

起泡劑가 모르터의 諸性質에 미치는 影響에 관한 實驗的 研究

Experimental Studies on Influence of Foaming Agents on the Properties of Mortar

成 瓚 鏞* · 黃 垠**
Sung, Chan Yong · Hwang, Eun

Summary

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

The data was based on the properties of foaming mortars depending upon various mixing ratios and addings to compare those of cement mortar.

The foaming agents which was used at this experiment were pre-foamed type and mix-foaming type which is being used as mortar structures.

The foaming mortar, mixing ratios of cement to fine aggregate were 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3 and 1 : 4.

The addings of foaming agents were 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% and 3.0% of cement weight.

The results obtained were summarized as follows;

1. At the mixing ratio of 1 : 1, the lowest water-cement ratios were showed by foaming mortars, respectively.

But, it gradually was increased in poorer mixing ratio and decreased in more addition of foaming agent.

The water-cement ratios were decreased up to 1.8~22.0% by G, 2.2~24.1% by U and 0.7~53.1% by J foaming mortar than cement mortar.

2. At the mixing ratio of 1 : 1, the highest bulk densities were showed by foaming mortars, respectively.

But, it gradually was decreased in poorer mixing ratio and more addition of foaming agent.

The bulk densities were decreased up to 1.4~20.7% by G, 2.3~23.7% by U and 26.5~56.5% by J foaming mortar than cement mortar.

Therefore, foaming mortar could be utilized to the constructions which need low strengths.

3. At the mixing ratio of 1 : 1, the lowest absorption rates were showed by foaming

* 忠南大學校 農科大學

** 江原大學校 農科大學

mortars, respectively.

But, it gradually was increased in poorer mixing ratio and more addition of foaming agent. Specially, according to the absorption rate when immersed in 72 hours, the absorption rates were showed up to 1.01~1.24 times by G, 1.03~1.58 times by U and 1.10~5.91 times by J foaming mortar than cement mortar. It was significantly higher at the early stage of immersed time than cement mortar.

4. 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. Air contents were contented up to 4.0~17.2 times by G, 5.2~23.2 times by U and 23.8~74.5 times by J foaming mortar than cement mortar.

5. At the mixing ratio of 1 : 1, the lowest decreasing rates of strengths were showed by foaming mortars, respectively. But, it gradually was increased in poorer mixing ratio and more addition of foaming agent. Specially, the strengths of 28 days were decreased 0.4~2.2% than those of 7 days by foaming mortar, respectively.

Also, the correlations between compressive and tensile strength, compressive and bending strength, tensile and bending strength were highly significant as a straight line shaped, respectively.

6. The correlations between absorption rate, air content, compressive strength and bulk density, absorption rate, compressive strength and air content were highly significant, respectively.

The multiple regression equations of water-cement ratio, bulk density, absorption rate, air content, compressive strength, tensile strength and bending strength were computed depending on a function of mixing ratio and addition of foaming agent. It was highly significant, respectively.

7. At the mixing ratio of 1 : 1, the highest strengths were showed by cement mortar and foaming mortars, by chemical reagents.

But, it gradually was decreased in poorer mixing ratio. The decreasing rates of strengths were in order of H_2SO_4 , HNO_3 and HCl , J,U,G foaming mortar and cement mortar.

Specially, at the each mixing ratio, each chemical reagent and 3.0% of foaming agent, J foaming mortar was collapsed obviously.

Therefore, for the structures requiring acid resistance, adding of foaming agent should be lower than 3.0%.

I. 緒 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 큰 缺點이다.

그리하여, 比重이 작은 콘크리트를 만들기 위하여

이미 여러가지 方法이 試圖되어 왔다.^{24,48,60,104,106)}

그 例로써 火山礫, 石灰殼, 高盧 slag 등의 天然輕量骨材와 膨脹粘土, 膨脹 slag, 蛭石, 眞珠岩, Flyash 粉末石灰岩 등의 人工輕量骨材를 使用하였다.^{28,88)}

이러한 輕量骨材는 그 比重이 大體로 0.8~2.0 이하의 것을 말하며,^{6,8,10,82,79)} 天然輕量骨材의 購入이 어려워지면서 人工輕量骨材를 利用하게 되었고,

그後 起泡劑를 使用하게 되었다.

氣泡모르터에 關한 最初의 特許는 1889年 和蘭의 Hofmann이 獲得했고, 1929年 Eriksson이 石灰와 燒成頁岩粉에 알루미눔粉末을 添加하여 만든 起泡劑를 商品化하므로써 氣泡모르터가 使用되게 되었다.^{80,81)}

近年에는 우리나라에서도 氣泡모르터에 關한 研究가 試圖되고 있으며,^{48,52,53)} 外國에서는 Workability增進과 耐久性 氣泡모르터의 開發에도 注力하고 있다.^{64,66,91,98,102)}

氣泡모르터의 特性은 種類에 따라 다르나 大體的으로 輕量性, 吸音性, 耐震性, 斷熱性, 早乾性, 加工性, 流動性, 經濟性 등이 다른 시멘트 모르터보다 優秀한 것으로 알려져 있다.^{11,18,14,23,24)}

이러한 特性때문에 氣泡모르터가 外國에서는 利用이 急速히 擴大되어 터널裏面의 空洞充填, 糞尿淨化槽外側壁面마르기, 斷熱 Block製作, 冷凍庫, 油類탱크周圍의 充填, 各種構造物이 받는 衝擊의 吸

收, 遮音 Block製作 等に 널리 使用되어 왔다. 우리나라에서도 터널裏面의 空洞充填으로 利用되고 있으나, 初歩의인 段階를 벗어나지 못하고 있다.^{62,68)}

따라서, 本 研究에서는 모르터 構造物으로 널리 使用되고 있는 Pre-foamed型和 Mix-foaming型 起泡劑를 使用하여 氣泡모르터의 物理的, 力學的 性質을 시멘트모르터와 實驗的으로 比較檢討하여 그 性質을 究明하므로써 氣泡모르터의 合理的인 製作 利用 뿐만 아니라 氣泡콘크리트의 利用에 寄與코져 한다.

II. 材料 및 方法

1. 使用材料

가. 시멘트

S會社 製品의 普通모오틀랜드 시멘트를 使用하였으며, 그 化學性분과 物理的 性質은 Table-1, 2와 같다.

Table-1. Chemical composition of cement used(%)

Ig-loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	C ₂ A
0.8	21.0	5.7	3.6	62.2	2.7	2.2	0.09

Table-2. Physical properties of cement used

S.G	Fineness Blaine (cm ² /g)	Setting time(min)		Compressive strength(kg/cm ²)		Tensile strength (kg/cm ²)	
		initial	final	7days	28days	7days	28days
3.14	3.170	320	450	238	341	27.0	33.1

나. 標準砂

잔骨材는 標準砂(KS L5100)를 使用하였으며 物

理的 性質 및 粒度는 Table-3, 4와 같다.

