

輕量高爐 Slag 碎石의 콘크리트 粗骨材로서의 利用

池 敏 雄 譯

<雙龍洋灰特殊事業部開發課長>

◆譯者註：本稿에 紹介하는 論文은 英國에서의 實驗結果이며, 單位容積重量이.....◆
 ◆.....1,250kg/m³ 以下인 輕量高爐 slag 에 관한 것으로서 骨材로서의 諸性質과 이것.....◆
 ◆.....을 이용한 콘크리트의 諸性質(材令 2年까지의 強度推移, 材令 5年까지의 耐久.....◆
 ◆.....性 등)로부터 콘크리트 粗骨材로서의 利用可能性을 檢討한 것이다.◆
 ◆..... 最近 콘크리트用 骨材資源의 枯渴化에 따른 새로운 骨材의 開發과 各種 副產.....◆
 ◆.....物 및 廢資材의 利用, 특히 製鐵工場의 副產物인 slag 의 利用 등이 時急한 課.....◆
 ◆.....題로 되고 있어 本翻譯文이 多少나마 도움이 되었으면 한다.◆

I. 序

Britain Standard 1047; 1952의 「콘크리트用空冷高爐 slag 粗骨材의 規準」에 의하면 骨材의 單位容積重量은 1,250kg/m³ 以上으로 되어 있다. 그러나 最近 英國에서 生産된 slag 의 대부분은 1,250kg/m³ 以下の 單位容積重量을 나타내고 있다. 그래서 本研究에 있어서는 “輕量 slag”의 콘크리트 粗骨材로서의 適用性을 檢討하기 위해 單位容積重量이 1,250~1,440kg/m³ 인 slag 를 粗骨材로 사용한 콘크리트의 성질에 대해서 石灰石과 aggregate로 된 콘크리트의 성질을 6年間에 걸쳐서 比較研究했다. 여기에 報告하는 實驗結果는 콘크리트의 強度, 體積安定性, 물의 浸透性, 硫酸鹽 抵抗性 그리고 콘크리트중의 鐵筋의 腐蝕에 대한 것이며 slag 의 組成에 관한 化學分析, 顯微鏡觀察 및 X線回折의 試驗結果에 대해서도 記述해 놓았다. 또한 3種類의 “輕量 slag”의 比較를 위해 稠密한 slag, aggregate 및 破碎된 石灰石에 대해서도 實驗하였다.

II. 骨材의 鑛物學的인 性質

試驗에 使用한 4種類의 slag 의 ① 單位容積重

量 ② slag 製造時의 空冷方法 ③ 遊離鐵의 含量(%) 및 ④ 이 鐵分을 除去시킨 후의 slag 의 全化學分析值를 <表-1>에 나타냈다.

硫黃量은 BS-1047 中の 最大值以下이다.

<表-1> 4種類 Slag 의 分析值

		slag			
		B419	B435	B428	B431 (標準)
空 冷 方 法	—	Pit	Pit	Ladle	
	單位容積重量(kg/m ³)*	1,185	1,175	1,240	1,420
遊 離 鐵 (%)	0.5	4.8	0.2	—	
	SiO ₂	32.16	31.51	33.95	33.81
化 學 分 析 (%)	Total Fe as FeO	1.10	0.90	0.42	0.72
	TiO ₂	0.88	0.53	0.44	0.70
	Al ₂ O ₃ (差에 의한 值)	13.40	16.95	12.92	20.05
	CaO	39.00	38.26	37.91	33.43
	MgO	8.97	8.53	10.88	7.24
	MnO	0.65	0.67	0.86	1.11
	BaO	0.25	0.17	0.15	0.26
	SrO	0.09	0.12	0.05	0.26
	Na ₂ O	0.67	0.36	0.38	0.44
	K ₂ O	0.80	0.75	0.53	1.13
	S(硫化物)	1.48	0.76	0.89	0.98
	Sulphate SO ₃	0.39	0.34	0.54	0.17
	Total S(計算值)	1.64	0.90	1.11	1.05
	Total S(測定值)	1.71	0.93	1.24	1.07

* 19~4.8mm 粒度分의 測定值

<表-2>

石灰에 대한 安定性試驗

slag	分 析 試 驗						顯 微 鏡 試 驗		
	式 A			式 B			C ₂ S	Fe	CaS
	左 邊	右 邊	結 果	左 邊	右 邊	結 果			
B419	46.2	46.5	適 合	39.0	39.6	適 合	檢出안됨	有	檢出안됨
B435	45.1	45.9	適 合	38.3	39.9	適 合	β 型, γ 型	多量有	有
B428	46.6	47.5	適 合	37.9	39.9	適 合	檢出안됨	有	有
B431 (標準)	39.2	50.3	適 合	33.4	44.2	適 合	檢出안됨	有	有

(BS-1047에 의한 式 A와 式 B)

式 A : $\text{CaO} + 0.8 \text{MgO} \leq 1.2 \text{SiO}_2 + 0.4 \text{Al}_2\text{O}_3 + 1.75 \text{S}$

式 B : $\text{CaO} \leq 0.9 \text{SiO}_2 + 0.6 \text{Al}_2\text{O}_3 + 1.75 \text{S}$

<表-3>

Slag의 鑛物學的 分析值

slag	顯微鏡에 의한 透視部實驗	X線分析에 의해 檢出되는 相
B419	Melilite, C ₃ S ₂ , C ₃ MS ₂ 또는 CMS 혹은 CMS ₂ Oldhamite* (單一粒)	主로 Melilite, C ₃ S ₂ , CMS, C ₃ S ₂
B435	Melilite, β -C ₂ S, γ -C ₂ S, α -CS, CMS Oldhamite* (樹枝狀結晶)	主로 Melilite, CMS, C ₃ MS ₂ (CaO) _{1.7} (MgO) _{0.3} SiO ₂ ** 微量
B428	Melilite, C ₃ MS ₂ , CMS 또는 CMS ₂ Oldhamite* (集合體와 樹枝狀結晶)	主로 Melilite, C ₃ MS ₂ , CMS
B431 (標準)	Melilite, CMS₂ Oldhamite(纖維狀)	主로 Melilite, CMS₂

* Oldhamite는 여러 가지 형태로 slag 中에 생기는 calcium manganic 鐵硫化物임.

