氣泡모르터의 諸特性에 관한 實驗的 硏究(Ⅱ)

—第 2報 強度와 空氣量 特性—

Experimental Studies on the Characteristics of Foaming Mortar(Ⅱ)

-Part 2 Characteristics of Strength and Air Content-

成 贊 鏞*
Sung, Chan Yong

Summary

This study was performed to obtain the basic data which can be applied to use of foaming mortars.

1. At the mixing ratio 1 : 1, the highest strengths were showed by foaming mortars, respectively. But, it. gradually was decreased in poorer mixing ratio and more addition of foaming agent.
   The decreasing rates of strengths were incresed in poorer mixing ratio and more addition of foaming agent.
2. The strengths were decreased up to 77.0-92.8% by mix-foaming type and 36.7-74.4% by pre-foamed type than cement mortar.
3. At the mixing ratio of 1 : 1, the lowest air contents were showed by foaming mortars, respectively.
   But, it gradually was increased in poorer mixing ratio and more addition of foaming agent.
   The increasing rates of air contents were increased in richer mixing ratio and more addition of foaming agent.
4. Air contents were showed up to 26.0-63.8 times by mix-foaming type and 5.8-17.7 times by pre-foamed type than cement mortar, respectively.
5. The correlations between compressive strength and air content were highly significant, respectively.

*忠南大學校 農科大學

The multiple regression equations of strengths and air content were computed depending on a fuction of mixing ratio and addition of foaming agent.
It was highly significant, respectively.

Ⅰ. 緖 論

시멘트 콘크리트는 壓縮強度가 크고 耐久性 이 높아 建設材料로써 널리 活用하고 있으나 比重이 크다는 것이 缺點중의 하나이다. 그리하여 比重이 작은 콘크리트를 만들기 위한 여러가지 方法이 試圖되어 왔다.[9, 10, 18, 20]

한편, 氣泡모르터의 長點으로는 輕量性, 吸音性, 耐振性, 斷熱性, 早乾性, 不燃性, 加工性, 流動性, 經濟性, 耐凍結融解性等이 있는 反面, 空氣量이 增加하면 強度의 底下와 吸水性이 增加하는 短點을 가지고 있다.[3, 4, 5, 6]

筆者는 配合比와 氣泡劑 및 氣泡의 添加量에 따라 氣泡모르터의 密度와吸水率 特性을 第1報[17]에서 報告한 바 있다. 따라서, 本 硏究에서는 Pre-foamed型과 Mix-foaming型 氣泡劑를 使用한 氣泡모르터의 諸強度 및 空氣量 試驗結果를 普通시멘트 모르터와 比較分析하여 그 特性을 究明하고자 試圖한 것이다.

Ⅱ. 材料 및 方法

使用材料 및 供試體 製作에 관해서는 第1報[17]에 상세히 報告되었으므로 여기에서는 試驗方法만을 記述하기로 한다.

1. 試驗方法

가. 強度試驗

強度試驗에서 壓縮強度는 KS L 5105, 引張強度는 KS L 5104, 휨強度는 JIS R 5201의 試驗方法에 準하여 材齡 7日, 28日에서 強度를 測定하였다.

나. 空氣量 試驗

空氣量 試驗은 500cc의 메스실린더속에 生製品을 200cc넣고 여기에 200cc의 물을 添加해서 攪拌混合한 다음 氣泡를 分離시키고 다음에 메틸알콜(純度 99%) 100cc를 넣어서 氣泡를 消泡시켜 다음式으로 空氣量을 求하였다.

空氣量(%) = ((生製品(200cc) + 물(200cc) + 메틸알콜(100cc) - 메스실린더의 물높이) * 100) / 生製品(200cc)

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 諸強度

普通시멘트 모르터와 氣泡모르터와의 壓縮, 引張 및 휨強度 試驗結果를 配合比와 氣泡劑 및 氣泡의 添加量에 따른 各 強度變化의 材齡別 多重回歸方程式을 求하면 Table-1,2와 같다.