Table-3. Physical properties of fine aggregate used

Sample	Specific gravity	Absorption rate	Percentage finer than No.200 sieve	Organic content
Jumunjin sand	2.63	0.07%	0.01%	Nil

Table-4. Gradation of standard sand

Item	Gradation(residue%)			peat	Unit weight (ton/m ³)
	No.20	No.30	No.50		
Sand for tensile strength test	<1.0	95.0<	—	<0.4	1.53-1.60
Sand for compressive and bending strength test	—	<1.0	95.0<		

起泡劑가 모르터의 諸性質에 미치는 影響에 관한 實驗的 研究

다. 起泡劑

起泡劑는 3種類를 使用하였으며, 獨逸產(G), 美

國產(U) 및 日本產(J)으로 表示하였고, 이들 性狀

은 Table-5와 같으며 모두가 液狀으로 되어 있다.

Table-5. Character of foaming agents

Item	Type	Specific gravity	pH	Form of material	Principal ingredient	Produced country
G	Pre-foamed type	1.11	6.85	dark brown liquid	high concentrated chemical of albumin type	Germany
U	Pre-foamed type	1.17	6.55	dark brown liquid	hydrolytic protein	U.S.A.
J	Mix-foaming type	1.06	10.85	light brown liquid	special anion surface active agent	Japan

라. 工業用 試藥

모르터의 耐藥品性 試驗에서 酸溶液을 調劑하는 데 使用한 試藥은 工業用 鹽酸(HCl), 窒酸(HNO₃)

및 黃酸(H₂SO₄)等 3種이며 各 試藥의 品質은 Table-6과 같다.

Table-6. Quality of chemical reagent

Item	HCl	HNO ₃	H ₂ SO ₄
Specific gravity	1.186	1.428	1.837
Chemical purity(%)	36.183	64.624	95.890

2. 供試體 製作

가. 모르터의 配合

이 試驗에 使用된 모르터는 흐름(flow)이 230±5mm에 該當되도록 물-시멘트比를 定하였으며 氣泡와 起泡劑 添加量은 시멘트重量의 0.0%~3.0%로 하였고 稀釋量과 氣泡排出壓力는 G起泡劑는 물重量의 2.5%와 8kg/cm², U起泡劑는 4.0%와 6kg/cm²으로 하였다. 또한, 시멘트와 骨材와의 配合比는 1:0, 1:1, 1:2, 1:3, 1:4로 하였다.

나. 氣泡모르터의 製造

氣泡모르터의 製造過程에서 事前氣泡注入型(Pre-foamed type)은 63±2r.p.m으로 30秒間, 混合氣泡注入型(Mix-foaming type)은 130±2 r.p.m으로 3分間 混合하였다.

다. 供試體의 製作 및 養生

모든 供試體는 KS L 5105, KS L 5104 및 JIS R 5201에 準하여 製作하였으며, 材齡別 配合別로 成型後 養生箱子(23±2°C, 濕度 90%以上)에서 24時間 靜置後 脫型하여 水槽에서 23±2°C로 所定の 材齡까지 養生하였다.

3. 試驗方法

가. 물-시멘트比

물-시멘트比는 모르터의 흐름試驗方法에 準하였으며, 普通모르터의 흐름試驗方法은 KS L 5105의 흐름試驗方法에 準하였고, 氣泡모르터는 普通모르터의 흐름試驗方法에 準하되 다짐봉으로 다지는 대신 플로우데이בל을 고무망치로 20回 震動을 주어 물드에 모르터가 均一하게 차도록 하여 흐름試驗을 하였다.

나. 密度試驗

密度는 모르터의 壓縮強度用 供試體를 製作하여 28日 동안 養生한 後 氣乾狀態에서의 重量(g)과 體積(cm³)을 測定하여 算出하였다.

다. 吸水率 試驗

吸水率은 모르터의 壓縮強度用 供試體를 製作하여 JIS A 1135(構造用 輕量粗骨材의 吸水率 試方法)에 依하여 乾燥器에서 105±5°C로 48時間 乾燥시켰을 때의 重量(g)과 水中에서 23±2°C로 30分, 1, 3, 5, 24, 48, 72時間 水浸시킨 後의 重量(g)을 測定하여 求하였다.

라. 空氣量 試驗

空氣量 試驗은 消泡量을 求하여 比較하였다. 즉,

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 求하였다.

다. 强度試驗

强度試驗에서 壓縮强度는 KS L 5105, 引張强度는 KS L 5104, 韌强度는 JIS R 5201의 試驗方法에 準하여 材齡 7日, 28日에서 强度를 測定하였다.

바. 耐藥品性 試驗

耐藥品性 試驗에서는 壓縮强度試驗用 供試體를 製作 使用하였으며 藥液은 모두 5% 濃度를 擇하였고 材齡 28日의 供試體를 溶液에 24時間 浸漬한 後 强度測定을 하여 求하였다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 물-시멘트比

普通시멘트 모르타와 氣泡모르타와의 물-시멘트比를 比較하여 圖示하면, Fig.1, 2, 3과 같다.

이 結果에서 물-시멘트比는 起泡劑 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 減少하였고, 이러한 現象은 G, U 및 J 氣泡모르타에서 共通의으로 나타났

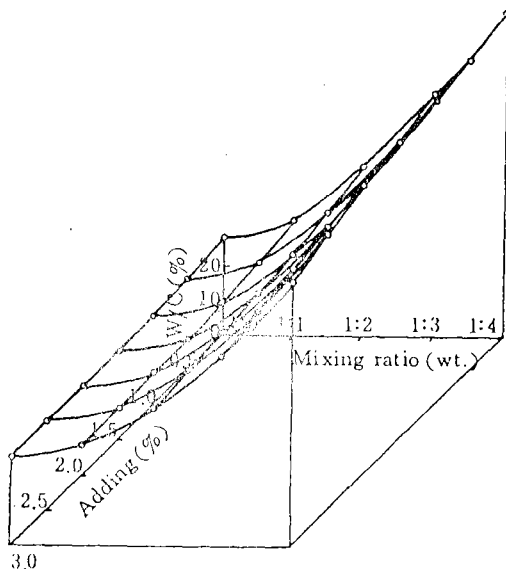


Fig. 1. Relationship among the w/c, mixing ratio and adding on foaming mortars (G)

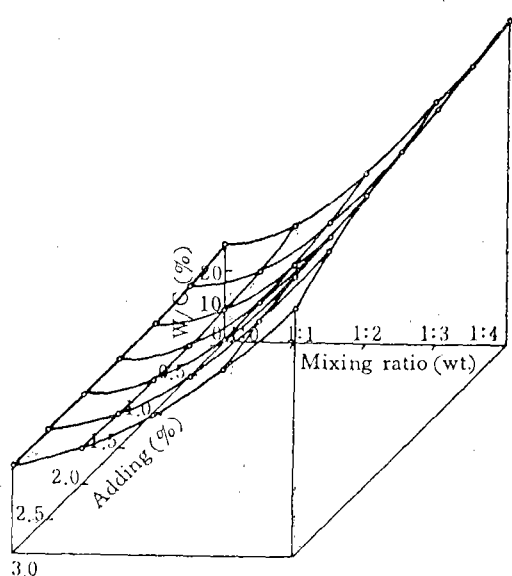


Fig. 2. Relationship among the w/c, mixing ratio and adding on foaming mortars (U)