** 紫外光下에서 螢光을 發하는 塊中에서 (CaO)_{0.7}(MgO)_{0.3}SiO₂의 一部가 나타난다. 紫外光下에서 螢光을 發하는 塊狀物은 α -石英을 포함한 表皮를 갖고 있다는 것이 알려져 있다.

石灰에 대한 安定性에 관해서는 BS-1047; 1952에 나타나 있는 A式, B式의 要求를 滿足시키는 것으로서 그 試驗結果를 <表-2>에 나타냈다.

또한 <表-2> 中에는 BS-1047의 顯微鏡試驗結果의 Fe 및 CaS의 存在에 대해서도 附記했다.

<表-3>에는 顯微鏡과 X線回折에 의해 求한 鑛物成分을 나타냈다.

slag B435에서는 α -C₂S와 γ -C₂S의 存在가 檢出되었고 calcium magnesiosilicate (CaO)_{1.7}(MgO)_{0.3}SiO₂의 存在도 확인되었다.

III. 骨材의 物理的 性質

BS-1047; 1952, BS-812; 1960의 試驗에 의해 求한 4種類의 slag의 物理的 性質을 <表-4>에 나타냈다.

체가름 試驗은 骨材 size 別로 19.0~9.5mm와 9.5~4.8mm 그리고 이것들을 合成시킨 것

[19.0~9.5mm : 9.5~4.8mm=2 : 1(重量比)]에 대해 sieve-test하여 各各의 結果를 <表-4>에 나타냈다. 結果에 의하면 合成粒度의 것은 合成된 19.0~9.5mm의 骨材에 대한 BS-882; 1965 中에 나타나 있는 值에 適合했지만 1種類의 slag (B428)은 이 合成骨材에 대한 BS-1047; 1952의 범위에 不適合했다. 이 slag의 4.8mm 通過分은 規格最大値의 5%보다 3%가 더 많은 8%였었다.

BS-1047; 1952에 의하면 粒度區分에 關係 없이 slag의 單位容積重量은 1,250kg/m³ 以上으로 되어 있다. 試驗에 사용한 標準 slag B431은 BS-1047; 1952에 의한 單位容積重量을 만족시키고 있지만 다른 3種類의 輕量 slag는 1,250kg/m³ 以下로서 가장 가벼운 B435는 1,175kg/m³ 였었다. <表-4>에는 BS-812에 의한 骨材 size 別 單位容積重量 試驗結果가 나타나 있어 骨材 size에 따른 單位容積重量의 變化를 알 수 있다. BS-802; 1967에 의하면 粒度가 12.7~9.5mm 區分의 稠密한 單位容積重量의 最小値는 1,089kg/

<表-4>

粗骨材의 物理的 性質

		slag B419			slag B435			slag B428			slag B431(標準)		
		9.5-4.8 (mm)	19-9.5 (mm)	19-4.8 (mm)	9.5-4.8 (mm)	19-9.5 (mm)	19-4.8 (mm)	9.5-4.8 (mm)	19-9.5 (mm)	19-4.8 (mm)	9.5-4.8 (mm)	19-9.5 (mm)	19-4.8 (mm)
粒 度 (重量通 過率%)	19.0mm	100	93	96	100	94	100	100	99	99	100	98	99
	12.7mm	98	14	42	100	53	69	100	57	71	100	46	64
	9.5mm	86	4	31	90	9	36	86	9	35	99	16	44
	4.8mm	6	2	3	6	2	3	24	0	8	6	2	3
	2.4mm	3	0	1	4	0	1	9	0	3	3	0	1
混合한 19~4.8mm 粒度分의 BS 粒度範圍의 適合性	BS-1047	適合			適合			不適合			適合		
	BS-882	"			"			適合			"		
BS-812에 대한 單位容積重量(kg/m³)	non-compact	1,105	1,000	1,090	1,070	1,030	1,075	1,190	1,070	1,140	1,315	1,250	1,285
	compact	1,200	1,110	1,185	1,175	1,140	1,175	1,280	1,170	1,240	1,465	1,380	1,420
12.7~9.5mm 粒度分	non-compact	1,090			1,060			1,100			1,160		
	compact	1,130			1,100			1,160			1,190		
BS-812에 대한 12.7~9.5mm 粒度分의 其他 性質	比 重	2.27			2.22			2.24			2.55		
	吸 水 量 (%)	5.97			5.77			5.36			2.12		
	NO.	16			13			10			11		
	10% 細粒值(t)	8			10			8.5			15		
	薄片狀指數	7			10			5			16		

m³로 되어 있다. slag B419와 B435는 각각 1,130kg/m³와 1,100kg/m³로서 BS-802의 最小值에 가깝다. 同表에는 比重 및 吸水量에 대해서도 記述되어 있다. 3種類의 slag 比重은 平均値가 2.24로서 標準 slag의 2.55보다 작았다. 또한 吸水量은 3種類의 平均値가 5.70%로서 標準 slag의 吸水量 2.12%보다 크다.

그 밖에 <表-4>中에는 slag의 10% 細粒值와 薄片狀指數도 나타나 있다. 이러한 slag中에는 벌집 모양의 slag가 포함되어 있다. 이러한 벌집 모양의 slag와 密實된 slag의 單位容積重量을 <表-5>에 나타냈다. 19~9.5mm 粒度分中の 벌집 모양의 slag와 密實된 slag의 單位容積重量의 差는 9.5~4.8mm 粒度分中の 差보다

<表-5>

벌집 모양의 Slag와 密實된 Slag의 比率 및 單位容積重量

slag	骨 材 size (mm)	重量에 의 한 벌집 모양 slag의 百分率 (%)	單位容積重量(kg/m³)			
			non-compacting		compacting	
			蜂 巢 狀	密 實	蜂 巢 狀	密 實
B419	19-9.5	46.0	895	1,050	990	1,165
	9.5-4.8	48.5	1,070	1,100	1,125	1,210
B435	19-9.5	47.5	990	1,180	1,100	1,225
	9.5-4.8	46.5	1,090	1,105	1,160	1,255
B428	19-9.5	49.0	1,060	1,100	1,135	1,180
	9.5-4.8	50.0	1,170	1,205	1,210	1,230
(標準)	19-9.5	41.0	950	1,355	1,030	1,485
B431	9.5-4.8	46.0	1,245	1,285	1,320	1,535

크다.