Table-1,2에서 보는 바와 같이 氣泡 모르터의 壓縮, 引張 및 휨強度는 材齡 7日, 28日에서 다같이 氣泡劑 및 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 減少하였고, 貧配合일수록 작게 나타났는데, 이러한 現像은 混合氣泡注入型인 M 氣泡모르터와 事前氣泡注入型인 P 氣泡모르터에서 共通的으로 나타났으며, M 氣泡모르터가 P 氣泡모르터에 比하여 強度가 현저히 작게 나타났다.

한편, 材齡別 各 強度의 減少率은 M 및 P 氣泡모르터에서 다같이 配合比 1 : 1일때 가장 낮게 나타났으며, 이보다 貧配合일수록 또는 氣泡劑나 氣泡의 添加量이 增加할수록 높게 나타났는데, 이러한 現像은 氣泡劑나 氣泡의 混入量이 많을수록 強度가 작게 나타났다는 阿久率[4], 金等[14], 成等[16], 德光等[19]의 硏究報告와 一致하는 結果라 하겠다.

가. 壓縮強度

Table-1,2에 의하여 材齡 28日의 壓縮強度 試驗結果를 圖示하면 Fig.1,2와 같다. 또한, Table-1,2에서 보는 바와 같이 氣泡모르터는 普通 시멘트모르터의 壓縮強度를 100%로 假定할때, 材齡 7日에서 M 氣泡모르터는 24.2~10.0%, P氣泡모르터는 64.5~30.2%의 強度를 나타냈으며, 材齡 28日일때 M氣泡모르터는 23.0~8.1%, P 氣泡모르터는 63.3~28.2%를 보여주고 있어, 材齡 28日의 強度가 材齡 7日의 強度보다 強度의 減少率이 各各 1.2~1.9%, 1.2~2.0% 높게 나타났다.

또한, 각 配合比의 平均値로 볼때, 材齡 7日에서 普通시멘트 모르터의 壓縮強度 152.9kg/cm² 에 比하여 M氣泡모르터는 25.5kg/cm²으로 16.7

Table-1. Multiple regression equations of strength as a function of mixing ratio and adding. (7days)

Item	Equation	R^2
M	$\sigma_c = 308.400 - 62.210M - 400.867A + 200.425A^2 - 32.408A^3 + 79.732MA - 39.630MA^2 + 6.388MA^3$	0.998**
	$\sigma_t = 44.950 - 8.510M - 59.575A + 30.075A^2 - 4.900A^3 + 11.030MA - 5.530MA^2 + 0.900MA^3$	0.999**
	$\sigma_b = 91.500 - 17.630M - 122.792A + 62.025A^2 - 10.083A^3 + 23.203MA - 11.640MA^2 + 1.887MA^3$	0.999**
P	$\sigma_c = 297.564 - 35.063M - 136.274A - 16.562M^2 + 2.688M^3 + 33.631A^2 - 3.613A^3 + 22.710MA - 3.108MA^2$	0.999**
	$\sigma_t = 39.095 + 1.224M - 20.305A - 4.575M^2 + 0.633M^3 + 5.075A^2 - 0.550A^3 + 3.097MA - 0.415MA^2$	0.999**
	$\sigma_b = 78.301 + 3.712M - 43.520A - 9.813M^2 + 1.338M^3 + 11.369A^2 - 1.254A^3 + 6.830MA - 0.988MA^2$	0.999**

Notes : M – Mixing ratio (wt.) $1 \leqq M \leqq 4$
A – Adding (%) $0 \leqq A \leqq 3.0$
σ_c – Compressive Strength (kg/cm^2)
σ_t – Tensile Strength (kg/cm^2)
σ_b – Bending Strength (kg/cm^2)

Table-2. Multiple regression equations of strength as a fuction of mixing ratio and adding. (28days)