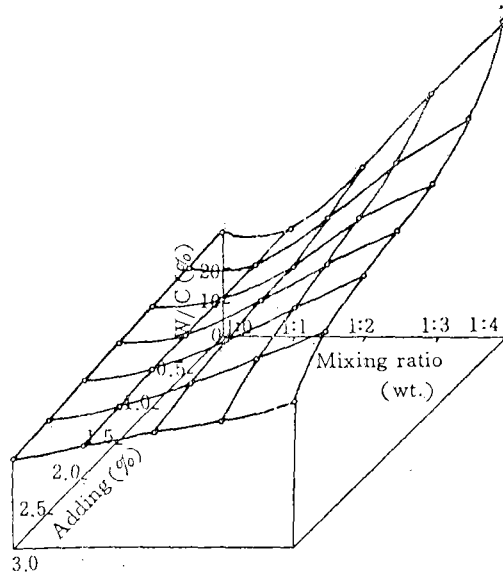


Fig. 3. Relationship among the w/c, mixing ratio and adding on foaming mortars (J)

으며 J 氣泡모르타가 G와 U 氣泡모르타에 比하여 물-시멘트比가 적게 나타났다. 이는 貧配合일수록 물-시멘트比가 커진다고 한 姜等⁴⁸⁾, 高等⁴⁹⁾의 研究와 氣泡모르타는 普通모르타의 물-시멘트比보다

직계 나타났다는 報告⁶⁾와 一致되는 結果라 하겠다.

한편, 普通시멘트 모르터의 물-시멘트比를 100%로 볼때 G氣泡모르터는 1.8~22.0%, U氣泡모르터는 2.2~24.1% 및 J氣泡모르터는 0.7~53.1%의 물-시멘트比가 減少되었으며, 또한, 各 配合比의 平均値로 볼 때 普通시멘트 모르터의 물-시멘트比 54.4%에 比하여 G氣泡모르터의 물-시멘트比는 48.2%로 11.5%, U氣泡모르터는 47.7%로 12.4% 및 J氣泡모르터는 41.2%로 24.4%의 물-시멘트比가 減少됨을 알 수 있었다.

특히, J氣泡모르터는 G와 U氣泡모르터에 比하여 2倍 가까이 물-시멘트比가 減少되었으며, 그 까닭은 混合氣泡注入型인 J起泡劑가 事前氣泡注入型인 G와 U起泡劑보다 물-시멘트比 減少效果에 더 큰 影響을 미치는 것으로 생각된다.

이와같이 물-시멘트比를 줄일 수 있는 效果는 氣泡와 氣泡自體의 水分 및 氣泡의 界面活性作用에 起因된 것이라 생각된다. 한편, 氣泡모르터의 물-시멘트比의 試驗結果를 分散分析한 바 물-시멘트比는 各 氣泡모르터에서 配合比의 變化와 起泡劑 添加量에서 다같이 1%水準의 有意差를 認定할 수 있었으며, 配合比가 起泡劑添加量보다 물-시멘트比에 더 큰 影響을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 配合比와 起泡劑 添加量과의 交互作用이 물-시멘트比에 미치는 影響도 高度의 有意性을 나타내었다.

2. 密 度

普通시멘트 모르터와 氣泡모르터와의 密度를 比較하여 圖示하면 Fig.4, 5, 6과 같다.

이 結果에서 密度는 起泡劑 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 減少하였고, 이러한 現象은 G, U 및 J氣泡모르터에서 共通의으로 나타났으며, J氣泡모르터가 G와 U氣泡모르터에 比하여 密度가 작게 나타났다.

한편, 普通시멘트 모르터의 密度를 100%로 假定할 때 G氣泡모르터는 1.4~20.7%, U氣泡모르터는 2.3~23.7%, J氣泡모르터는 36.5~56.5%의 自重減少를 期할 수 있으며, 또한, 各 配合比의 平均値로 볼 때 普通시멘트 모르터의 密度 1.876g/cm³에 比하여 G氣泡모르터의 密度는 1.666g/cm³로 11.3%, U氣泡모르터는 1.598g/cm³로 14.8%, J氣泡모르터는 0.995g/cm³로 47.0%의 自重이 輕減되었고, 특히, J氣泡모르터는 G와 U氣泡모르터에

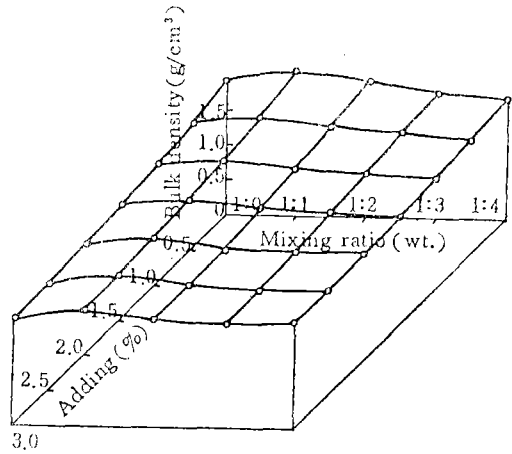


Fig. 4. Relationship among the bulk density, mixing ratio and adding on foaming mortars (G)

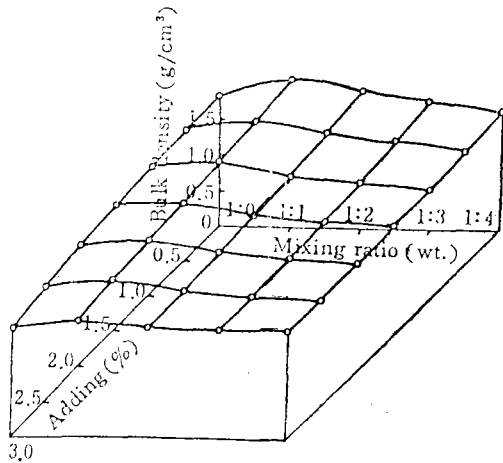


Fig. 5. Relationship among the bulk density, mixing ratio and adding on foaming mortars (U)

比하여 3倍 以上の 自重이 輕減되었으며, 그 까닭은 물-시멘트比에서와 같이 起泡劑의 特性差異에 依한 것으로 생각된다. 또한, 密度의 減少率은 G, U 및 J氣泡모르터에서 配合比 1:2, 起泡劑 添加量 3.0%일때 20.7%, 23.7% 및 56.5%로 가장 높게 나타났고, 이보다 富配合이나 貧配合일수록 起泡劑 添加量이 적을수록 낮게 나타났다. 이는 氣泡모르터는 普通시멘트 모르터보다 높은 氣空率로 말

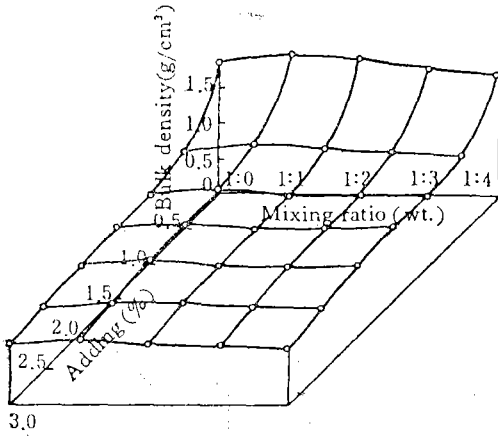


Fig. 6. Relationship among the bulk density, mixing ratio and adding on foaming mortars (J)

미암아 密度가 작게 나타났고 起泡劑 添加量에 比例하여 輕減되었다는 金等⁵³⁾, 小野等⁵⁴⁾의 研究와 近接되는 結果라 생각된다.