IV. 使用 시멘트

使用한 시멘트는 普通 포틀랜드 시멘트이며 硫酸鹽抵抗試驗에는 耐硫酸鹽 포틀랜드 시멘트도 사용했다. 각 시멘트의 性質은 BS-12, BS-4027의 規格值를 만족시켰다.

V. 콘크리트의 配合條件

試驗은 3組의 series로 大別되고 그 配合은 다음과 같다.

- series 1 (mixing 試驗用);
시멘트 : 細骨材 : 粗骨材 = 1 : 2 : 4 (容積比)
- series 2 (주로 強度試驗用);
시멘트 : 細骨材 : 粗骨材
= 1 : 2.4 : 3.6 (容積比)
- series 3 (耐久性試驗用);
使用單位 시멘트量 = 330kg/m³

V-1 콘크리트의 配合

모든 콘크리트에 있어서의 粗骨材 (slag, 자갈, 破碎된 石灰石)는 19~9.5mm 粒度분과 9.5~4.75mm 粒度분을 重量比로서 2 : 1로 混合하여

<表-6>

耐久性試驗의 콘크리트 配合 (series 3)

粗骨材	配 合 (시멘트 : 砂 : 粗骨材)		w/c		시멘트 種別*	workability			單位 시멘트量 (kg/m ³)	101.6 mm 立方體의 28日 壓縮 強度** (kg/cm ²)	BS-1881 에 의한 乾燥收縮 (%)
	容 積	重 量	全	free (推測)		compacting factor	slump (mm)	V. B (秒)			
slag B419	1:2.32:3.48 (1:5.8)	1:2.53:2.63	0.68	0.50	OPC	0.96	55	4.1	327	389	0.03
					SRPC	0.99	61	2.4			
slag B435	1:2.32:3.48 (1:5.8)	1:2.53:2.58	0.68	0.50	OPC	0.94	58	3.2	331	375	0.03
					SRPC	0.98	65	2.1			
slag B428	1:2.24:3.36 (1:5.6)	1:2.44:2.67	0.68	0.50	OPC	0.95	65	4.2	329	398	0.04
					SRPC	0.98	82	2.0			
slag B431	1:2.32:3.48 (1:5.8)	1:2.53:3.11	0.60	0.50	OPC	0.94	35	5.4	324	456	0.02
					SRPC	0.96	69	4.8			
자갈	1:2.16:3.24 (1:5.4)	1:2.36:3.18	0.59	0.50	OPC	0.92	29	4.9	324	450	0.03
					SRPC	0.98	110	1.2			
破碎된 石灰石	1:2.20:3.30 (1:5.5)	1:2.40:3.26	0.53	0.50	OPC	0.93	15	7.4	328	521	0.02
					SRPC	0.95	20	5.1			

* OPC=普通 포틀랜드 시멘트, SRPC=耐硫酸鹽 포틀랜드 시멘트

** N/mm²를 kg/cm²로 換算한 값. 但 1N/mm²=10.2kg/cm²로 했다.

사용했다. 細骨材는 4.8mm~600μm 粒度分이 40%, 600~150μm 粒度分이 60% (重量比)로 構成된 川砂를 사용했다. 이것은 BS-882; 1965의 粒度範圍 3에 準하는 것이다.

series 1의 시멘트 : 細骨材 : 粗骨材 = 1 : 2 : 4 와 series 2의 1 : 2.4 : 3.6 (容積比)의 配合은 시멘트의 單位容積重量 1,440kg/m³와 <表-4>의 slag 骨材中 compact 되지 않은 상태로 計量된 單位容積重量에 의해 重量比率로 換算했다. 즉 자갈, 破碎된 石灰石, 川砂의 單位容積重量은 1,420kg/m³, 1,425kg/m³, 1,570kg/m³였다.

series 3의 耐久性試驗의 配合은 <表-6>과 같다.

V-2 콘크리트의 混練方法

2種類의 粗骨材, 2種類의 sand, 시멘트 및 混練水는 重量으로 計量해서 80l 回轉式 mixer로 mixing 했다.

V-3 콘크리트의 workability 試驗과 結果

workability는 series 1, 2의 mixing 試驗 및 series 3의 配合에 따라 試驗했다. 콘크리트의 workability는 BS-1881; 1952에 準한 slump, VB 試驗, compacting factor (C. F)에 의해 測定했다.

series 1의 1:2:4의配合은 조잡한配合으로서 workability를 滿足시키지 못했다. 그래서 물·시멘트比만을 增加시키는 것은 分離의 危險이 있기 때문에 그만두고 細粒分을 增加시키기 위해 series 2에서는 配合을 1:2.4:3.6으로 바꾸었다. 容積으로서 40%의 細粒分을 갖는 이러한配合은 보다 workability가 좋았으며 같은 물·시멘트比에서 compacting factor가 높았다. series 3에 관해서는 <表-6>에 나타냈다.

V. 콘크리트 強度試驗(series 2, 3)

각각의配合에 따라 12ea의 508×101.6×101.6mm의 형틀에 콘크리트를 打設해서 24時間까지 濕空중에 放置한後 脫型해서 6ea의 供試體는 相對濕度 65%, 溫度 18°C의 大氣中에서 養生시키고 다른 6ea는 溫度 18°C의 水中에서 養生시켰다.

