로 因으로 보인다.

(2) 透水性

飛灰 및 混合灰에 대하여 變水位試驗을 行하였다. 飛灰의 경우 보령화력과 嶺東火력 試料에 對해 各各  $K=2.129 \times 10^{-5} \text{m/sec}$ ,  $1.883 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 로서 매우 類似한 값을 보이며 이것은 실트질 흙이 갖는 透水係數의 範圍와 一致한다<sup>(7)</sup>.

混合灰의 경우는 보령화력의 경우 嶺東火力の 試料土와는 달리 silt로 分類되어 透水係數  $K=2.893 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 를 보이며 嶺東火力の 混合灰는  $1.543 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ 로서 一般的인 모래질 흙이 갖는 透水係數와 유사하다<sup>(7)</sup>.

(3) 單位體積重量

石炭灰에 對한 單位體積重量을 算出한 結果 A-1 다짐(OMC)狀態인 경우  $1.321 \sim 1.520 \text{g/cm}^3$  D-2다짐(OMC)  $1.450 \sim 1.700 \text{g/cm}^3$ , 건조호트러진 상태  $0.845 \sim 1.086 \text{g/cm}^3$ , 자연상태(수침후 배수)  $0.894 \sim 1.137 \text{g/cm}^3$ 로 나타났다.

灰의 單位體積當 重量이 일반흙에 비해 가벼운 것은 比重이 저기 故로 因으로 判斷된다.

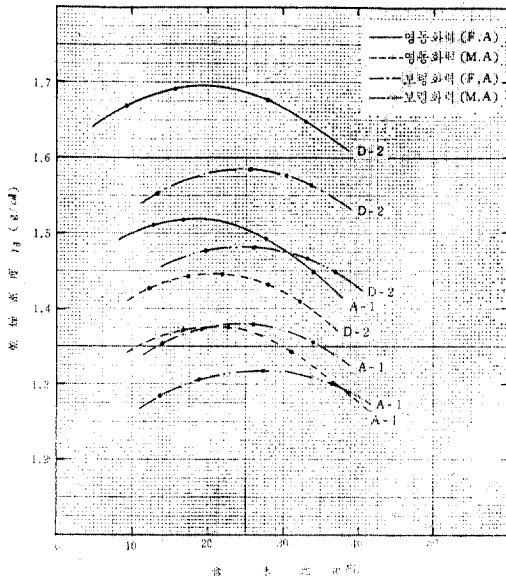


그림 3.2 Compaction Curves

그리고 어느 경우에도 飛灰의 單位重量이 混合灰보다 크다.

#### (4) 다짐 特性

石炭灰는 道路의 補助基層材料, 基層材料, 工場敷地, 宅地 등의 埋立材로 開發 여지가 크기 때문에 이 材料에 대한 다짐特性은 대단히 重要하다. 飛灰 및 混合灰의 A-1 方法에 의한 代表的인 다짐 曲線은 그림 3.2와 같다.

粒度分布가 sand로 分類된 嶺東火力 混合灰의 乾燥單位重量은  $1.45\text{g/cm}^3$ 로서 이와 性質이 類似的한 統一分類法上의 SP乾燥單位重量이  $1.6\text{g/cm}^3$  이상인 點과 比較해 볼 때 작은 값이다.

室內 다짐試驗에서 할 수 있는 最大에너지인 D-2方法으로 다졌음에도 불구하고 最大乾燥單位重量은 嶺東火力 飛灰는  $1.70\text{g/cm}^3$ , 混合灰는  $1.45\text{g/cm}^3$ , 保寧火力는  $1.486\text{g/cm}^3$ ,  $1.590\text{g/cm}^3$ 로서 一般的인 다른 흙에 비해 작은 理由는 灰의 比重이 낮기 때문인 것으로 判斷된다.

#### (5) CBR

飛灰 및 混合灰에 對하여 CBR을 求한 結果 飛灰에 對해서는 보령화력과 영동화력의 試料에서 各各 2.54% 3.0%로 나타났으며 混合灰는 7.3%, 31.5%의 값을 보였다.

建設部에서 發行한 道路鋪裝工事 標準示方書에 依하면 補助基層에 대한 室內 CBR의 값은 30% 以上으로 規定되어 있으므로 CBR에 關한 限 영동화력발전소의 混合灰는 이에 對한 要求條件을 만족하고 있다.

CBR試驗에서 吸收膨脹實驗에 의하면 膨脹比는 混合灰가 0.5~0.8로서 sand性質을 띄고 있으며, 飛灰가 2.0~3.0로서 sandy silt의 性質을 나타내고 있다.

