

시멘트 硬化體의 物性に 微量의 可塑性 添加劑가 미치는 影響

張 復 基
 <全南大學校助教授·工博>

1. 序 論

콘크리트에 새로운 物性を 부여하기 위하여 이를 만드는 과정에서 여러 가지 添加劑들을 도입·사용한다. 添加劑의 종류는 그 기능면에 있어서 매우 다양하며^{1),2)} 적합한 첨가제를 사용했을 때는 그 기대되는 효과도 대단히 크다.

諸添加劑 중에서 可塑劑(plasticiser, water-reducing)의 경우를 몇가지 例로 들면 M. Yudefreund et al.³⁾은 $w/c = 0.20$ 로서 高強度 및 低容積變化의 시멘트를 만들 수 있었으며 B. Forss⁴⁾는 早強·高強의 高爐슬래그 시멘트를 개발하였고 또 K. Friedmann et al.⁵⁾은 高速道路用의 새로운 시멘트에 대하여 報告하고 있다. 이 외에도 PS 콘크리트製造를 위한 injection 助劑(superplasticiser)¹³⁾ 등 많은 superplasticiser에 대한 연구가 행하여지고 있다.^{14)~17)} 그리고 concrete admixture 自體의 識別 및 분류에 대한 연구도 활발하다.^{18)~21)}

可塑劑만 하더라도 그 종류가 대단히 많으며⁶⁾ 商品화된 첨가제들은 그 대부분이 數種의 混合物로 되어 있어⁷⁾ 市販 助劑를 사용한 實驗結果를 가지고서는 純可塑機能成分의 작용을 究明하기가 곤란하다. 따라서 本研究實驗에서는 可塑劑가 시멘트 水硬化, 微細構造發達 및 物性に 미치는 영향을 고찰하기 위하여 試藥級 單一成分의 試料를 사용하였다.

2. 實驗 및 方法

本研究實驗에서 사용한 포틀랜드 시멘트(市販)의 鑛物組成 및 기타 物性值들은 <表-1>에서 볼 수 있다. <表-2>에는 역시 試料로 사용한 市販 高알루미나 시멘트의 化學組成과 物理實驗資料가 提示돼 있다.

本實驗에서는 可塑劑의 기능을 갖는 hydroxylated carboxylic acid 중에서 乳酸(lactic acid, $CH_3-CHOH-COOH$)과 그리고 역시 같은 機能劑群에 속하는 carbohydrate 중에서 果糖(fructose, $L(-)-C_6H_{12}O_6$)을 각각 添加劑로 사용하였다(<表-3>). 참고로 <表-4>에 콘

Compound Composition and Technical Data
 of Portland Cement
 <表-1>

Compound Bogue Composition (%)	
C_2S	55.8
C_2S	12.1
C_3A	10.3
C_4AF	8.8
$CaSO_4$	3.8 (= 1.7 SO_3)
Blaine fineness	3,420 cm^2/g
Moduli	
Hydraulic modulus	2.2
Silica modulus	2.3
Iron modulus	2.0
Lime standard (%)	95.8

Chemical Composition and Physical Tests of

〈表-2〉 **High Alumina Cement**

Chemical composition (w _t -%)			
Ig. loss	1.3	Fe ₂ O ₃	1.2
SiO ₂	6.3	CaO	38.9
Al ₂ O ₃	51.7	Rest	0.6
Total			100.0
Blaine fineness	3,670 cm ² /g		
Density	2.96		
Compressive strength, kg/cm ² (w/c = 0.40)			
1 day	1,033		
3 days	1,113		
28 days	1,171		