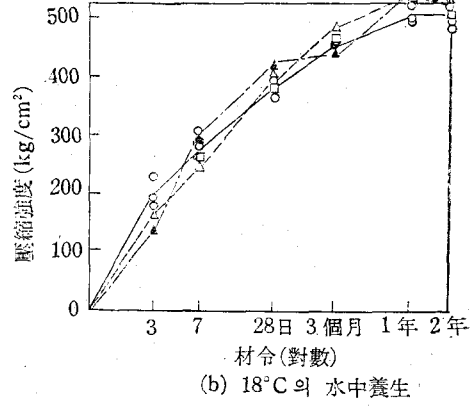
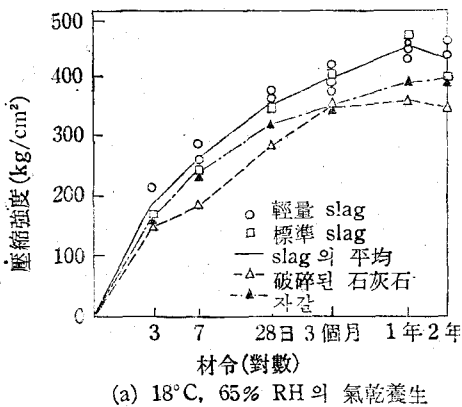
氣乾養生·水中養生시킨 供試體는 각각 1ea씩 curing 3日, 7日, 28日, 3個月, 1年, 2年으로 BS-1881; 1952에 準해서 曲強度試驗을 行했다. 잘라진 供試體의 한쪽으로 101.6×101.6mm의 部分壓縮強度試驗을 했으며 다른 한쪽에 대해서는 割裂에 의한 引張強度試驗을 했다. 이러한試驗을 3回反復하여 curing에 대한 強度의 時間的 變化를 <그림-1>~<그림-3>에 나타냈다. <그림-4>에는 자갈로 만든 콘크리트의 強度에 대한 百分率을 나타냈다. 콘크리트 強度에 있어

서 輕量 slag 3種類의 差는 認知되지 않았으며 輕量 slag와 標準 slag間에도 差는 거의 나타나지 않았다.

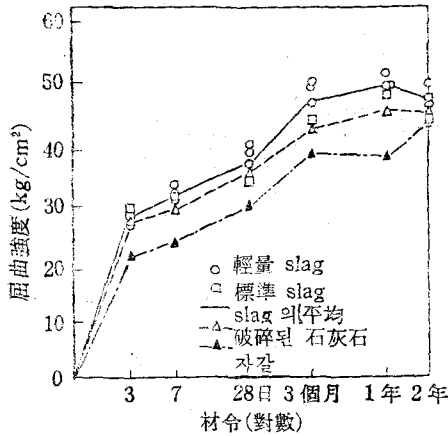
<그림-1>에 나타나는 것과 같이 壓縮強度는 curing time에 比例하여 增加하고 특히 長期強度에 있어서는 氣乾養生된 콘크리트에 비해 水中養生 콘크리트쪽이 더 높았다. 氣乾養生된 콘크리트의 強度와 水中養生된 콘크리트間의 差는 자갈이나 破碎된 石灰石과 같은 天然骨材를 사용한 것보다 slag骨材를 사용한 쪽이 더 작았다. 또한 氣乾養生된 slag骨材 콘크리트는 자갈이나 破碎된 石灰石을 사용한 콘크리트보다도 強度가 높았다. 그러나 水中養生시킨 콘크리트에 있어서는 使用骨材의 種類에 關係 없이 壓縮強度는 同一했다.

한편 series 2의 slag骨材 콘크리트의 單位 시멘트량은 天然骨材 콘크리트보다도 20kg/m³만큼 많은 것이었다.

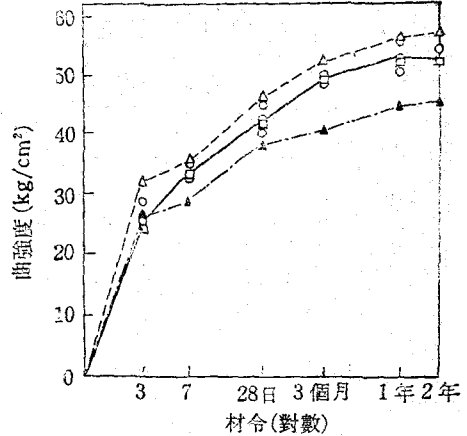
series 3은 同一單位 시멘트량의 實驗으로서 <表-7> 및 <그림-4>에 나타나 있는 것같이 輕量 slag 콘크리트는 標準 slag 콘크리트의 強度보다 約 5~10% 낮았다. 이 series의 slag 콘크리트의 壓縮強度는 一般的으로 天然骨材 콘크리트보다도 낮았다. 4種類의 slag粗骨材로 만든 콘크리트의 曲強度에는 同一性이 있었다. <그림-2>와 <그림-4>에 나타나 있는 것과 같이 空冷시킨 slag를 사용한 콘크리트의 曲強度는 자갈 콘크리트보다 크고 破碎된 石灰石을 사용한 콘크리트와 類似하다. 또한 slag 콘크리트의 曲



<그림-1> 콘크리트의 壓縮強度(series 2)

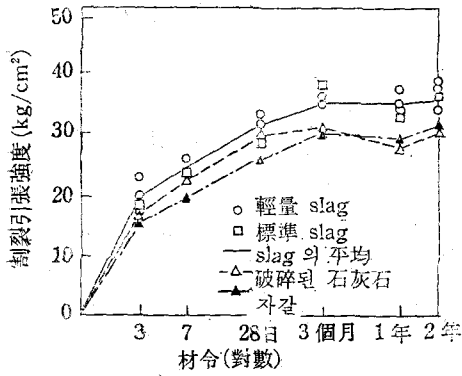


(a) 18°C, 65% RH의 氣乾養生

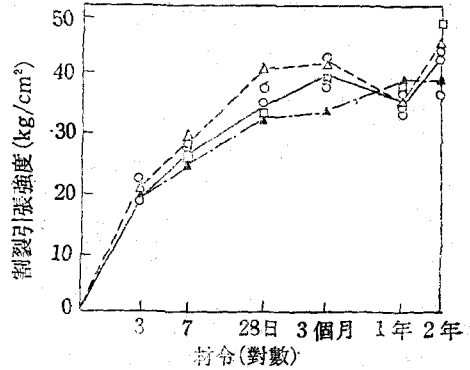


(b) 18°C의 水中養生

<그림-2> 콘크리트의 曲強度 (series 2)