#### (6) 剪斷強度定數

直接剪斷試驗에서 구한 粘着力과 內部摩擦角을 고려하여 石炭灰의 基礎埋立材로서의 適合性을 檢討해 보고자 한다.

飛灰와 底灰의 粘着力은 一般的으로  $C=0$ 으로 알려졌으나<sup>(7,8)</sup>, 試驗結果는  $0.01\sim0.025\text{kg/cm}^2$ 의 範圍에 있음을 알 수 있다.

內部摩擦角은 일반적으로 飛灰  $25^\circ\sim45^\circ$ , 底灰가  $38^\circ$  이상으로 알려졌으나<sup>(7,8)</sup> 本 研究結果는 飛灰는  $31^\circ\sim32^\circ$ , 混合灰는  $34^\circ\sim35^\circ$ 로서 매우 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

$\phi$ 값으로부터 N值<sup>(7)</sup>로 換算하면 대략 10~25회까지 分布하게 된다. 이는 最近의 湖南火力 灰捨場 增築을 위한 地質調査時<sup>(10)</sup>에 灰捨場內 自然狀態의 有煙炭 混合灰에 대한 SPT結果,  $N=23\sim25$ 으로 밝혀진 것으로도 立證된다.

이는  $N=10\sim25$ 의 砂質土의 中間程度의 相對密度에 있음을 뜻한다.

地下水位에 영향을 미치는 透水係數 K를 감안할 때 飛灰와 보령화력의 混合灰는  $10^{-5}\text{cm/sec}$  범위에 있어 긴 배수시간이 所要될 것이므로 이 材料에 對해서는 地下水位 降下를 위한 對策이 必要할 것으로 豫想된다.

그러나 영동화력의 混合灰는 飛灰보다 約 100배 정도 큰 透水係數를 가지므로 아주 큰 支持力을 要求하지 않는 構造物의 基礎埋立材로서 有用하게 쓰여질 수 있을 것이다. 만약 混合灰로서 埋立한 地盤의 허용지지력이 다소 부족하여 그 이상의 支持力이 要求될 경우는 pile 또는 기타의 軟弱地盤處理를 實施함으로써 基礎地盤으로서의 使用이 可能할 것이다.

#### (7) 壓密特性

石炭灰의 壓密試驗結果 保寧火力, 嶺東火力로

두 飛灰와 混合灰에 關係없이 90% 壓密時間 即  $t_{90}$ 이 5分 以內로 나타났다. 그리고  $6.4 \text{ kg/cm}^2$ 의 荷重을 加했을 때 最大沈下量도 10% 以內로, 타났다. 이는 粒度는 비록 silt의 範圍에 속하지만 壓密特性은 sand에 더 가까움을 알 수 있다. 또한 透水係數도  $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ cm/sec}$  程度여서 silty sand 程度의 값을 갖고 있으므로 砂質土에서와 같이 沈下의 대부분이 即時 沈下에 가까울 것으로 豫想된다. 여러 개의 壓密試驗結果 보령화력의 飛灰가 壓縮性이 가장 큰 것으로 나타났다.

#### 4. 考 察

장차 우리나라는 西海岸開發등 國土開發에 莫大한 埋立·盛土材料가 所要될 것으로 展望되며 더욱 發電所 石炭灰가 海岸에 散在하여 副産되므로, 이의 活用은 經濟性, 國土의 效率의 및 資源의 效用的 利用, 環境改善 等の 여러 側面에서 유익할 것으로 생각되나 이를 使用하기 위해서는 漏水, 飛散 및 piping 현상 등의 問題點이 야기되므로 이들에 대한 對策이 必要하다.

一般의으로 盛土에 使用되는 흙은 粗粒의 흙으로서 密度가 크고 工事目的物에 適合한 剪斷強度, 支持力 및 透水性 等の 工學的 性質을 갖추어야 한다.

美, 英, 獨, 日 等の 國家에서는 이미 石炭灰를 道路 路盤材나 敷地造成을 위한 盛土材로 開發하여 使用하고 있으며 장차 우리나라에서도 建設工事に의 活用을 위해서는 다음과 같은 조치가 關係當局에서 이루어져야 할 것이다.

灰 生産者와 國內의 研究機關에서는 埋立盛土를 위한 대대적인 여러 研究가 要望되며 灰를 示範의으로 使用하여 그 優秀性을 立證하여야 한다.

또한 製鐵所 高로 slag의 利用試圖와 같은 水準以上으로 對政府, 學會 및 言論 等に 弘報 推薦하여 使用토록 積極 勸奨를 要한다.