크리트 첨가제들을 종합적으로 분류하여 놓았다.¹⁾

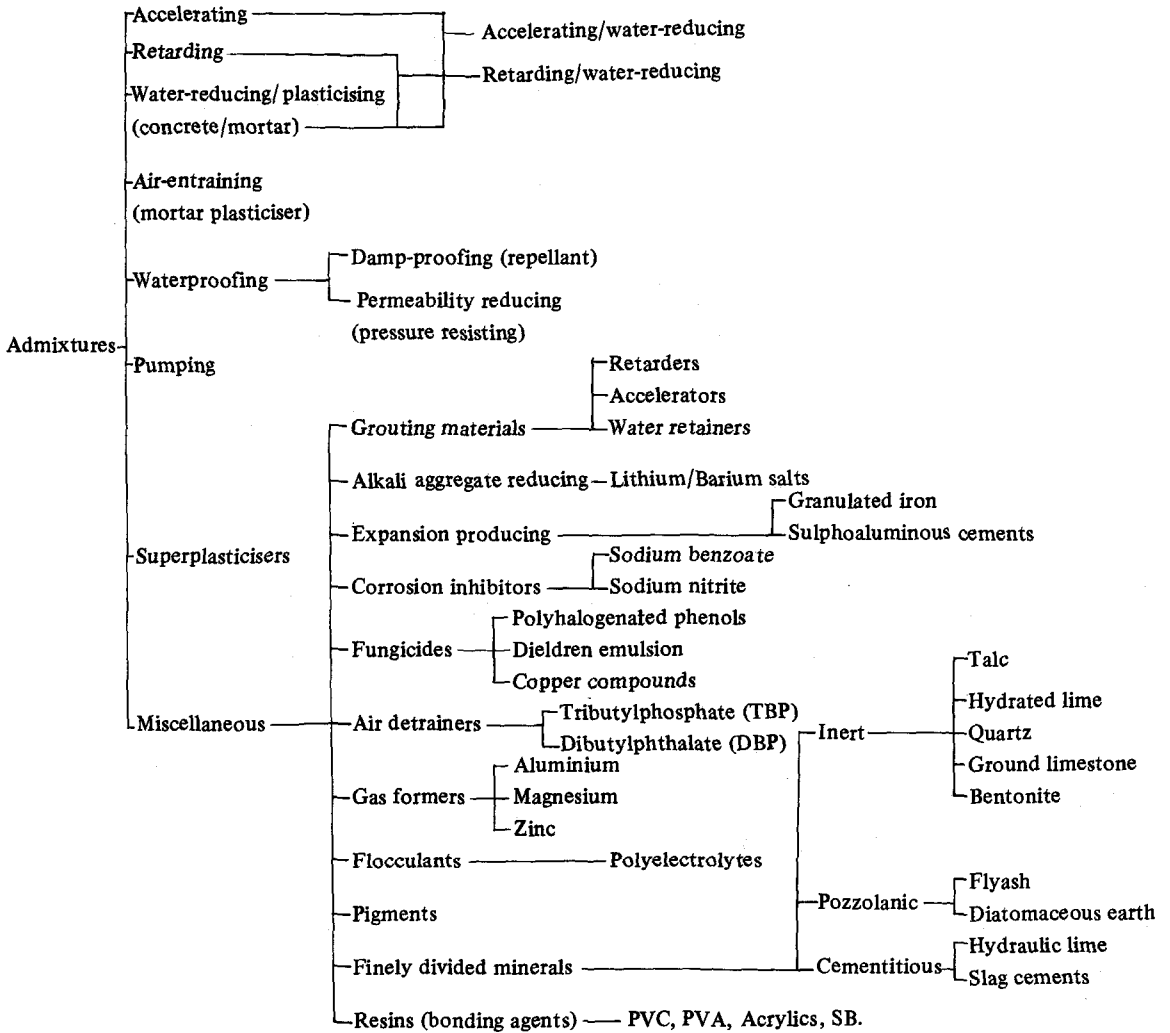
水硬化의 진척도를 알기 위하여 X-ray 定量分析을 행하였으며, 이 때 標準物質로 Mg(OH)₂

(s. Reference 6)

〈表-3〉 **Concrete Plasticiser (water-reducing)**

1. Salts of ligninsulfonic acid
2. Hydroxylated carboxylic acids and their salts
3. Carbohydrates: mono-, oligo- and polysaccharide and their derivatives
4. Synthetic organic products, e.g. alkylarylsulfonates, sulfonates of phenols and naphthols

〈表-4〉 **Classification of Concrete Admixtures**



<表-5>

Mix Details for Pastes with and without Water-reducing Agents

Mix Designation	Water-reducing Agent		Curing Time (days)	Hydration Grade (%)	Compressive Strength (kg/cm ²)
	Art	Add.-%			
Portland Cement					
1	-	-	1	32.9	384
2	-	-	3	38.2	466
3	-	-	7	45.7	591
4	-	-	28	55.1	820
5	Fructose	0.005	1	30.1	406
6	"	"	28	54.3	803
7	"	0.20	1	22.9	288
8	"	"	3	33.7	471
9	"	"	7	41.9	561
10	"	"	28	52.2	805
11	"	0.60	1	-	57
12	"	"	3	14.2	175
13	"	"	7	20.2	256
14	"	"	28	50.9	755
15	Lactic Acid	0.005	1	-	259
16	"	"	28	-	803
17	"	0.40	1	-	335
18	"	"	28	-	835
19	"	1.00	1	21.9	254
20	"	"	28	57.8	892
21	Starch	1.00	28	-	788
High Alumina Cement					
a	-	-	1	41.2	1,023
b	-	-	7	45.9	1,110
c	-	-	28	50.0	1,170
d	Fructose	0.005	1	44.7	1,045
e	"	"	28	50.3	1,212
f	"	0.02	1	35.0	814
g	"	"	3	36.4	823
h	"	"	7	37.1	815
i	"	"	28	42.5	1,050
j	"	0.06	1	-	(0)
k	Lactic Acid	0.005	1	-	980
l	"	"	28	-	1,185
m	"	0.02	1	-	784
n	"	"	28	-	1,121
o	"	0.05	1	-	(0)
p	"	"	3	41.4	1,050
q	"	"	28	42.9	1,102

를 그리고 포틀랜드 시멘트의 경우 $2\theta = 29.4$ (CuK α)의 피크를 이용하였다. 氣孔構造分析은

water-vapour adsorption isotherm을 기초로 참고문헌 8)에 소개한 Brunauer et al.의 法

〈表-6〉

Compressive Strength and Specific Surface Area (S_{BET}) of Hardened Portland Cement