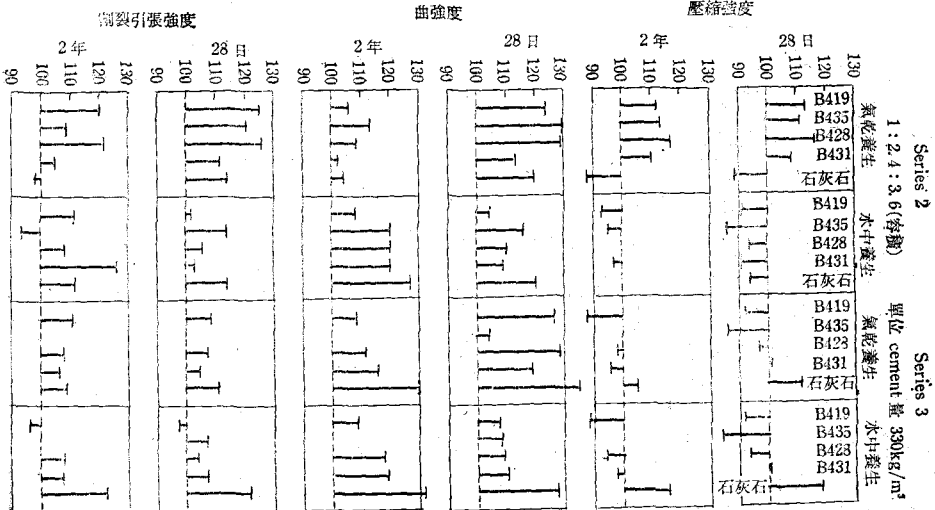
(a) 18°C, 65% RH의 氣乾養生



(b) 18°C의 水中養生

<그림-3> 콘크리트의 引張強度 (series 2)

자갈 콘크리트 強度에 대한 百分率
曲強度



<그림-4> 자갈 콘크리트에 대한 slag 및 破碎된 石灰石을 사용한 콘크리트의 長期(28日 및 2年) 強度比

<表-7>

耐久性試驗에 使用된 콘크리트의 壓縮·曲·引張強度(series 3의 試驗)

配合條件 (重量)	w/c	單位 시멘트 量 (kg/ m ³)	氣乾養生(溫度 18°C, 濕度 65%)						水中養生(溫度 18°C)					
			壓縮強度 (kg/cm ²)* (괄호 內는 密度 kg/cm ²)		曲強度* (kg/cm ²)		割裂引張強度 (kg/cm ²)*		壓縮強度 (kg/cm ²)* (괄호 內는 密度 kg/cm ²)		曲強度* (kg/cm ²)		割裂引張強度 (kg/cm ²)*	
			28日	2年	28日	2年	28日	2年	28日	2年	28日	2年	28日	2年
slag B419 1:2.53:2.63	0.68	327	361 (2,200)	383 (2,190)	38.5	45.5	33.3	37.8	338 (2,310)	443 (2,325)	44.9	50.5	32.7	37.3
slag B435 1:2.53:2.58	0.68	331	338 (2,165)	—	31.4	—	30.2	—	355 (2,265)	—	45.2	—	36.4	—
slag B428 1:2.44:2.67	0.68	329	379 (2,195)	434 (2,180)	39.3	47.5	32.5	36.5	395 (2,275)	478 (2,300)	45.9	54.5	35.4	42.2
輕量 slag 平均			363	409	36.4	46.5	32.0	37.1	379	461	45.3	52.4	34.9	39.8
slag B431 1:2.53:3.11	0.60	324	390 (2,295)	420 (2,295)	36.2	48.9	31.6	35.9	424 (2,385)	495 (2,410)	46.4	54.7	36.5	42.4
全 slag 의 平均			370	413	36.3	47.3	31.9	36.7	391	472	45.6	53.2	35.3	40.7
자갈 1:2.36:3.18	0.59	324	392 (2,290)	438 (2,280)	30.4	42.2	30.2	33.7	420 (2,380)	505 (2,360)	41.8	46.0	33.9	39.5
破碎된石灰石 1:2.4:3.26	0.53	328	440 (2,360)	458 (2,350)	41.3	54.9	34.0	36.6	497 (2,420)	583 (2,450)	53.3	60.3	41.5	48.8

* N/mm²를 kg/cm²로 換算한 값, 但 1N/mm²=10.2kg/cm²로 했다.

強度는 氣乾養生할 경우 破碎된 石灰石을 사용
한 콘크리트보다 약간 높으며 水中養生시키면 약
간 낮았다. 그러나 <表-7>에 나타난 것 같이
同一單位 시멘트량일 경우에는 破碎된 石灰石을
사용한 콘크리트와 같은 높은 強度는 얻을 수
없었다.

두가지의 天然骨材에 對應하는 slag 骨材 콘크
리트의 割裂引張強度는 <그림-3>에 나타나 있
는 것과 같이 <그림-2> 中の 曲強도와 類似했
다. 割裂引張強度는 언제나 對應하는 曲強度보다
도 낮으며 이 實驗에서는 曲強도의 約 80%였었
다. <그림-3>에서와 같이 curing 3個月以後의
割裂引張強도의 增加는 認知되지 않았다. <表-
7> 및 <그림-4>에서 알 수 있는 것과 같이
series 3의 配合에서 slag 콘크리트의 割裂引張強
도가 자갈 콘크리트의 그것보다 높음에도 불구하고
그 增加는 series 2의 配合結果보다도 작았다.

VII. 콘크리트의 耐久性試驗

VII-1 長期試驗을 위한 콘크리트 供試體

單位 시멘트량 330kg/m³로서 <表-6>과 같은

配合으로 供試體를 만들어 다음과 같은 試驗을
最長 5년까지 行했다.

- 耐硫酸鹽試驗(普通 포틀랜드 시멘트와 耐硫
酸鹽 포틀랜드 시멘트)
- 體積安定性試驗(同上)
- 鐵筋의 腐蝕性(普通 portland cement)
- 初期表面吸着(水)試驗(同上)

耐硫酸鹽試驗의 立方體供試體와 體積安定性試
驗의 角柱供試體의 成型은 手作으로 했으며 鐵
筋의 腐蝕性과 空氣透過性의 供試體는 vibrator
에 의해 成型했다. 각각의 供試體는 molding 해
서 24時間까지 氣乾養生했으며 脫型後 다시 27日
間 水中養生을 했다. 乾燥收縮과 體積安定性의
角柱供試體는 表面端에 stainless steel製의 球
를 附着했다.