한편, 氣泡모르터의 密度試驗結果를 分散分析한 바 密度는 配合比의 變化와 起泡劑 添加量에서 大같이 高度의 有意성을 나타내었으며, 起泡劑 添加量이 配合比보다 密度에 더 큰 影響을 미치고 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 配合比와 起泡劑 添加量과의 交互作用이 密度에 미치는 影響도 高度의 有意성을 認定할 수 있었다.

3. 吸水率

配合比와 起泡劑 添加量에 따라 製作한 供試體를 72時間 水浸시켰을 때의 吸水率을 圖示하면 Fig.7, 8, 9와 같다.

이 結果에서 吸水率은 起泡劑 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 增加하였고, 이러한 現象은 G, U 및 J氣泡모르터에서 共通의으로 나타났으며, 특히, J氣泡모르터가 G와 U氣泡모르터에 比하여 吸水率이 높게 나타났다.

이는 起泡劑 添加量이 增加되고 貧配合일수록 水浸初期에 吸水率이 높게 나타났다는 報告^{48), 52)}와 一致하는 結果라 하겠다.

한편, 普通시멘트 모르터의 吸水率을 1.00으로 假定할 때 G, U 및 J氣泡모르터는 大같이 配合比 1:2, 起泡劑 添加量 3.0%에서 1.24배, 1.58배

및 5.91倍로 가장 높은 增加率을 보이고 있으며, 이보다 富配合이거나 貧配合일수록 낮게 나타나고 있다. 또한, 各 配合比의 平均値로 볼 때 普通시멘트 모르터의 吸水率 11.9%에 比하여 G氣泡모르터의 吸水率은 13.1%로 1.1배, U氣泡모르터는 14.7%로 1.2배, J氣泡모르터는 43.6%로 3.7배의 吸水率을 나타내고 있으며, J氣泡모르터는 G와 U氣泡모르터에 比하여 3배에 가까운 높은 吸水率을 나타내었다.

한편, 氣泡모르터의 吸水率 試驗結果를 分散分析한 바, 吸水率은 配合比와 起泡劑 添加量의 變化에 따라 大같이 高度의 有意성을 보였으며, G와 U氣泡모르터는 配合比가 起泡劑 添加量보다 吸水率에 影響을 더 크게 미치는 것으로 나타났으나 J氣

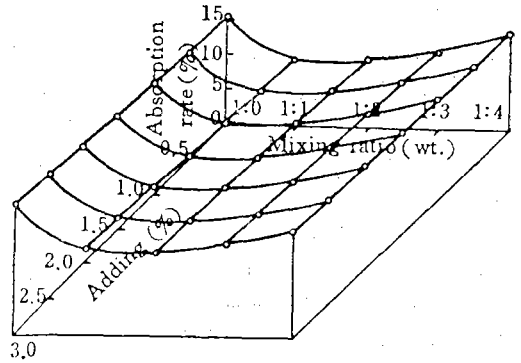


Fig. 7. Relationship among the absorption rate, mixing ratio and adding on foaming mortars (G)

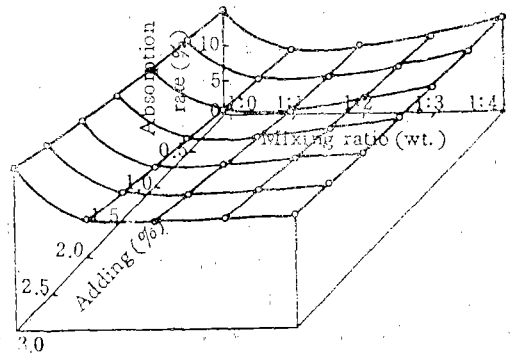


Fig. 8. Relationship among the absorption rate, mixing ratio and adding on foaming mortars (U)

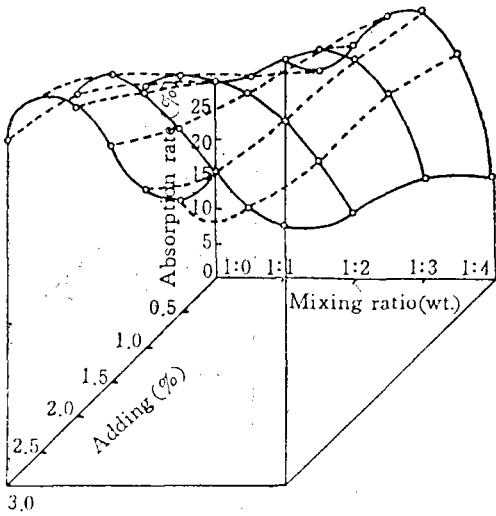


Fig. 9. Relationship among the absorption rate, mixing ratio and adding on foaming mortars (J)

泡모르타는 起泡劑 添加量이 配合比보다 吸水率에 미치는 影響이 더 큰 것으로 나타났다.

또한, 配合比와 起泡劑 添加量과의 交互作用이 吸水率에 미치는 影響도 高度의 有意性을 보였다.

4. 空氣量

普通시멘트 모르타와 氣泡모르타와의 空氣量을 比較하여 圖示하면 Fig.10, 11, 12와 같다.

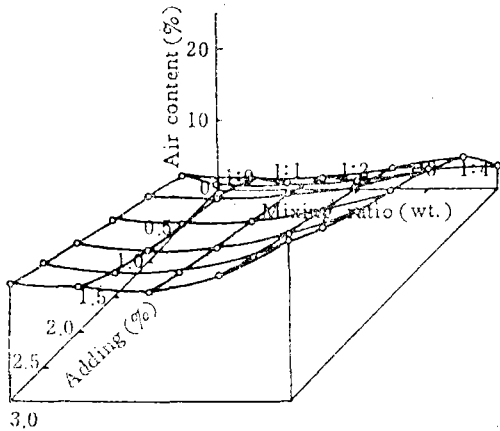


Fig. 10. Relationship among the air content, mixing ratio and adding on foaming mortars (G)

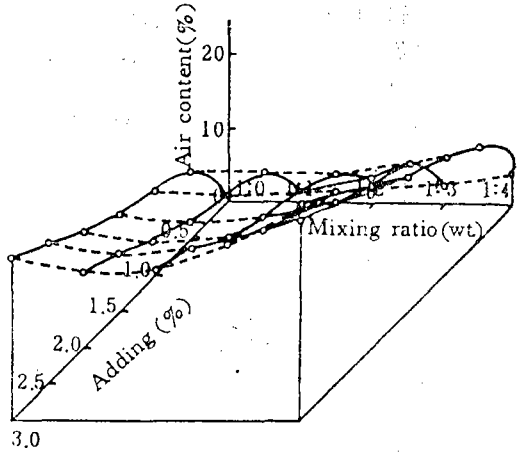


Fig. 11. Relationship among the air content, mixing ratio and adding on foaming mortars (U)