Mix Designation	Water-reducing Agent		w/c	Curing Time (days)	Compressive Strength (kg/cm ²)	S_{BET} (m ² /g)	$\frac{S_{BET}}{w/c} \cdot 10^{-2}$
	Art	Add.-%					
2	—	—	0.40	3	466	90.7	2.27
3	—	—	"	7	591	107.4	2.69
4	—	—	"	28	820	125.0	3.13
9	Fructose	0.20	"	7	561	98.1	2.46
12	"	0.60	"	3	175	70.7	1.77
13	"	"	"	7	256	87.6	2.19
22	—	—	0.30	28	1,211	122.4	4.08
23	—	—	0.60	28	435	132.2	2.20

〈表-7〉

Surface and Pore Properties of Hardened Portland Cement Paste (s. Table 6)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Mix Designation	V_s (ml/g)	S_{BET}/S_t (m ² /g)	Micropores			Wide Pores			$\Sigma S(4+7)$ (m ² /g)	$\Sigma V(5+8)$ (ml/g)
			S_m	V_m	r_{m1}	$S_{w, pp}$	$V_{w, pp}$	$r_{w, pp}$		
2	0.2540	90.7/ 93.9	27.1	0.0080	3.0	67.1	0.2532	37.7	94.2	0.2612
3	0.2329	107.4/105.5	44.5	0.0124	2.8	65.5	0.2228	34.0	110.0	0.2352
9	0.2611	98.1/ 93.3	23.4	0.0063	3.2	74.0	0.2542	34.4	97.4	0.2605
12	0.2480	70.7/ 70.4	2.0	0.0006	3.2	68.7	0.2476	36.0	70.7	0.2482
22	0.1582	122.4/120.0	79.6	0.0243	3.1	43.8	0.1327	30.3	123.4	0.1570
23	0.1942	132.2/129.6	60.7	0.0178	2.9	69.5 ²⁾	0.1779 ²⁾	25.6 ²⁾	130.2	0.1957

1) $r_{(m, w)}$ in Å

2) $S_{w, cp}$, $V_{w, cp}$ and $r_{w, cp}$ ($S_{w, pp} = 56.4$, $V_{w, pp} = 0.1765$ and $r_{w, pp} = 31.3$)

으로 행하였다. 〈表-5〉에 포틀랜드 시멘트와 고알루미나 시멘트의 각 實驗試片들(w/c = 0.40)을 일괄적으로 表記해 놓았다(〈表-6〉 및 〈表-7〉 參照).

3. 實驗結果 및 考察

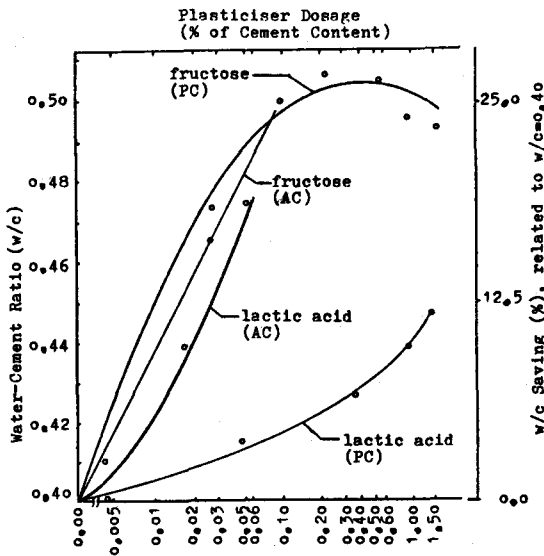
果糖과 乳酸의 water-reducing 作用을 보면 〈그림-1〉과 같다. 여기서는 可塑劑添加로 인한 workability ("Ausbreitmaß")의 向上을 그에 相應한 w/c로 換算하여 표시하였다(本研究에서는 water-reducing agent 와 plasticiser를 可塑劑와 同意語로 사용한다). 즉 果糖 0.1%를 含有한 포틀랜드 시멘트(w/c = 0.40)의 wo-

rkability는 w/c = 0.50의 純粹 시멘트(zero-specimen) 경우에 相當하며 이는 곧 混合水 25%(10 ml water per 100 g cement)의 節約을 의미한다.

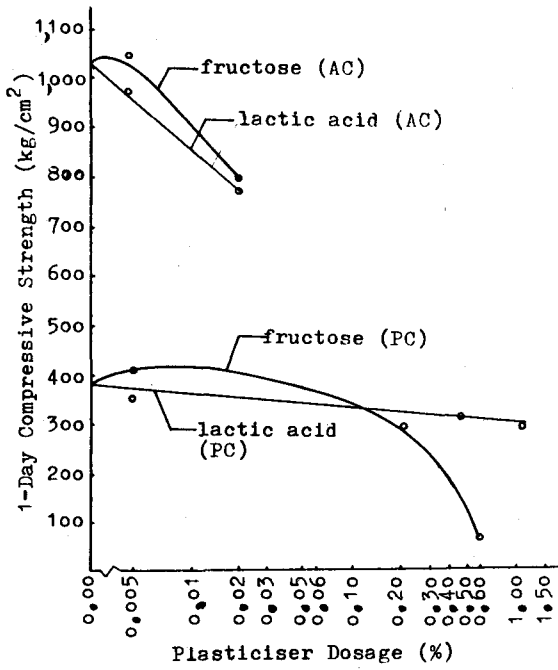
果糖을 포틀랜드 시멘트에 導入할 경우에는 添加量이 0.40 ~ 0.50%일 때 water-reducing 효과가 제일 큰 것으로 나타났다.