灰 生産者는 底灰의 粉碎機를 調整하여 보다 큰 粒子로 生産을 檢討해야 하며 灰捨場 所要面積 算定에 適用되는 灰의 單位重量  $0.8 \text{ t/m}^3$ 을 有煙炭灰  $1.0 \text{ t/m}^3$ , 無煙炭灰  $0.9 \text{ t/m}^3$ 로 上向調整하여 灰捨場規模를  $12.5 \sim 25\%$ 의 縮小를 要하

며 灰의 活用展望에 따라 장차 灰捨場 規模를 縮小檢討할 必要가 있다.

灰 生産者는 灰捨 壽命이 完了된 灰捨場을 垆地工業用地, 公共用地等으로 利用에 대해 檢討計劃이 있어야 할 것이다.

#### 5. 結 論

1) 石炭灰는 非塑性으로서 입도분포는 嶺東火力의 경우 飛灰는 silt, 混合灰는 sand로 分類되나 보령火力의 경우 飛灰, 混合灰 모두 silt로 分類되며 比重은 有煙炭灰가 飛灰 2.09, 混合灰 2.21인데 比하여 無煙炭灰는 飛灰 2.34, 混合灰 2.29이므로 無煙炭灰가 크고 同種炭의 灰라 할지라도 飛灰가 더 크고 同一粒徑의 一般的인 다른 흙에 비해서는 작다.

2) 石炭灰의 透水係數는 A-1方式으로 OMC에서 다졌을 때 飛灰와 보령火力 混合灰의 경우  $10^{-5} \text{ cm/sec}$ , 嶺東火力 混合灰는  $10^{-3} \text{ cm/sec}$ 의 값을 나타내었다. 또한 A-1 다점시료의  $\gamma_{dmax}$ 은  $1.321 \sim 1.520 \text{ g/cm}^3$ , OMC는 20.20~27.50%이고, D-2다점시료의  $\gamma_{dmax}$ 은  $1.450 \sim 1.700 \text{ g/cm}^3$ , OMC는 20.00~26.40%로서 同一粒徑의 흙과 대략 비슷하다.

3) 石炭灰의 CBR값은 飛灰의 경우 2.54~3.00%, 混合灰의 경우 7.3~31.5%까지 分布되는데 이 중 특히 嶺東火力의 混合灰는 31.5%를 나타내므로 補助基層의 要求條件을 上廻함을 알 수 있다.

4) 石炭灰의 粒度分布는 silt에 해당되나, 粘着力은  $0.01 \sim 0.025 \text{ kg/cm}^2$ , 內部摩擦角은  $31 \sim 35^\circ$ 이므로 중위의 조밀한 砂質土의의 값과 類似하며 또한 壓縮指數, 壓密係數 등은 모두 이보다 조립흙의 값을 나타냈다. 따라서 壓密沈下는 동일입경의 일반토에 비해 예상보다 상당히 적을 것으로 보인다. 또한 石炭灰는 CaO를 함유하고 있으므로 加濕, 轉壓된 自然狀態에서 1~1.5년 후에는 水和作用으로 인해 硬化되어 상당한 強度增加가 있을 것으로 보인다.

이상과 같이 同一粒徑의 일반흙에 비해 상당히 유리한 土質工學的 特性을 갖고 있음을 알 수 있다. 따라서, 盛土材로 사용이 필요한 바 混合灰의 大量使用을 위해서는 대대적인 연구와

입증, 홍보, 법규반영, 권장 등의 政策的 措置를 期待한다. 또한 有煙炭 混合灰의 이용을 위해서는 底灰의 milling 軋수를 크게 調節하는 등 工學的 特性을 현저히 改善시켜 사용할 필요가 있다.

#### 參 考 文 獻

- 1) 韓國電力公社, "韓電社員手帖", 1987.1.
- 2) 김지동外 5, "石炭灰의 活用方案研究", 韓國動力資源研究所(KE 83-8), 1983.12.
- 3) 石炭技術研究所, "石炭灰의 有效利用技術", 1981.8.
- 4) 韓國電力公社, "發電所 土木工事設計 資料集", 星

- 文社, 1983.10.
- 5) (日)科學技術廳 資源調査所, "資料", 1983.12.
- 6) 金基豐外 1, "石炭灰 利用擴大 方案", 韓國電力公社 技術研究所, 1983.10.
- 7) US NAVAL Facilities Engineering Command, "Design Manual DM-7", Washington, D.C. Government Printing Office, 1971.
- 8) EPRI, "Coal Ash Disposal Manual, EPRI FP-1257", Gay Consultants, WC, Pennsylvania, 1979.
- 9) R.F. Craig, "Soil Mechanics", Van Nostrand Reinhold Company, 1974.
- 10) 韓國電力公社, "湖南火力 灰捨場 增築檢討報告書" 韓國電力技術(株), 1987.10.

(接受: 1988. 2. 15)