VII-2 耐硫酸鹽試驗

콘크리트 供試體(101.6 mm 立方體)를 다음과
같은 6種類의 硫酸鹽溶液中에 浸漬시켰다. 또한
標準用으로서 比較를 하기 위하여 水中에도 浸
漬시켰다.

- magnesium 硫酸鹽水溶液 : SO₃ 濃도가

3.5%, 0.75%, 0.35%

- natrium 硫酸鹽水溶液 : SO₃ 濃도가 3.5%, 0.35%
- 混合鹽水溶液 : SO₃ 濃도 0.35% (0.375%의 Mg 硫酸鹽, 0.177%의 natrium 硫酸鹽 및 0.142%의 鹽化 calcium 을 含有하는 混合鹽水溶液)

각각의 配合에 의한 12個의 供試體는 따로따로 polyethylene 容器中에 浸積했으며 硫酸鹽水溶液은 3個月마다 36l의 새로운 水溶液으로 갈아 넣었다.

3個의 供試體를 壓縮強度試驗을 위해 浸積時로부터 1年, 2年, 5年後에 叩집어 내었다. curing 5年の 水中養生供試體의 壓縮強度에 대한 硫酸鹽水溶液中에 浸積시킨 供試體의 強度平均値의 百分率을 curing 1年, 2年の 것과 함께 <그림-5>에 나타냈다.

弱한 natrium 硫酸鹽을 除外한 모든 溶液에서 普通 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트에 程度의 差는 있지만 侵蝕이 생겼다. 耐硫酸鹽 포틀랜드 시멘트를 使用한 콘크리트는 強한 magnesium 硫酸鹽水溶液에서 侵蝕되었다. 그러나, 어떠한 case 에서도 輕量 slag 骨材로 만든 콘크리트와 標準 콘크리트間에는 差가 거의 없었다.

VII-3 體積安定性試驗

12가지 配合에서 각각 9ea의 200×75×75mm의 角柱供試體를 만들고 水中養生後에 最初의 길이를 測定했다. 測定方法은 BS-1881에 準했다.

<表-8>

養生條件別 콘크리트의 길이 變化
(水中養生後의 길이에 대한 길이 變化의 百分率)

粗骨材	濕度 65%의 氣乾養生				水中養生				暴露放置			
	OPC*		SRPC*		OPC*		SRPC*		OPC*		SRPC*	
	1年	5年	1年	5年	1年	5年	1年	5年	1年	5年	1年	5年
slag B419	-0.048	-0.056	-0.046	-0.058	+0.007	+0.009	+0.010	+0.012	-0.006	-0.014	-0.006	-0.002
slag B435	-0.043	-0.051	-0.038	-0.045	+0.007	+0.011	+0.006	+0.011	+0.002	-0.009	-0.005	nil
slag B428	-0.048	-0.055	-0.045	-0.049	+0.005	+0.004	+0.007	+0.015	-0.009	-0.016	-0.006	-0.016
slag B431	-0.040	-0.048	-0.033	-0.041	+0.005	+0.009	+0.007	+0.009	-0.002	-0.010	-0.003	-0.001
자갈	-0.035	-0.044	-0.037	-0.041	+0.005	+0.001	+0.004	+0.006	-0.005	-0.005	-0.004	-0.008
破碎된 石灰石	-0.037	-0.039	-0.036	-0.040	+0.005	+0.005	+0.009	+0.011	-0.005	-0.008	-0.010	-0.009

*OPC=普通 포틀랜드 시멘트, SRPC=耐硫酸鹽 포틀랜드 시멘트

最初의 길이 測定後 3ea의 供試體는 水中에 다시 넣었고 다른 3ea는 20°C, 65% RH中에 放置했으며 남은 3ea의 供試體는 BRS의 暴露用地上에 있는 콘크리트板上에 放置했다. 週期的인 測定을 全供試體에 대해 行했으며 1年後, 5年後의 結果를 <表-8>에 나타냈다.

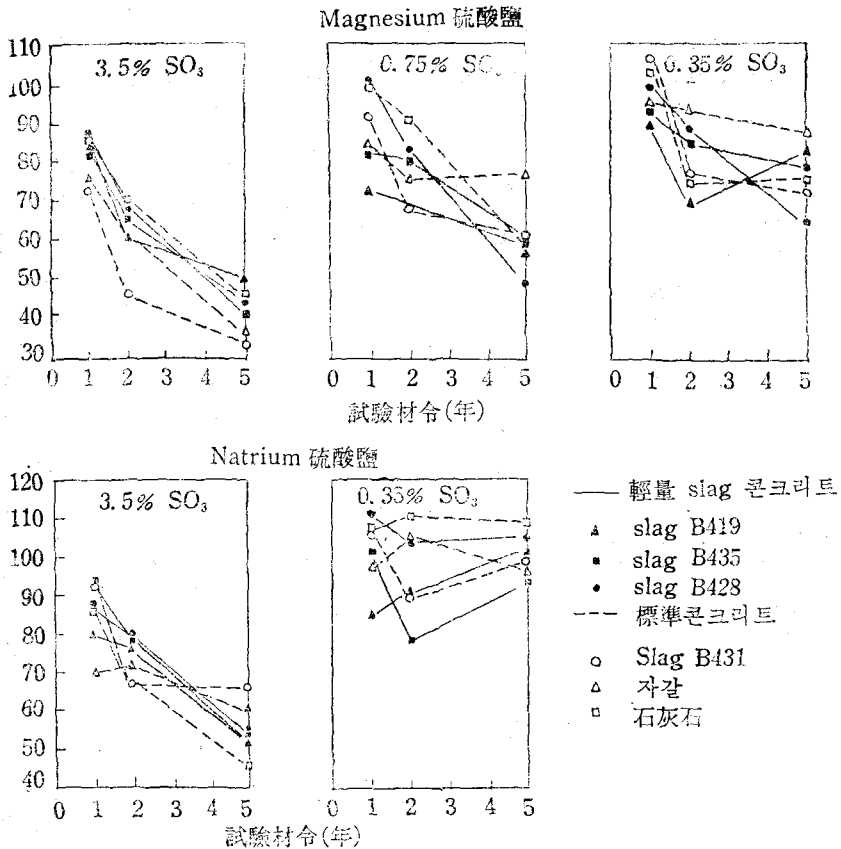
暴露供試體의 結果는 測定前에 溫度 20°C中에서 4~5時間 두었다가 測定한 것이다. 水中放置와 暴露放置 slag 콘크리트와 標準 콘크리트間에는 有意差가 認定되지 않았다. 65% RH中에서 放置했을 때의 收縮은 標準 콘크리트보다도 slag 콘크리트쪽이 약간 컸다. 乾燥收縮試驗은 BS-1881; 1952에 準했으며 그 結果를 <表-6>에 나타냈다.