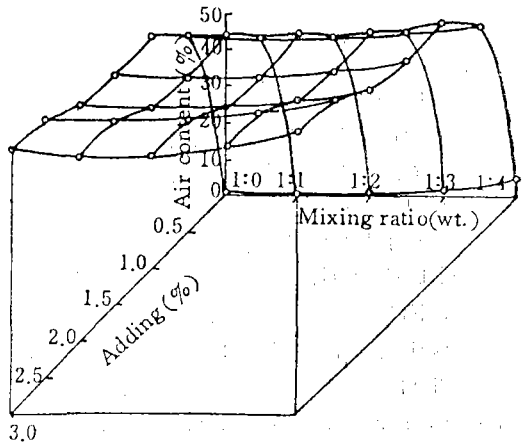


Fig. 12. Relationship among the air content, mixing ratio and adding on foaming mortars (J)

이 結果에서 空氣量은 起泡劑 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 增加하였고, 이러한 現象은 G, U 및 J 氣泡모르타에서 共通적으로 나타났으며, 특히, J 氣泡모르타가 G와 U 氣泡모르타에 比較하여 空氣量이 크게 나타났다.

한편, 普通시멘트 모르타의 空氣量을 1.00으로 假定할 때 G 氣泡모르타는 4.0~17.2배, U 氣泡모르타는 5.2~23.2배, J 氣泡모르타는 23.8~74.5배의 空氣量을 나타내고 있으며, 各 配合比의 平均値로 볼 때 普通시멘트 모르타의 空氣量 1.64%에 比較하여 G 氣泡모르타의 空氣量은 12.8%로 7.8배, U 氣

泡모르터는 16.4%로 10배, J氣泡모르터는 66.0%로 40.2배의 空氣量을 나타내었으며, J氣泡모르터가 G와 U氣泡모르터에 比하여 4倍 以上の 空氣量을 보여주고 있다. 이것은 氣泡모르터는 起泡劑 添加量이 增加할 수록 또는 貧配合일 수록 空氣量이 많아진다고 한 報告와 近接되는 結果라 하겠다. (47, 48, 105)

한편, 氣泡모르터의 空氣量 試驗結果를 分散分析한 바 空氣量은 配合比와 起泡劑 添加量의 變化에 따라 多같이 高度의 有意性을 나타내고 있으며, 起泡劑 添加量이 配合比보다 空氣量에 더 큰 影響을 미치는 것으로 나타났다.

또한, 配合比와 起泡劑 添加量과의 交互作用이 空氣量에 미치는 影響도 高度의 有意性을 보였다.

5. 諸強度

가. 壓縮強度

材齡 28日의 壓縮強度를 圖示하면 Fig.13, 14, 15와 같다.

또한, 壓縮強度는 起泡劑 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 減少하였고 起泡劑 添加量이 같을 때는 貧配合일수록 減少하였다. 이러한 現象은 G, U 및 J氣泡모르터에서 共通의으로 나타났으며, J氣泡모르터가 G와 U氣泡모르터에 比하여 各 強度가 작게 나타났다.

한편, 材齡別 強度의 減少率은 G, U 및 J氣泡모르터에서 多같이 配合比 1:1일 때 가장 낮게 나타났으며 이보다 貧配合일수록 또는 氣泡劑 添加量이 增加할수록 높게 나타났다. 이것은 起泡劑의 混入量이 많고 貧配合일수록 強度는 작게 나타났다는 報告(52, 105)와 一致하는 結果라 생각된다.

한편, 普通시멘트 모르터의 強度를 100으로 假定할 때 材齡 7日에서 G氣泡모르터는 94.5~44.3, U氣泡모르터는 87.5~30.1, J氣泡모르터는 41.1~10.0의 強度를 나타내었으며, 材齡 28日일 때 G氣泡모르터는 94.1~41.7, U氣泡모르터는 86.7~28.2, J氣泡모르터는 40.1~8.1을 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 0.4~1.9% 높게 나타났다. 또한, 各 配合의 平均値로 볼 때 材齡 7日에서 普通시멘트 모르터의 壓縮強度 204.4kg/cm²에 比하여 G氣泡모르터의 壓縮強度는 136.6kg/cm²으로 67.8%, U氣泡모르터는 108.6kg/cm²으로 53.1%, J氣泡모르터는 43.7kg/cm²으로 21.4%의 強度를 나타내고 있

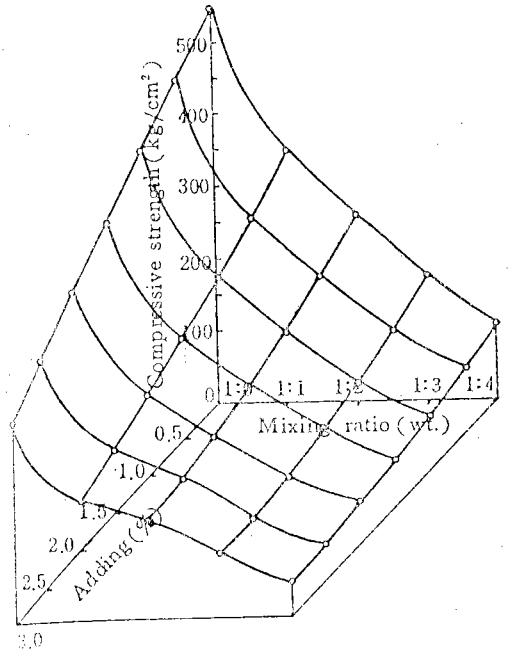


Fig. 13. Relationship among the compressive strength, mixing ratio and adding on foaming mortars (G)

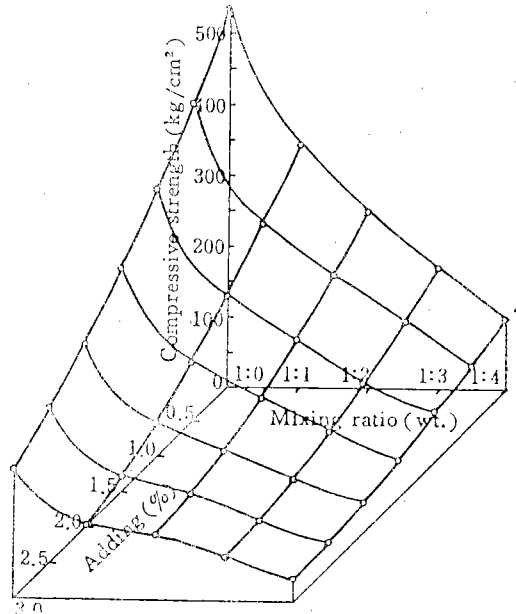


Fig. 14. Relationship among the compressive strength, mixing ratio and adding on foaming mortars (U)

이 強度에 미치는 影響도 高度의 有意성을 보였다.

나. 引張強度

材齡 28日의 引張強度結果를 圖示하면 Fig.16, 17, 18과 같다. 또한, 引張強度는 起泡劑 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 減少하였고, 起泡劑 添加量이 같을 때는 貧配合일수록 減少하였다. 이러한 現象은 G, U 및 J 氣泡모르터에서 共通的으로 나타났으며, J 氣泡모르터가 G와 U 氣泡모르터에 比하여 各 強度가 작게 나타났다.