乳酸의 water-reducing 효과는 實驗 濃度域(〈그림-1〉)에서는 果糖에 比할 바가 못되지만 그러나 添加量에 따라 증가추세를 보이고 있다.

두 種의 可塑劑가 고알루미나 시멘트에 미치는 water-reducing 영향도 대단히 크다. 다만 고알루미나 시멘트는 포틀랜드 시멘트와 달리 첨가제에 극히 민감하여 微量의 導入에도 水硬



〈그림-1〉 Effects of Water-reducing Agents on the Workability of Portland (PC) and Alumina (AC) Cements, expressed in terms of Water-Cement Ratio



〈그림-2〉 1-Day Compressive Strength of Portland (PC) and Alumina (AC) Cement in dependence on Additive Concentration

化反應은 큰 沮害를 받는다(〈그림-2〉 參照).

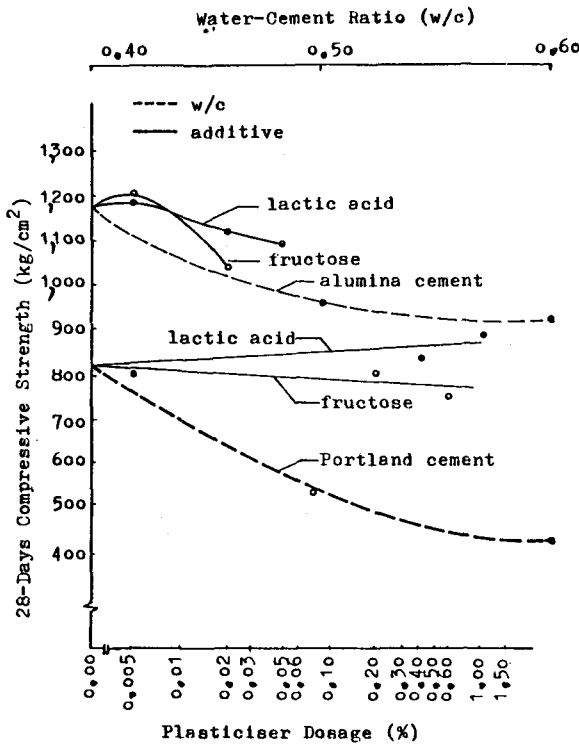
일반적으로 可塑劑는 물의 表面張力을 低下시킴으로써 시멘트-물 混合物의 流動性을 증가시키며 그들은 疎水性의 C-chain 과 親水性의 部分(O, S 및 N-原子)을 含有하고 있으면서 주로 固相-液相의 界面活性劑(surface active agent) 역할을 한다. 즉 이들은 界面張力을 降下시켜 分散性 및 流動性을 향상시키는 작용을 한다.⁹⁾

첨가제의 量이 포틀랜드 시멘트와 알루미늄 시멘트의 1日後 壓縮強度에 미치는 영향을 〈그림-2〉에 提示하였다. 일반적으로 添加量이 증가할수록 初期強度는 감소함을 볼 수 있다. 특히 알루미늄 시멘트는 첨가제의 微量 導入에도 치명적인 水和反應의 遲延을 감수해야 된다. 즉 벌써 0.05 및 0.06%의 添加時(〈表-5〉), 2일 동안 室溫에서 飽和濕度下에 養生하여도 그 強度는 脫型이 不可할 정도로 미약하다. 이런 關係로 〈그림-2〉에서 알루미늄 시멘트의 1일 強度는 添加量 0.02%까지만 나타나 있다 (乳酸 0.05% 添加時의 3일 및 28일 強度(〈表-5〉 및 〈그림-3〉)는 3日間 金型 안에 放置했다가 그 다음 水中에 養生시킨 強度이다).

〈그림-2〉에서 첨가제의 量이 最小(果糖 0.005%) 일 때는 1일 強度가 可塑劑를 含有치 않은 zero 試片의 1일 強度보다 오히려 약간 더 우수한 것으로 나타나 있는데 이는 可塑劑의 分散作用으로 인한 硬化體 微細組織의 均一(homogen)化 效果가 水硬化遲延作用의 효과를 능가한 때문이라 보여진다.⁷⁾

〈그림-3〉에 28일 後의 壓縮強度를 圖示하였는데 〈그림-2〉와 比較하여 特長적인 點은 특히 포틀랜드 시멘트에 있어서 후기強度의 증가현상이다. 初期 1일 強度가 添加劑를 含有치 않은 zero 試片보다 다소 낮은 경우(果糖 0.20%, 乳酸 0.50 및 1.00%)의 28일 強度는 오히려 zero 試片보다 높고 또 初期水硬化가 심히 遲延된 果糖 0.60%의 경우도 後期 28일 強度는 zero 試片의 28일 強度와 비슷한 값을 보여준다.