VII-4 炭酸化와 鐵筋의 侵蝕度

콘크리트의 炭酸化와 腐蝕度를 測定하기 위한 콘크리트 供試體는 305×153×153mm로 成型했다. 直徑이 12.7mm인 研磨된 鋼棒을 콘크리트 表面으로부터 13, 25, 38, 51mm의 길이로 파묻은 供試體를 高度의 工業大氣汚染地인 暴露試驗用地上에서 ceramic 容器에 넣은 채로 두었다. 5年後의 供試體에는 表面에 균열도 생기지 않았으며 모두 良好한 상태였다. curing 3年과 5年の 供試體를 파괴시켜 그 破面에 Phenolphthalane을 滴下하여 콘크리트의 炭酸化度를 測定했다.

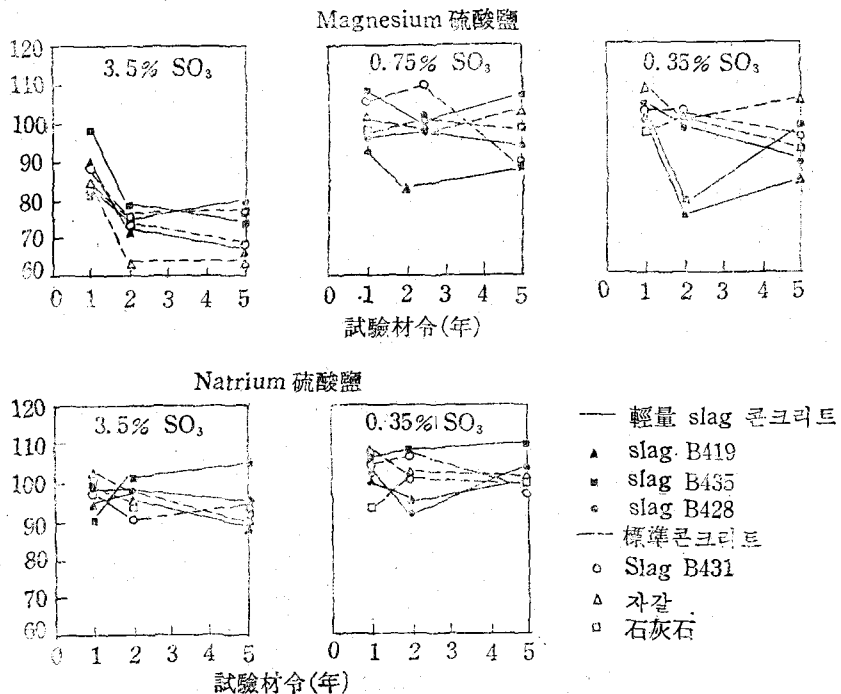
5年後의 炭酸化度는 輕量 slag 콘크리트에서 2~3mm, 標準 콘크리트에서 1~2mm였었다. 3年 暴露後 輕量 slag 콘크리트와 標準 slag 및

유산염 용액중에서 양생된 콘크리트의 압축 강도 × 100 수중에서



(a) 普通 Portland Cement

유산염 용액중에서 양생된 콘크리트의 압축 강도 × 100 수중에서



(b) 耐硫酸鹽 Portland Cement

<그림-5> 硫酸鹽溶液中的 콘크리트 供試體에 대한 5年間的 比較試驗

자갈을 사용하여 만든 콘크리트間的 空氣透過性에 있어서는 거의 差가 없었다. 그러나 破碎된 石灰石을 사용한 콘크리트는 다른 것보다도 훨씬 작았다.

鐵筋의 腐蝕度는 肉眼으로 보아서 어떠한 콘크리트中の 鐵筋에서도 腐蝕된 흔적이 없었다. 實驗의 結果는 완전히 만족할 수 있는 것이었다.

VII-5 初期表面吸水試驗

初期表面吸水試驗이라고 하는 것은 콘크리트 表面에 물이 吸收되는 速度를 測定하는 것이다. 試驗方法은 BS-1881; 1970에 準했으며 그 結果를 <表-9>에 나타냈다. 表面吸水速度는 물과 接觸된 後 10分, 30分, 1時間, 2時間後에 測定해서 $ml/m^2 \cdot s$ 의 單位로 表示했다. 1年間 暴露시킨 것과 3年間 水中養生한 것의 輕量 slag 콘크리트와 標準 콘크리트間에는 有意差가 認知되지 않았다. 또한 모든 콘크리트는 暴露 1年間の 것과 暴露 3年間の 것에는 表面吸水의 差가 꽤 있었다. 한편 3年間 水中養生시킨 것의 結果는 1年間 氣乾養生한 것과 거의 近似한 值였다.