한편, 材齡別 強度의 減少率은 G, U 및 J 氣泡모르터에서 다같이 配合比 1:1일때 가장 낮게 나타났으며 이보다 貧配合일수록 또는 氣泡劑 添加量이 增加할수록 높게 나타났다. 이러한 結果는 德光等¹⁰⁵⁾, 阿久津¹⁰⁾의 研究와 一致하는 結果라 생각된다.

그리고 普通시멘트 모르터의 強度를 100으로 假定할 때, 材齡 7日에서 G 氣泡모르터는 93.8~42.4, U 氣泡모르터는 85.2~30.0, J 氣泡모르터는 39.4~8.8의 強度를 나타내었으며, 材齡 28日일 때 G 氣泡모르터는 93.3~41.2, U 氣泡모르터는 84.2~27.8, J 氣泡모르터는 38.5~7.2를 보여주고 있어

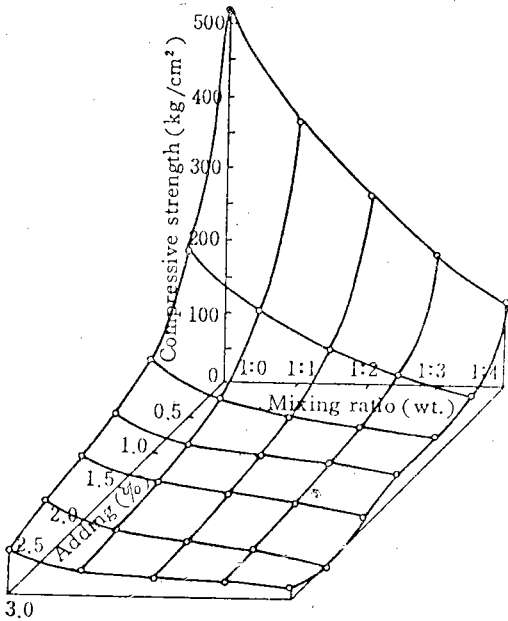


Fig. 15. Relationship among the compressive strength, mixing ratio and adding on foaming mortars (J)

으며, 材齡 28日에서 普通시멘트 모르터의 壓縮強度 289.1kg/cm²에 比하여 G 氣泡모르터의 壓縮強度는 192.1kg/cm²으로 66.4%, U 氣泡모르터는 146.0kg/cm²으로 50.5%, J 氣泡모르터는 57.1kg/cm²으로 19.7%의 強度를 보여주고 있어 材齡 28日일 때의 壓縮強度가 強度의 減少率이 1.4~2.6% 높게 나타났으며, G와 U 氣泡모르터가 J 氣泡모르터보다 2.5倍 以上の 強度를 보여주고 있다. 또한, 氣泡모르터의 材齡 28日 壓縮強度는 材齡 7日의 壓縮強度에 比하여 G 氣泡모르터는 1.39倍, U 氣泡모르터는 1.34倍, J 氣泡모르터는 1.31倍로 德光等¹⁰⁵⁾의 1.45倍와 姜等⁴⁹⁾의 1.72倍보다는 조금 작게 나타나고 있으나, 이것은 起泡劑의 種類와 氣泡모르터의 製作方法 差異에 依한 것으로 생각된다. 그리고 氣泡모르터의 壓縮強度結果를 分散分析한 바 強度는 各 材齡別 各 氣泡모르터에서 配合比의 變化와 起泡劑 添加量에서 多같이 高度의 有意성을 나타내고 있으며, G와 U 氣泡모르터는 配合比의 變化가 起泡劑 添加量보다 強度에 미치는 影響이 더 크게 나타났으나, J 氣泡모르터는 起泡劑 添加量이 配合比의 變化보다 強度에 미치는 影響이 더 크게 나타났다. 또한, 配合比와 起泡劑 添加量과의 交互作用

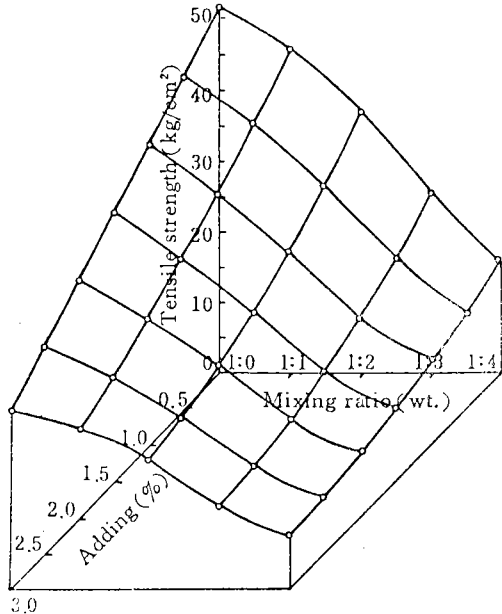


Fig. 16. Relationship among the tensile strength, mixing ratio and adding on foaming mortars (G)

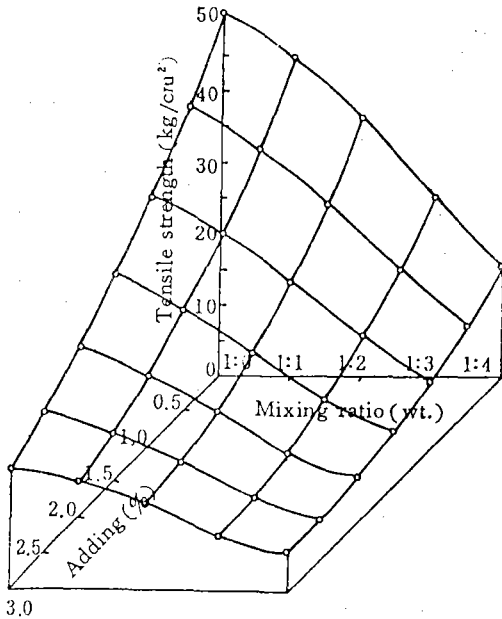


Fig. 17. Relationship among the tensile strength, mixing ratio and adding on foaming mortars (U)

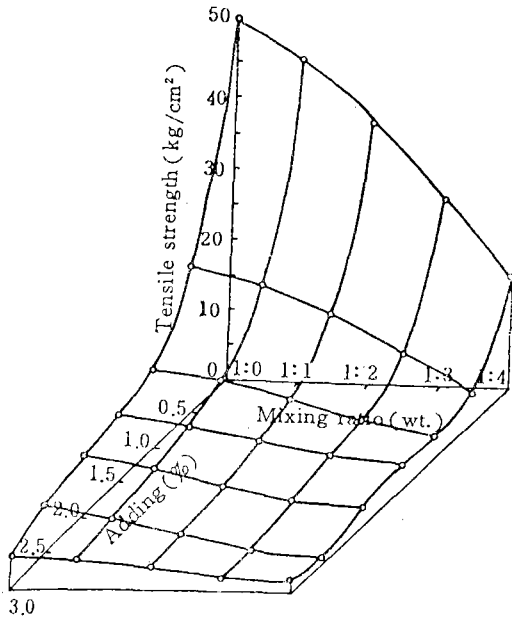


Fig. 18. Relationship among the tensile strength, mixing ratio and adding on foaming mortars (J)

材齡 28日일때의 強度가 材齡 7日일 때의 強度보다 強度의 減少率이 0.5~2.2%程度 크게 나타났다.