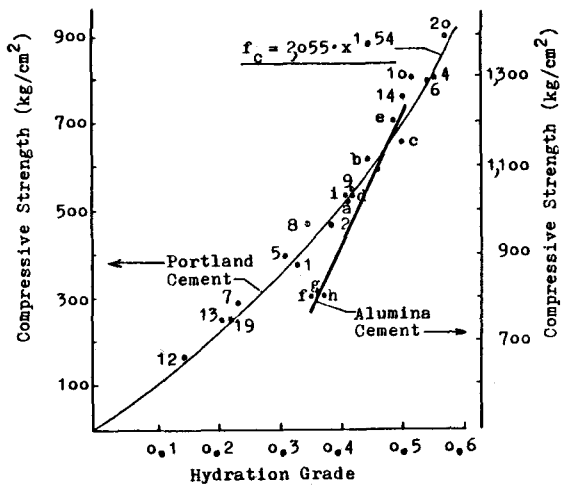
可塑劑의 添加量과 壓縮強度의 關係(〈그림-2〉)에서 고찰한 바와 같이 일반적으로 加少제



〈그림-3〉 28-Days Compressive Strength of Portland and Alumina Cement in dependence on Additive Concentration and Water-Cement Ratio

의 導入으로 시멘트의 初期 水硬化는 遲延되고 따라서 가소제는 동시에 遲延劑의 역할을 한다.

〈그림-4〉에 각종 試片들의 壓縮強度와 X-ray 定量分析法로 구한 水和度 사이의 관계를 圖示(〈그림-4〉內의 試片表示는 〈表-5〉에서와 같음) 하였다. 그림에서 우리는 우선 可塑劑를 含有한 諸試片들의 壓縮強度 역시 zero 試片들과 마찬가지로 동일한 強度-水和度の 函數關係를 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 즉 가소제의 導入으로 시멘트의 初期強度가 저하되지만 그 이유는 주로 시멘트 粒子表面에 吸着된 가소제 分子들 薄層(특히 疎水性 部分)으로 인한 水和反應의 단순한 沮害作用 때문이라고 할 수 있다. 물론 첨가제의 導入으로 시멘트 水硬化體의 微細組織(結晶狀, 氣孔構造 등)에 變化가 일어날 것이 豫상된다. 그러나 〈그림-4〉의 결과는 이러한 微細構造的 變化가 硬化體의 物性(壓



〈그림-4〉 Relationship between the Compressive Strength and Hydration Grade in hardened Portland Cement and Alumina Cement Paste (Mix Designation: s. Table 5)

縮強度)에 주요한 영향을 미치지 않는다.

T.C.Powers 는 시멘트 硬化體의 壓縮強度가 gel space 와 指數函數 關係에 있음을 알았다. 그리고 J. J. Beaudoin et al.¹⁰⁾도 여러 가지 첨가제 (fly ash, water-reducing agents, air-entraining agent 및 limestone powder)를 가지고 실험한 연구에서 이 관계를 확인하였다. 〈그림-4〉 (w/c = 0.40) 역시 시멘트(포틀랜드) 硬化體의 壓縮強度는 水和度 즉 시멘트 gel 형성과 밀접한 函數關係에 있음을 보여주며 zero 試片의 7일과 28일 壓縮強度(f_c) 및 水和度(x)를 근거로 계산한 關係式은 $f_c = 2,055 \cdot x^{1.54}$ (kg/cm²)으로 주어진다.

初期에는 水和反應이 심히 지연되지만 높은 後期強度를 나타내는 試片들(乳酸 1.00%, 특히 果糖 0.60%의 28일 強度: 試片 No.14 & 20) 역시 같은 強度-水和度 函數關係를 나타낸다. 그리고 이들 試片의 높은 28일 強度는 곧 28일간이라는 같은 養生期間 동안에 다른 試片들에 있어서보다 빠른 속도로 水和反應이 진행되었다는 의미인데 이 관계는 아래의 氣孔構造分析에서 언급될 것이다. 특히 果糖 0.60%의 試片을 보면 workability는 w/c = 0.50時的 試片과 유사(〈그림-1〉)하고 28일 강도는

w/c=0.50, 試片 경우 (<그림-3> 壓縮強度 506 kg/cm²)보다 약 50%나 (<그림-3>과 <表-5>, 強度 755 kg/cm²) 더 크다. 환언하면 果糖 0.60%의 첨가로 w/c=0.50 試片 28日 強度의 50% 增進을 꾀할 수 있다는 의미가 된다.