Item	Equation	R^2
M	$\sigma_c = 432.547 - 83.611M - 566.109A + 0.107M^3 + 282.375A^2 - 45.667A^3 + 105.443MA - 52.230MA^2 + 8.417MA^3$	0.999**
	$\sigma_t = 58.170 - 10.552M - 77.758A + 0.004M^3 + 39.050A^2 - 6.342A^3 + 13.667MA - 6.795MA^2 + 1.098MA^3$	0.999**
	$\sigma_b = 122.702 - 22.279M - 166.350A - 0.009M^3 + 83.625A^2 - 13.575A^3 + 29.658MA - 14.750MA^2 + 2.382MA^3$	0.999**
P	$\sigma_c = 435.649 - 86.282M - 198.185A + 0.250M^3 + 50.731A^2 - 5.721A^3 + 30.313MA - 4.103MA^2$	0.998**
	$\sigma_t = 58.416 - 10.778M - 27.228A + 0.017M^3 + 6.944A^2 - 0.771A^3 + 3.920MA - 0.528MA^2$	0.997**
	$\sigma_b = 122.226 - 22.024M - 60.347A - 0.016M^3 + 16.156A^2 - 1.854A^3 + 8.811MA - 1.253MA^2$	0.996**

Notes : M – Mixing ratio (wt.) $1 \leqq M \leqq 4$
A – Adding (%) $0 \leqq A \leqq 3.0$
σ_c – Compressive strength (kg/cm^2)
σ_t – Tensile strength (kg/cm^2)
σ_b – Bending strength (kg/cm^2)

%, P氣泡모르터는 71.2kg/cm²으로 46.6%의 強度를 나타내고 있으며, 材齡 28日에서 普通시멘트 모르터의 壓縮強度 226.2kg/cm²에 比하여 M氣泡모르터는 34.1kg/cm²으로 15.1%, P 氣泡모르터는 101.6kg/cm²으로 44.9%의 強度를 보여주고 있어, 材齡 28日일때의 強度가 材齡 7日일때의 強度보다 強度의 減少率이 1.6~1.7%높게 나타났으며, P氣泡모르터가 M氣泡모르터에 比하여 材齡 7日에서는 約 2.79倍, 材齡 28日에서는 約 2.98倍로 長期材齡일수록 強度의 差異가 크게 나타났다. 한편, 氣泡모르터의 材齡 28日의 壓縮強度는 材齡 7日의 壓縮強度에 比하여 普通시멘트 모르터는 約 1.48倍, M氣泡모르터는 1.34倍, P氣泡모르터는 約 1.48倍로 德光等[19]의 1.45倍와 近似한 結果를 나타내었다.

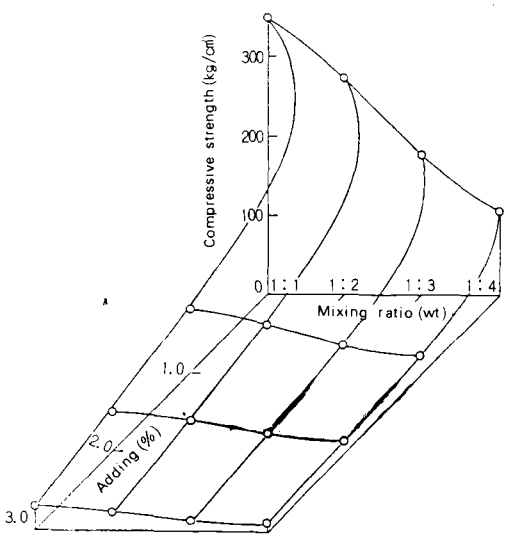

Fig. 1. Relationship among the compressive strength, mixing ratio and adding on mix-foaming type.

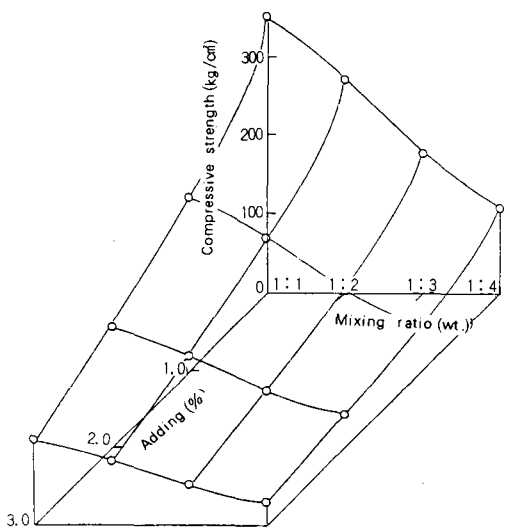

Fig. 2. Relationship among the compressive strength, mixing ratio and adding on pre-foamed type.