VIII. 結 論

1) slag 骨材의 單位容積重量은 從來의 骨材와

<表-9> 初期表面吸水試驗結果($ml/m^2 \cdot s$)

養生法		粗 骨 材					
		B419	B435	B428	B431 (標準)	자갈	破碎된 石灰石
1 年間 暴 露	10 分	0.38	0.41	0.40	0.42	0.38	0.32
	20 分	0.24	0.26	0.27	0.27	0.25	0.21
	1시간	0.18	0.20	0.21	0.21	0.20	0.16
	2시간	0.14	0.16	0.16	0.16	0.15	0.13
3 年間 暴 露	10 分	0.06	0.04	0.07	0.07	0.07	0.04
	20 分	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.02
	1시간	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
	2시간	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
3 年間 水 中	10 分	0.29	0.39	0.35	0.32	0.26	0.28
	20 分	0.16	0.21	0.18	0.16	0.16	0.15
	1시간	0.12	0.17	0.13	0.13	0.11	0.11
	2시간	0.09	0.14	0.10	0.11	0.08	0.09

註: 供試體는 試驗前 溫度 20°C中에 4~5時間 放置

같이 粒度區分에 따라 그 값도 변하며 粒度區分이 큰 만큼 單位容積重量이 작았다.

BS-1047; 1952에서는 slag 骨材를 어떠한 粒度區分으로 하더라도 $1,250kg/m^3$ 以上の 單位容積重量을 必要로 하고 있다. 한편 BS-802; 1967에서는 骨材의 粒度區分을 12.7~9.5mm로 할 경우 $1,089kg/m^3$ 以上の 單位容積重量을 必要로 하고 있다. 本研究에 있어서는 BS-1047의 要求值보다도 작은 單位容積重量으로서 BS-802의 最小值에 가까운 單位容積重量의 輕量 slag 3種을 취해서 그 性質 및 그것을 利用한 콘크리트의 性質을 究明해 보았다.

2) 輕量 slag 3種의 最低單位容積重量은 $1,175kg/m^3$ 이고 이것은 BS-1047; 1952의 規準值보다도 $75kg/m^3$ 작은 것이었다. 4.8mm sieve 通過量의 粒度限界를 벗어난 slag B428을 除外하고는 標準 slag의 單位容積重量은 이 規準에 適合했으며 BS-882; 1965에는 4種의 slag 가 모두 規準에 適合했다.

3) 이러한 骨材에 대해서 普通重量 slag, 자갈, 破碎된 石灰石의 粗骨材로 만든 콘크리트와 비교하면서 콘크리트 試驗을 했다. 輕量 slag 콘크리트의 密度는 標準 slag 콘크리트보다도 約 5%는 작았다.

4) 同一한 容積配合과 同一한 workability를 갖는 配合의 경우 輕量 slag 콘크리트는 天然骨材 콘크리트보다도 약간 큰 물·시멘트比를 필요로 하고 單位 시멘트量은 約 $20kg/m^3$ 가 더 필요했다. 輕量 slag 콘크리트와 普通重量 slag 콘크리트間에는 強度의 有意差가 認知되지 않았다. 氣乾養生시킨 slag 콘크리트의 強度는 일반적으로 자갈이나 破碎된 石灰石으로 만든 콘크리트보다도 높게 나타났다. 또한 slag 콘크리트에 있어서 氣乾養生과 水中養生間에는 거의 差가 없었다.

單位 시멘트量을 一定하게 해서 비교할 경우 輕量 slag 콘크리트의 壓縮強度는 標準 slag 콘크리트나 天然骨材 콘크리트의 壓縮強度보다도 약간 낮았다. 그러나 曲強도와 割裂引張強度에 있어서는 輕量 slag 콘크리트가 자갈 콘크리트보다도 높고 破碎된 石灰石 콘크리트보다는 낮았으나 그 差는 작았다. 따라서 輕量 slag 는 普通

slag 나 天然骨材와 類似하다고 말할 수 있다.

5) 單位 시멘트량이 330kg/m³ 인 경우의 容積安定성과 初期表面吸收, curing 5年間까지의 耐硫酸鹽侵蝕試驗 등의 耐久性 및 鐵筋의 耐腐蝕性에 있어서는 輕量 slag 콘크리트와 標準 콘크리트間에는 거의 差가 없었다.

6) 이 研究를 기초로 해서 配合이 適切하게 設

計된다면 이러한 輕量 slag도 콘크리트用 粗骨材로서 사용이 가능할 것이다. 또한 BS-1047; 1952에 記述된 compact 된 單位容積重量의 最小值가 낮춰질 可能性도 보여졌다. 그러나 이 값은 骨材의 特殊粒度區分과 關聯해서 고려되어야 할 것이다.

[REFERENCE]

- 1) Lee, A. R., Slag for roads, its production, properties and uses, *Journal of the Institution of Highway Engineers*, Vol. 16, No. 2, February 1969, pp. 11-29.
- 2) Gutt, W., Kinniburgh, W. and Newman, A. J., Blastfurnace slag as aggregate for concrete, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 19, No. 59, June 1967, pp. 71-82.
- 3) Everett, L. H. and Gutt, W., Steel in concrete with blastfurnace slag aggregate, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 19, No. 59, June 1967, pp. 83-94.
- 4) Slag research at the Building Research Station, Discussion at a symposium, 15 February 1967, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 19, No. 59, June 1967, pp. 121-126.
- 5) Gutt, W., A new calcium magnesiosilicate, *Nature*, Vol. 190, No. 4773, 22 April 1961, pp. 339-340.
- 6) Gutt, W., The system dicalcium silicate-merwinite, *Nature*, Vol. 207, No. 4993, 10 July 1965, pp. 184-185.
- 7) Midgley, H. G., The polymorphism of calcium ortho silicate, *Paper submitted to the Sixth Symposium on the Chemistry of Cement*, Moscow, 1974.
- 8) Gutt, W. and Nurse, R. W., Phase equilibria composition of portland cement clinker, *Paper submitted to the Sixth Symposium on the Chemistry of Cement*, Moscow, 1974.
- 9) *Building Research Station*, Concrete in sulphate-bearing soils and ground waters, London, H. M. S. O., July 1968, pp. 5, Digest 90(second series).
- 10) *British Standards Institution*, CP 110:Part 1:1972, The structural use of concrete, Part 1, Design, materials and workmanship. London, pp. 154.
- 11) *British Standards Institution*, BS 1881:Part 4:1970, Methods of testing concrete for strength, London, pp. 28.