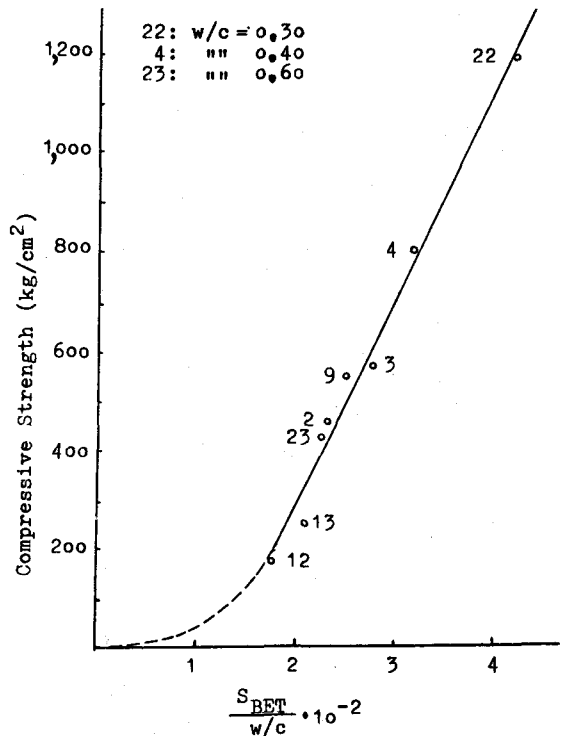
高알루미나 시멘트의 壓縮強度-水和度 關係도 <그림-4>에 나타냈다. 알루미나 시멘트에 있어서는 1日 強度가 대단히 크고 특징적인데 反하여 1~28日 사이의 水和 및 強度進展의 幅이 좁다. 따라서 포틀랜드 시멘트에서처럼 명확한 壓縮強度-水和度 關係를 구하기가 곤란하다. <그림-4>에서는 일단 直線關係로 나타나 있다. 試片 f, g 및 h(果糖 0.02% 添加時 각각 1, 3 및 7日 後의 強度)에서는 1~7日 동안에 거의 아무런 水和反應의 進척도 없는 것으로 나타나 있고 28日 後에야 zero 試片의 1日 強度(試片 a)를 보여주고 있다. 高알루미나 시멘트의 水和反應에 미치는 첨가제의 작용은 그 機構가 포틀랜드 시멘트에서와는 또 다르고 별도의 研究實驗이 필요하다고 생각된다.

시멘트 硬化體의 強度는 주로 水和物의 막대한 比表面積을 갖는 콜로이드的인 構造와 그에 의한 커다란 Van-der-Waals 引力에 의한다고 보여진다.¹¹⁾ 水和가 進行함에 따라 硬化體의 比表面積은 점차 증가하며 그 값은 마침내 始發物質인 시멘트에 비하여 약 1,000 배나 더 커진다. <그림-5>에 壓縮強度와 比表面積(S_{BET}: surface area according to Brunauer, Emmet and Teller) 關係를 표시하였다. <그림-5>에서는 <그림-4>에서와 달리 w/c=0.30, 0.40 및 0.60의 試片들도 收錄하였으며 따라서 x 軸으로는 S_{BET} 대신 $\frac{S_{BET}}{w/c}$ (S_{BET} per unit w/c-value)를 취하였다. 또 <表-6>에 이 關係를 數値로 나타냈다. <그림-5>는 시멘트의 壓縮強度가 $\frac{S_{BET}}{w/c}$ 와 어느 時期(水和度 약 15%) 이후부터는 直線關係에 있음을 보여준다 (참고문헌 12) 參照).

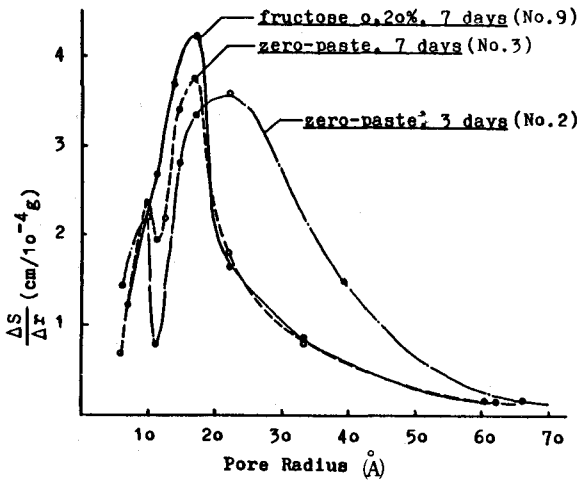
水和度 壓縮強度 (<그림-4>)에서 고찰한 바와 같이 <그림-5>에서도 마찬가지로 시멘트 硬化體의 強度는 대체적으로 水和物 結晶狀이나 結晶들의 matting ("Verfilzung") 여하에는 無關하게 보인다. w/c의 相異 및 添加劑導入으로

인한 硬化體 微細構造(氣孔을 包含)와 水和物 結晶狀에 있어서의 變化(<表-7>과 <그림-7> 參照)에도 불구하고 포틀랜드 시멘트의 強度는 주로(單位 w/c 當) 比表面積의 크기에 의하여 좌우된다.

<그림-5> 및 <表-6>에 收錄된 試片들 가운데 일부의 氣孔構造分析 結果를 <表-7>에 提示하였다. 또 <그림-6>에서는 氣孔分布圖를 볼 수 있다. 水硬化의 進行과 더불어 wide pore는 점차 水和物로 채워지게 되고 그에 따라 micropore의 발달이 두드러지게 되는데 이러한 일종의 轉移現象은 특히 <그림-6> (No. 2 & 3)에서 一目瞭然하게 드러나 있다. <表-7>의 資料에 의거하여 3日 後의 zero 試片 (No. 2)과 7日 後의 같은 zero 試片 (No. 3)을 서로 비교하여 볼 때 두 試片 wide pore의 多少는 아주 근소한 差를 나타낸다. 그러나 그



<그림-5> Relationship between the Compressive Strength and Specific Surface Area per Unit Water-Cement Ratio in Hardened Portland Cement Paste (Mix Designation: s. Table 6 & Table 5)



〈그림-6〉 Pore Surface Distribution Curves for Portland Cement Paste with and without Fructose after 3-and 7-Days Hydration

내용에 있어서는 매우 다른 것이 〈그림-6〉에서 보는 것처럼 3일 후의 zero 시험편은 반徑이 큰 wide pore 들의多數分布로 현저한 대조를 이루고 있다. 시험편 2는 반徑 23 Å 크기의 wide pore 들이 主種을 이루며 약 40 Å 크기의 氣孔들도 상당량 存在하고 있다.