나. 引張強度

Table-1, 2에서 보는 바와 같이 氣泡 모르터는 普通시멘트 모르터의 引張強度를 100%로 假定할 때, 材齡 7日에서 M氣泡모르터는 23.4～9.7%, P氣泡모르타는 63.6～30.0%의 強度를 나타내었으며, 材齡 28일때 M氣泡모르터는 22.2～7.3%, P氣泡모르터는 62.5～27.8%의 強度를 보여주고 있어, 材齡 28日의 強度가 材齡 7日의 強度보다 強度의 減少率이 各各 1.2～2.4%, 1.1～2.2%높게 나타났다. 또한, 各 配合比의 平均値로 볼때, 材齡 7日에서 普通시멘트 모르터의 引張強度 23.7kg/cm²에 比하여 M氣泡모르터는 3.7kg/cm²으로 15.7%, P氣泡모르터는 10.8kg/cm²으로45.6%의 強度를 나타내고 있고, 材齡 28日에서는 普通시멘트 모르터의 強度 31.9kg/cm²에 比하여 M氣泡모르터는 4.5kg/cm²으로 14.2%, P氣泡모르터는 14.0kg/cm²으로 44.0%의 強度를 보여주고 있어, 材齡 28日때의 強度가 材齡 7日일때의 強度보다 1.5～1.6% 減少하였으며, P 氣泡모르터가 M氣泡모르터에 比하여 材齡 7日에서는 約 2.91倍, 材齡 28日에서는 約 3.10倍로 壓縮強度에서와 같이 長期材齡일수록 強度의 差異가 크게 나타났다. 한편, 氣泡모르터의 材齡 28日의 引張強度는 材齡 7日의 引張強度에 比하여 普通시멘트 모르터는 約 1.35倍, M氣泡모르터는 約 1.22倍, P氣泡모르터는 約 1.30倍로 나타났다.

다. 휨 強度

Table-1, 2에서 보는 바와 같이 氣泡 모르터는 普通시멘트 모르터의 휨 強度를 100%로 假定할 때, 材齡 7日에서 M氣泡모르터는 22.4～8.8%, P氣泡모르터는 61.9～27.1%의 強度를 나타내었으며, 材齡 28日일때 M氣泡모르터는 21.5～7.2%, P氣泡모르터는 61.0～25.6%의 強度를 보여주고 있어, 材齡 28日의 強度가 材齡 7日의 強度보다 強度의 減少率이 各各 0.9～1.6%, 0.9～1.5% 높게 나타났다. 또한, 各 配合比의 平均値로 볼때, 材齡 7日에서 普通시멘트 모르터의 휨 強度 47.4kg/cm²에 比하여 M氣泡모르터는 7.1kg/cm²으로 15.0%, P氣泡모르터는 21.0kg/cm²으로 44.3%의 強度를 나타내고 있고, 材齡 28日에서는 普通시멘트 모르터의 強度 66.8kg/cm²에 比하여 M氣泡모르터는 9.1kg/cm²으로 13.6%, P氣泡모르터는 28.7kg/cm²으로 42.9%의 強度를 보여주고 있어, 材齡 28日일때의 強度가 材齡 7日일때의 強度보다 다같이 1.4% 減少하였으며, P氣泡모르터가 M모르터에 比하여 材齡 7日 에서는 約 2.96倍, 材齡 28日에서는 約 3.16倍로 壓縮 및 引張強度에서와 마찬가지로 長期材齡 일수록 強度의 差異가 크게 나타났다. 한편, 氣泡모르터의 材齡 28日의 휨強度는 材齡 7日의 휨強度에

比하여 普通시멘트 모르터는 約 1.41倍, M氣泡 모르터는 約 1.28倍, P氣泡모르터는 約 1.36倍로 나타났다.