또한, 各 配合의 平均値로 볼 때 材齡 7日에서 普通시멘트 모르타의 強度 27.1kg/cm²에 比하여 G 氣泡모르타는 17.6kg/cm²으로 65.2%, U 氣泡모르타는 13.9kg/cm²으로 51.2%, J 氣泡모르타는 5.4kg/cm²으로 20.0%의 強度를 나타내고 있고, 材齡 28日에서도 普通시멘트 모르타의 強度 35.7kg/cm²에 比하여 G 氣泡모르타의 強度는 23.6kg/cm²으로 66.3%, U 氣泡모르타는 17.7kg/cm²으로 49.7%, J 氣泡모르타는 6.6kg/cm²으로 18.6%를 보여주고 있어 材齡 28日일때의 強度가 材齡 7日일때의 強度보다 G 氣泡모르타에서는 1.1%程度 增加하였고, U 및 J 氣泡모르타에서는 1.4~1.5%程度 減少하였으며, G와 U 氣泡모르타가 J 氣泡모르타보다 2.5倍 以上の 強度를 보여주고 있다.

또한, 氣泡모르타의 材齡 28日의 引張強度는 材齡 7日의 引張強度에 比하여 G 氣泡모르타는 1.34倍, U 氣泡모르타는 1.28倍, J 氣泡모르타는 1.23倍로 나타났다. 그리고 氣泡모르타의 引張強度 試驗結果를 分散分析한 바 引張強度는 壓縮強度에서와 같이 各 材齡別 各 氣泡모르타別로 配合比의 變化와 起泡劑 添加量에서 各 高度의 有意性을 나타내고 있으며, 특히, G와 U 氣泡모르타는 配合比가 氣泡劑 添加量보다 強度에 크게 影響을 미치고 있으나 J 氣泡모르타는 起泡劑 添加量이 配合比보다 強度에 미치는 影響이 더 크게 나타났다. 또한, 配合比와 起泡劑 添加量과의 交互作用이 引張強度에 미치는 影響도 高度의 有意性을 보이고 있었다.

다. 靱強度

材齡 28日의 靱強度結果를 圖示하면 Fig.19, 20, 21과 같다. 또한, 靱強度는 起泡劑 添加量이 增加함에 따라 各 配合比에서 減少하였고 起泡劑 添加量이 같을 때는 貧配合일수록 減少하였다. 이러한 現象은 G, U 및 J 氣泡모르타에서 共通의으로 나타났으며, J 氣泡모르타가 G와 U 氣泡모르타에 比하여 各 靱度가 작게 나타났다.

한편, 材齡別 強度의 減少率은 G, U 및 J 氣泡모르타에서 各 配合比 1:1일 때 가장 낮게 나타났으며, 이보다 貧配合일수록 또는 起泡劑 添加量이 增加할수록 높게 나타나고 있다.

이와같은 結果는 氣泡모르타에 關한 研究^{18, 62)}와 一致하는 것이라 생각된다. 그리고 普通시멘트 모

르터의 強度를 100으로 假定할 때, 材齡 7日에서 G 氣泡모르터는 92.3~40.6, U 氣泡모르터는 83.4~25.6, J 氣泡모르터는 37.4~7.2를 보이고 있어 材齡 28日일때의 強度가 材齡 7日일때의 強度보다 強度의 減少率이 0.4~2.0%程度 크게 나타나고 있다.

또한, 各配合의 平均値로 볼 때 材齡 7日에서 普通시멘트 모르터의 淸強度 60kg/cm²에 比하여 G 氣泡모르터의 淸強度는 39.0kg/cm²으로 65.1%, U 氣泡모르터는 30.0kg/cm²으로 50.6%, J 氣泡모르터는 11.7kg/cm²으로 19.5%의 淸強度를 나타내고 있고, 材齡 28日에서도 普通시멘트 모르터의 淸強度 82.1kg/cm²에 比하여 G 氣泡모르터의 淸強度는 52.3kg/cm²으로 63.7%, U 氣泡모르터는 40.4kg/cm²으로 49.2%, J 氣泡모르터는 14.8kg/cm²으로 18.1%를 보여주고 있어 材齡 28日의 淸強度가 材齡 7日의 淸強度보다 1.4% 減少하였으며, G와 U 氣泡모르터가 J 氣泡모르터보다 2.5倍 以上の 強度를 보여주고 있다.

한편, 氣泡모르터의 材齡 28日의 淸強度는 材齡 7日의 淸強度에 比하여 G 氣泡모르터는 1.34倍, U 氣泡모르터는 1.33倍, J 氣泡모르터는 1.27倍로 나타났다. 그리고 氣泡모르터의 淸強度 試驗結果를 分散分析한 바 淸強度는 壓縮 및 引張強度에서와 같이 各材齡別 各 氣泡모르터別에서 配合比의 變化와 起泡劑 添加量에서 다같이 高度의 有意性을 나타내고 있으며 G와 U 氣泡모르터는 配合比가 起泡劑 添加量보다 淸強度에 미치는 影響이 더 크게 나타났으나

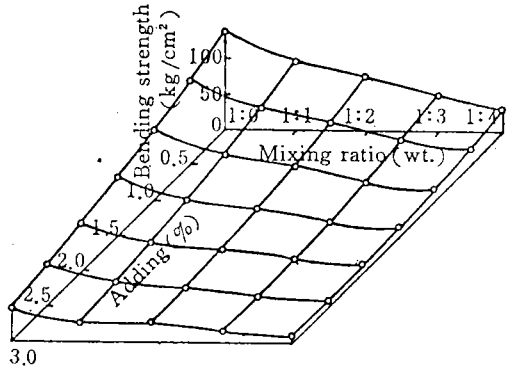


Fig. 20. Relationship among the bending strength, mixing ratio and adding on foaming mortars.(U)

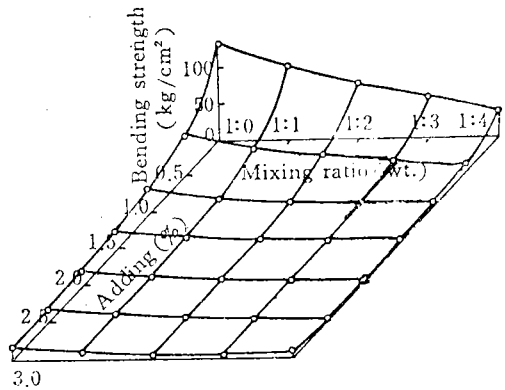


Fig. 21. Relationship among the bending strength, mixing ratio and adding on foaming mortars.(J)

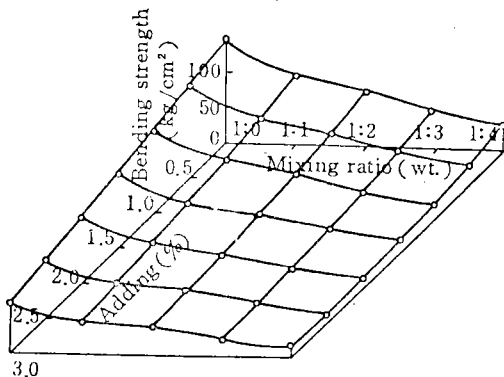


Fig. 19. Relationship among the bending strength, mixing ratio and adding on foaming mortars.(G)

J 氣泡모르터는 起泡劑 添加量이 配合比보다 淸強度에 미치는 影響이 더 크게 나타났다. 또한, 配合比와 起泡劑 添加量과의 交互作用이 強度에 미치는 影響도 高度의 有意性을 보였다.