또 시험편 2는 두 개의 피크를 보여주고 있는데 이들은 位置만 보다 작은 크기의 氣孔쪽으로 移動을 했을 뿐이지 거의 그대로 시험편 3에서도 나타나고 있다. 이는 아마도 처음부터 시멘트-물의 混合이 잘 이루어진 部位와 그렇지 못한 域으로 두 구별이 생기는 듯한 印象을 준다. 或은 달리 시멘트 粉末의 粒度分布와 有關한지도 모른다.

果糖 0.20%의 첨가로 같은 7일 후의 zero 시험편보다 水硬化가 약간 지연된 시험편 9(〈그림-6〉 및 〈表-7〉)를 보면 시험편 3에 비하여 wide pore 들이 많고 또 이들은 큰 반徑을 갖는 것으로 되어 있다. 특히 반徑이 큰 wide pore 들이 많은 點은 後日 水硬化反應이 속히 進척될 條件이 된다. 즉 이는 加소제의 導入으로 初期엔 水化가 지연되지만 後期에는 오히려 zero 시험편보다 다소 높은 강도를 나타내게 되는 現象("Nacherhärtung")의 原因이 된다고 보여진다.

같은 脈絡에서 果糖 0.60%를 含有한 시험편의

빠른 後期 水和反應도 설명될 수 있다. 이 시험편은 1~3일 및 7일까지도 水硬化가 微進(〈表-5〉)한데, 28일 후에는 zero 시험편의 28일 강도에 상당히 접근하고 있다. 〈表-7〉의 氣孔構造分析結果가 말하듯이 3일간의 養生 후 이 시험편(No.12)은 아직도 micropore의 發達을 거의 보지 못하고 있다. 이에 反하여 wide pore는 豊富히 發達되어 있고 이들의 반徑도 크다. 같은 3일 후의 zero 시험편(No. 2)과 비교하면 wide pore의 반徑은 작지만 그 表面積은 약간 더 크다. wide pore만의 資料에 따르면 zero 시험편(No. 2)의 경우 오히려 水和反應이 더 빨리 進行될 것 같이 보인다. 그러나 이 zero 시험편엔 벌써 많은 micropore들이 잘 發達되어 있고 또 水和物(gel)이 상당량 形成되어 있어 이들이 앞으로의 水和反應에 필요한 물의 通行 및 擴散을 크게 방해할 것으로 豫想된다.

결국 果糖 0.60%를 含有한 시험편이 後期에 急速히 強度發生을 초래할 수 있는 것은 위에서 본 바와 같이, 또 果糖 0.20% 시험편(No.9)이 시사하듯이 필요한 氣孔構造的 與件 즉 큰 wide pore들이 均一(homogen)하게 잘 發達되어 으면서 동시에 이 氣孔들이 水和物 gel 厚層으로 서로 隔離되어 있지 않을 條件이 갖추어져 있는 때문이라고 간주된다.

w/c의 大小(〈表-7〉, No. 21 & 23)는 氣孔構造에 커다란 차이를 結果한다. 그런데도 強度 - $\frac{S_{BET}}{W/C}$ 關係는 같은 w/c의 시험편들 경우나 동일한 函數關係를 나타내므로 흥미있는 일이다. 氣孔構造分析結果로는 w/c의 차이로 氣孔의 일반적인 형태도 달라지는 것으로 되어 있다. 즉 w/c=0.60의 경우는 wide pore의 형태가 w/c=0.30이나 w/c=0.40의 板狀構造와 달리 cylinder 모양(model)을 하고 있다(〈表-7〉 參照).

〈그림-7〉에 zero 시험편과 果糖 및 果糖과 같은 carbohydrate에 속하는 澱粉을 含有한 시험편들의 SEM micrograph를 收錄하였다. 세가지 시험편이 각기 다른 微細構造를 보여주고 있는데 첨가제의 導入으로 그리고 같은 群(carbohydrate)의 첨가제라 하더라도 시멘트 水和物의 結晶狀이 매우 상이하게 變함을 알 수 있다. 그러나 〈그림-7〉에서 보는 結晶狀의 變化 및 微



〈그림-7〉 SEM-Micrographs of Hardened Portland Cement Paste with and without Concrete Admixtures after 28-Days Curing. From left Zero-, Fructose (0.60%)- and Starch (1.00%)-Paste

細組織의 SEM結果로서는 각 試片들의 상이한 내지 유사한 物性(壓縮強度, <表-5>)을 無理없이 설명할 수는 없을 것 같다.

4. 結 論

可塑劑(非商品)가 시멘트 硬化體의 物性に 미치는 영향에 관한 研究實驗의 結果는 다음과 같다.

① 可塑劑를 첨가하여 zero paste(가소제를 함유치 않은 純粹한 paste)와 같은 workability의 시멘트 paste를 만드는데 本研究實驗의 例에서는 $w/c=0.50$ 의 경우 添加水 25%까지를 절감할 수 있었다. 또 workability가 $w/c=0.50$ zero paste와 같은, 한 可塑劑를 함유한 paste ($w/c=0.40$)에 있어서는 그 28일 壓縮強度가 前者의 경우와 비교하여 약 50% 정도나 더 컸다.