라. 強度間의 相互關係

Table-1,2에 의하여 氣泡모르터의 壓縮과引張, 壓縮과 휨, 引張과 휨 強度와의 相關性을 檢討한 바, 材齡 7日에서 M氣泡모르터는 相關係數 r=0.997, r=0.998, r=0.999, P氣泡모르터는 相關係數 r=0.996, r=0.996, r=0.999로 나타났고, 材齡 28日에서 M氣泡모르터는 相關係數 r=0.998, r=0.999, r=0.999, P氣泡모르터는 相關係數 r=0.998, r=0.997, r=0.999로써 모두 直線型으로 나타났으며 高度의 有意性을 보였다.

한편, 氣泡모르터의 平均強度比를 求하여 보면, Table-3과 같이 德光等[19]의 報告와 比較하면 거의 近接되는 結果를 나타내었다. 또한, 普通시멘트 모르터와 氣泡모르터와의 強度比[8,11]를 比較하여 보면 $\frac{\sigma t}{\sigma b}$ 는 거의 비슷하나 $\frac{\sigma t}{\sigma c}$와 $\frac{\sigma b}{\sigma c}$는 差異를 보이고 있는데, 이러한 現像은 氣泡모르터가 普通시멘트 모르터보다 壓縮強度도 작지만 引張強度와 휨強度는 더욱 작다는 것을 의미하며, 이러한 結果로 強度의 減少率은 各 材齡別, 各 氣泡모르터에서 다같이 휨強度, 引張強度, 壓縮強度順으로 크게 나타났다. 그리고 各 氣泡모르터에서 各 強度의 減少率은 材齡 28日이 材齡 7日보다 各 強度에서 크게 나타나고 있는데, 이러한 것은 普通시멘트 모르터에 比하여 氣泡모르터의 強度 增加率이 작기 때문이라고 생각된다. 또한 材齡 28日에 대한 材齡 7日의 強度比는 普通시멘트 모르터 및 M과 P氣泡모르터에서 다같이 壓縮, 휨 및 引張強度順으로 크게 나타났으며, P氣泡모르터가 M氣泡모르터보다 크게 나타났다.

한편, P氣泡모르터에 대한 M氣泡모르터의 強度比는 長期材齡일수록 크게 나타났으며, 휨, 引張 및 壓縮強度順으로 크게 나타났다. 그리고 氣泡모르터의 壓縮, 引張 및 휨強度 試驗結果를 分散分析한 바, 各 材齡別 各 氣泡모르터에서 配合比의 變化와 氣泡劑 및 氣泡의 添加量이 다같이 高度의 有意性을 보였고, 氣泡劑와 氣泡의 添加量이 配合比의 變化보다 各 強度에 미치는 影響이 더 크게 나타났으며, 配合比와 氣泡劑 및 氣泡 添加量과의 交互作用이 各 強度에 미치는 影響도 高度의 有意性이 認定되었다.

Table-3. Relationship among the compressive, tensile and bending strength of foaming mor tars.

Item	Days	$\frac{\sigma_t}{\sigma_c}$	$\frac{\sigma_b}{\sigma_c}$	$\frac{\sigma_t}{\sigma_b}$
Plain	7	$\frac{1}{6.5}$	$\frac{1}{3.2}$	$\frac{1}{2.0}$
	28	$\frac{1}{7.1}$	$\frac{1}{3.4}$	$\frac{1}{2.1}$
M	7	$\frac{1}{6.9}$	$\frac{1}{3.6}$	$\frac{1}{1.9}$
	28	$\frac{1}{7.5}$	$\frac{1}{3.8}$	$\frac{1}{2.0}$
P	7	$\frac{1}{6.6}$	$\frac{1}{3.4}$	$\frac{1}{1.9}$
	28	$\frac{1}{7.2}$	$\frac{1}{3.5}$	$\frac{1}{2.0}$

2. 空氣量

普通시멘트 모르터와 氣泡모르터와의 空氣量 試驗結果를 配合比와 氣泡劑 및 氣泡의 添加量에 따른 空氣量의 多重回歸方程式을 求하면 Table-4와 같으며, 이것을 圖示하면 Fig.3,4와 같다. 이 結果에서 空氣量은 氣泡劑나 氣泡의 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 增加하였고, 貧配合일수록 크게 나타났는데, 이러한 現像은 混合氣泡注入型인 M氣泡모르터와 事前氣泡注入型인 P

Table-4. Multiple regression equations of air content as a function of mixing ratio and adding.

Item	Epuation	R^2
M	$V=0.650+0.460M+94.467A-47.050A^2+7.683A^3$ $+3.628MA-2.185MA^2+0.397A^3$	0.999**
P	$V=2.501-1.312M+12.420A-5.350A^2+0.963A^3$ $+0.344M^2+0.937MA$	0.999**

Notes : M—Mixing ratio (wt.) $1 \leq M \leq 4$
A—Adding (%) $0 \leq A \leq 3.0$
V—Air content (%)

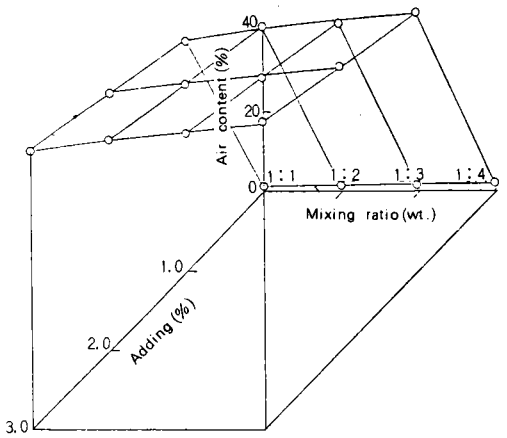

Fig. 3. Relationship among the air content, mixing ratio and adding on mix-foaming type.

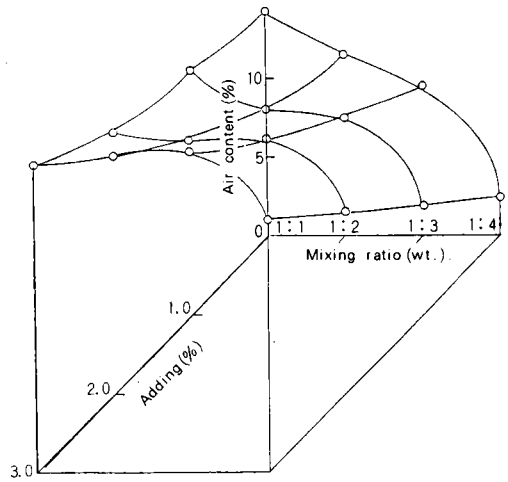

Fig. 4. Relationship among the air content, mixing ratio and adding on pre-foamed type.

氣泡모르터에서 共通的으로 나타났으며, M氣泡모르터가 P氣泡모르터에 比하여 空氣量이 顯著히 크게 나타났다. 한편, 普通시멘트 모르터에 比하여 M氣泡모르터는 26.0~63.8倍, P 氣泡모르터는 5.8~17.7倍의 空氣量을 나타내었다. 또한, 各 配合比의 平均値로 볼때, 普通시멘트 모르터의 空氣量 1.80%에 比하여 M氣泡 모르터는 67.92%로 37.7倍, P氣泡모르터는 17.91%로 9.9倍의 空氣量을 나타내었으며, M氣泡모르터가 P氣泡모르터에 比하여 3倍 以上의 空氣量을 보여주고 있다. 이러한 現像은 氣泡모르터는 氣泡劑 및 氣泡의 添加量이 增加할수록 또는 貧配合일수록 空氣量이 많아진다고 한 硏究報告[4, 7, 12]와 콘크리트 內部에는 本來부터 갇힌 空氣라 불리우는 2% 程度의 空氣量이 含有되어 있고[1, 15], 機械믹서에 의해서 配合體積의 80%까지 空氣로 채울 수있다고 한 ACI[2]의 硏究報告와 近似한 結果를 나타내었다. 한편, 氣泡모르터의 空氣量 試驗結果를 分散分析한 바 各 氣泡모르터의 空氣量은 配合比의 變化와 氣泡劑 및 氣泡의 添加量에서 다같이 高度의 有意性을 보였고, 氣泡劑와 氣泡의 添加量이 配合比의 變化보다 空氣量에 미치는 影響이 더 크게 나타났으며, 配合比와 氣泡劑 및 氣泡 添加量과의 交互作用이 各 氣泡 모르터의 空氣量에 미치는 影響도 高度의 有意性을 보였다.