② 可塑劑는 동시에 初期水和反應의 遲延作用을 갖는다.

초기에 水硬化가 다소 지연되었던 paste는 후기에 오히려 zero paste 경우보다 큰 壓縮強度를 나타낸다. 또 過量의 可塑劑 첨가로 인한 遲延現象을 나타내던 paste에 있어서도 後期(28일)에는 zero paste의 壓縮強度에 접근하고 있다.

③ 水硬化過程에 있어서의 이러한 遲延-挽回의 현상은 氣孔構造分析을 통해 그 설명이 가능하다.

즉 可塑劑를 함유한 paste에서는 비교적 크기가 균一하고 큰 wide pore들이 많이 發達하여 初期遲延以後의 水和反應에 필요한 물의 transport 및 diffusion을 원활하게 해준다.

④ zero 試片과 可塑劑를 함유한 試片들의 壓縮強度는 공히 하나의 壓縮強度-水和度 指數函數關係 또는 壓縮強度- $\frac{S_{BET}}{w/c}$ 直線關係에 놓여 있다. 이 관찰로부터 시멘트 硬化體의 物性(壓縮強度)은 可塑劑 導入으로 인한 硬化體 微細構造의 변화에도 불구하고 주로 水和物 gel의 “比量”(volume concentration, gel-space

ratio, S_{BET} per unit·w/c)에 의존함을 알 수 있다.

〈참 고 문 헌〉

- 1) M. R. Rixom, "Concrete Admixtures: Use and Applications", The Construction Press, Lancaster/London/New York, 1977.
- 2) Ceresit-Werk GmbH. "Ceresit Programm", Ausgabe April 1980.
- 3) M. Yudenfreund, I. Odler and S. Brunauer, "Hardened Portland Cement Pastes of Low Porosity", Cement and Concrete Research, 2 (3), 313-330 (1972).
- 4) B. Forss, "F-Cement, a New Low-Porosity Slag Cement", Silicates Industriels, 48 (3), 79-82 (1983).
- 5) K. Friedmann and A. Pasler, "Verwendung einer neuen Zementart im tschechoslowakischen Straßenbau", Baustoffindustrie, 4/84, 103-105 (1984).
- 6) D. Knöfel, "Bautenschutz", Bauverlag GmbH, Wiesbaden/Berlin, 1979.
- 7) H. E. Schwiete, U. Ludwig and K. Seiler, "Die Wirkungsweise von Erstarrungsverzögerern unter besonderer Berücksichtigung silicofluorhaltiger Verbindungen", Zement-Kalk-Gips, 23 (8), 354-367 (1970).
- 8) 張復基, "시멘트 硬化體의 氣孔構造와 物性", 시멘트, 第 100 輯, 76 ~ 83 (1985).
- 9) P. C. Kreijger, "Plasticisers and dispersing admixtures", in "Concrete International-Admixtures", The Construction Press, 1980.
- 10) J. J. Beaudoin and C. MacInnis, "The Effect of Admixtures on the Strength-Porosity Relationship of Portland Cement Paste", Cement and Concrete Research, 1 (1), 3-11 (1971).
- 11) W. Czernin, "Zementchemie für Bauingenieure", p. 64, Bauverlag GmbH, Wiesbaden/Berlin, 1977.
- 12) H. Kühn, "Zement-Chemie", Bd. III, p. 330, VEB Verlag Technik Berlin, 1961.
- 13) G. Braun and H. Reul, "Vergleichende Untersuchungen an Einpreßmörteln", TIZ-Fachberichte, 108 (5), 286-288 (1984).
- 14) G. Popescu, M. Muntean, B. Horia, I. Stelian, A. Dan-Florin and A. Bujor, "Effect of Superplasticizers on Portland Cement Mortars and Pastes", il cemento, 2/1982, 107-114 (1982).
- 15) G. Corradini, G. Scoccia, R. Volpe and S. Tavano, "About the Rheological and Mechanical Behaviour of a Superplasticized Concrete", il cemento, 3/1982, 169-180 (1982).
- 16) H. Uchikawa, S. Uchida and K. Ogawa, "Influence of Superplasticizer on the Hydration of Fly Ash Cement", Silicates Industriels, 48 (4-5), 99-106 (1983).
- 17) G. Corradini, G. Scoccia, R. Volpe, and S. Tavano, "Statistical Evaluation of Mechanical Properties of Superplasticized Concrete", Cement and Concrete Research, 14 (3), 375-385 (1984).
- 18) H. Reul, "Untersuchungen an Fließmitteln", beton, 29 (7), 247-249 (1979).
- 19) C. R. Wilding, A. Walter and D. D. Double, "A Classification of Inorganic and Organic Admixtures by Conduction Calorimetry", Cement and Concrete Research, 14 (2), 185-194 (1984).
- 20) N. B. Milestone, "Identification of Concrete Admixtures by Differential Thermal Analysis in Oxygen", Cement and Concrete Research, 14 (2), 207-214 (1984).
- 21) J. Bensted, "Admixtures for Cement, Mortar and Concrete-a recent UK colloquium", World Cement, November/1984, 322-325 (1984). ♣