3. 壓縮強度와 空氣量과의 關係

氣泡모르터의 材齡 28日 壓縮強度와 空氣量과의 相關性을 檢討한 바, Fig. 5.6과 같이 混合氣泡注入型인 M氣泡모르터는 相關係數 r=-0.880, 事前氣泡注入型인 P氣泡모르터는 相關係數 r=-0.788으로써 모두 높은 有意性이 認定되었으며, 이러한 現像은 姜等[13], 成等[16]의 硏究에서와 같이 氣泡모르터는 空氣量이 많을수록 壓縮強度가 작게 나타났다는 報告와 一致하는 結果라 생각된다. 또한, 各 氣泡모르터에서 各 強度의 減少率

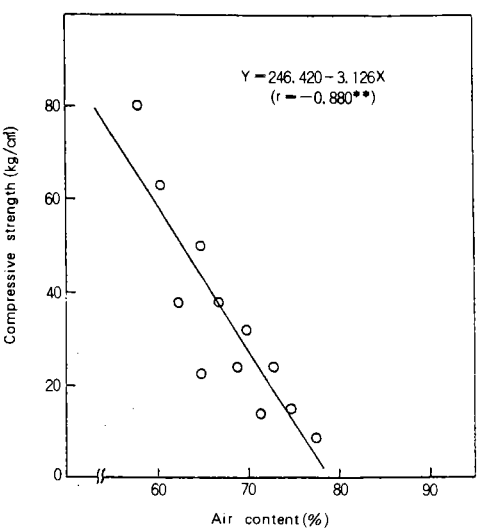

Fig. 5. Correlation between air content and compressive strength of mix-foaming type.

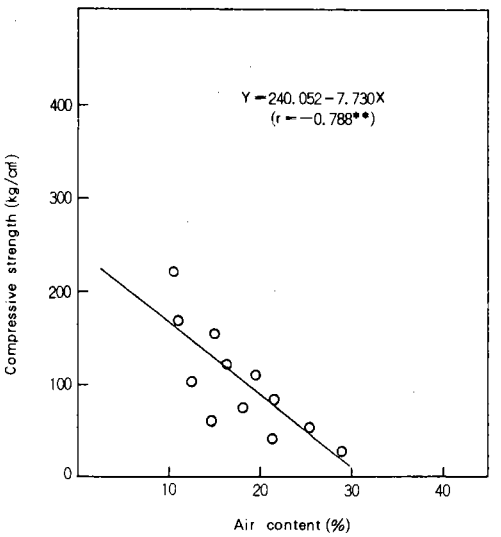

Fig. 6. Correlation between air content and compressive strength of pre-foamed type.

은 空氣量의 增加率보다 작게 나타났는데, 이와 같이 氣泡모르터는 普通시멘트 모르터보다 壓縮, 引張 및 휨強度가 작고 空氣量이 많기 때문에 使用目的에 따라 配合比와 氣泡劑 및 氣泡의 添加量을 調節하여 流動性, 吸音性, 耐振性, 斷熱性 및 輕量性等의 長點을 利用한다면 土木分野에 많은 도움을 주리라 생각된다.

Ⅳ. 結 論

이 論文은 氣泡모르터의 諸強度 및 空氣量 特性에 관한 硏究로써, 이 硏究에 의하여 얻어진 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 各 氣泡모르터의 壓縮, 引張 및 휨 強度는 配合比 1 : 1 일때 가장 크게 나타났고, 이보다 貧配合일수록 또는 氣泡劑 및 氣泡의 添加量이 增加할수록 작게 나타났으며, 各 氣泡모르터의 모든 強度의 減少率은 貧配合일수록 크게 나타났다.

2. 氣泡모르터는 普通시멘트 모르터에 比하여 材齡 28日에서 混合氣泡注入型은 77.0~92.8%, 事前氣泡注入型은 36.7~74.4%의 強度減少를 보였다.

3. 各 氣泡모르터의 空氣量은 配合比 1 : 1 일때 가장 작게 나타났고, 이보다 貧配合일수록 또는 氣泡劑나 氣泡의 添加量이 增加할수록 크게 나타났으며, 空氣量의 增加率은 富配合일수록 또는 氣泡劑나 氣泡의 添加量이 增加할수록 크게 나타났다.

4. 氣泡모르터의 空氣量은 普通시멘트 모르터에 比하여 混合氣泡注入型은 26.0~63.8倍, 事前氣泡注入型은 5.8~17.7倍를 보였다.

5. 各 氣泡모르터에서 強度間의 相關關係 및 壓縮強度와 空氣量과의 相關關係는 高度의 有意性을 보였고, 配合比와 氣泡劑 및 氣泡의 添加量에 따라 氣泡모르터의 各 強度와 空氣量을 推定할 수 있는 多重回歸方程式을 誘導하였으며, 各 方程式은 高度의 有意性이 認定되었다.

參 考 文 獻

1. ACI. 1982. ACI Manual of Concrete Inspection. ACI Manual of Concrete Practice. (part 2) 311 : 1-2.
2. ACI. 1982. Guide for Cast in Place Low Density Concrete. ACI Manual of Concrete Pratice. (part 5) 523 : 1-6.
3. ACI. 1983. Guide for Celluar Concretes avove 50 pcf, and for Aggregate Concrete avove 50 pcf with Compressive Strengths Less than 2500 psi. ACI Manual of Concrete Practice. (part 5) 523 : 1-18.
4. 阿久津兼二, 1965, スレトイン化樹脂を 用いた氣ほう コンクリート混和劑, セメント技術年報, (19) : 391~396.
5. 阿久津兼二, 1966, 超輕量氣ほう コンクリートに關する硏究, セメント, コンクリート誌, (237) : 9~13.
6. 高橋直人, 浜田穗, 1970, 氣泡コンクリートの強度に關する實驗的硏究, 日本建築學會大會梗概集 : 35~66
7. Davis, R. E. 1950. Use of Pozzolans in Concrete, Journal of the ACI. 21(5) : 377-384.
8. 國分正鳳, 1967, 土木材料實驗, 技報堂 : 17-24
9. Hinton, G. E. 1928. U. S. Patent 1657716.
10. Ippach, H and O, Bieligk, 1930. German Patent 602248.
11. 張東一, 具奉根, 1979, 建設材料實驗, 冶庭文化社 : 24~27.
12. 建設部技術指導書, 1980, 콘크리트 混和材料,

建設部, (22) : 1~26.
13. 姜信業, 金成完, 安龍得, 1982, 起泡劑를 混入한 모르터의 物理的 性質에 관한 硏究, 忠南大學校 農業技術硏報告, 9(特集號) : 1~11.
14. 金成完, 姜信業, 趙成燮, 成贊鏞, 1983, 輕量콘크리트의 製造와 그 性質에 관한 硏究. 忠南大學校 農業技術硏究報告, 10(2) : 310~323.
15. 農業振興公社, 1976, 콘크리트 混和材料, 農工試驗所 技術資料, 第11集 : 125~142.
16. 成贊鏞, 黃琅, 1985, 起泡劑가 모르터의 諸性質에 미치는 影響에 관한 實驗的 硏究, 韓國農工學會誌, 27(1) : 46~61.
17. 成贊鏞, 1988, 氣泡모르터의 諸特性에 관한 實驗的 硏究(1), 韓國農工學會誌, 30(1) : 73~80.
18. The Master Builders Company. 1964. Master Builders Product for Improving Concrete, : 35.
19. 德光善治, 石川達夫, 松下博通, 1972, 起泡劑を混入したモルタルの性質, セメント技術年報, (26) : 206~210.
20. 角江登, 1963, 最新土木材料, 理工圖書 : 167.