라. 強度間의 相互關係

氣泡모르터의 材齡 28日의 壓縮과 引張, 壓縮과 淸, 引張과 淸強度와의 相關性을 檢討한 바 G 氣泡모르터는 相關係數 $r=0.948$, $r=0.997$, $r=0.966$ U 氣泡모르터는 $r=0.948$, $r=0.996$, $r=0.970$ J 氣泡모르터는 $r=0.966$, $r=0.996$, $r=0.982$ 로써 모두 高度의 有意性을 나타내고 있었다.

한편, 氣泡모르터의 平均強度比를 求하여 본 바

德光等¹⁰⁵⁾의 $\sigma_b/\sigma_c = \frac{1}{2.5} \sim \frac{1}{4.0}$ 과 比較하면 거의 近接되는 結果를 나타냈으나, 姜等⁴⁸⁾의 $\sigma_t/\sigma_c = \frac{1}{10} \sim \frac{1}{17}$ 과는 상당한 差異를 보였는데 이러한 現象은 起泡劑의 種類와 氣泡모르터의 製作方法이 다르기 때문이라고 생각된다. 또한, 普通시멘트 모르터와 氣泡모르터와의 強度比^{27),46)}를 比較하여 보면 $\frac{\sigma_b}{\sigma_c}$ 는 거의 비슷하나, $\frac{\sigma_t}{\sigma_c}$, $\frac{\sigma_t}{\sigma_b}$ 는 상당한 差異를 보이고 있어, 이 現象은 氣泡모르터가 普通시멘트 모르터보다 壓縮強度도 작지만 引張強度와 휨強度가 더욱 작다는 것을 의미한다. 그리고 各 氣泡모르터에서의 強度比는 材齡 7日이 28日보다 各 強度에서 크게 나타나고 있으며 이러한 結果는 普通시멘트 모르터에 比較하여 氣泡모르터의 強度 增加率이 작기 때문이라고 생각된다.

6. W/C와 密度의 關係

물-시멘트比와 密度와의 相關性を 檢討한 바 G 氣泡모르터는 相關係數 $r = -0.491$, U 氣泡모르터는 $r = -0.408$ 로서 有意성이 認定되었으나 J 氣泡모르터는 $r = 0.248$ 로 有意성이 認定되지 않았다. 이러한 原因은 單一配合比에서는 물-시멘트比와 密度와의 關係가 거의 直線狀으로 나타났으나 配合比別 全體적으로는 相關성이 없기 때문이라 생각된다. 이것은 氣泡모르터의 물-시멘트比는 普通모르터의 물-시멘트比보다 적게 나타났고 起泡劑 添加量이 增加할수록 물-시멘트比가 적어지며, 물-시멘트比가 클수록 密度는 크게 나타났다는 金等⁵²⁾의 研究와 같은 結果라 하겠다.

7. 吸水率과 W/C 및 密度의 關係

吸水率과 물-시멘트比와의 相關性を 檢討한 바 G 氣泡모르터는 相關係數 $r = 0.026$, U 氣泡모르터는 $r = -0.203$, J 氣泡모르터는 $r = 0.163$ 으로서 모두 有意성을 認定할 수 없었다. 이러한 結果는 물-시멘트比는 各 氣泡모르터에서 貧配合일수록 順次的으로 크게 되고 起泡劑 添加量이 增加할수록 적어지며 吸水率은 모든 氣泡모르터에서 配合比 1:1 일때 가장 작게 나타났고 이보다 貧配合일수록 起泡劑 添加量이 增加할수록 吸水率이 增加하였기 때문이며, 이는 姜等⁴⁸⁾, 金等⁵²⁾의 研究報告와 近接되는 結果라 생각된다.

吸水率과 密度의 關係에 對해서도 相關性を 檢討한 바, G 氣泡모르터는 相關係數 $r = -0.441$, U 氣

泡모르터는 $r = -0.596$, J 氣泡모르터는 $r = -0.762$ 로서 모두 그 有意성이 認定되었다. 이것은 德光等¹⁰⁵⁾의 研究에서와 같이 吸水率과 密度와는 相關關係가 있으며, 絶乾比重이 클수록 吸水率이 작은 傾向을 나타냈다는 報告와 같은 結果라 하겠다.

8. 空氣量과 W/C, 密度 및 吸水率의 關係

空氣量과 물-시멘트比의 相關性を 檢討한 바 G 氣泡모르터는 相關係數 $r = 0.343$, U 氣泡모르터는 $r = 0.327$, J 氣泡모르터는 $r = -0.072$ 로서 모두 그 有意성을 認定할 수 없었다. 이러한 結果는 물-시멘트比는 貧配合일수록 크게 되고, 起泡劑 添加量이 增加할수록 작아지는 반면, 空氣量은 配合比 1:1에서 가장 작고 이보다 貧配合일수록 起泡劑 添加量이 增加할수록 크게 되기 때문이며, 이는 阿久津¹⁸⁾, 建設部 技術指導書⁴⁷⁾, 姜等⁶⁸⁾의 研究와 비슷한 結果라 하겠다.

空氣量과 密度와의 關係에 對해서 相關性を 檢討한 바, Fig. 22, 23, 24와 같이 G 氣泡모르터는 相關係數 $r = -0.860$, U 氣泡모르터는 $r = -0.844$, J 氣泡모르터는 $r = -0.935$ 로서 모두 高度의 有意성이 認定되었다. 따라서, 氣泡모르터는 密度와 空氣量 사이에 서로 相關성이 있으며 密度가 클수록 空氣量은 작아진다는 報告⁴⁸⁾와 一致되는 結果라 하겠다.

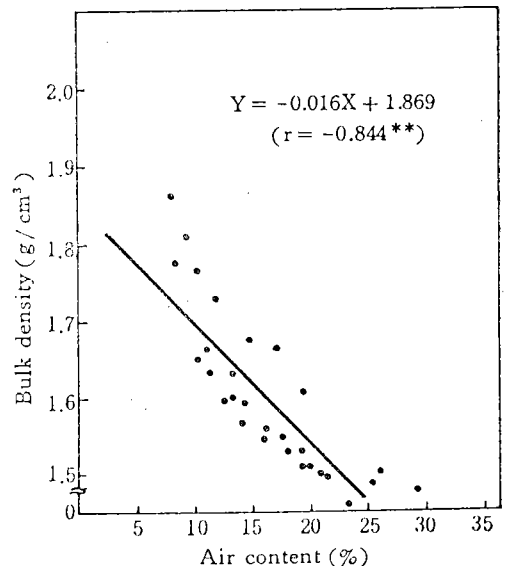


Fig. 22. Correlation between air content and bulk density of foaming mortars (G)

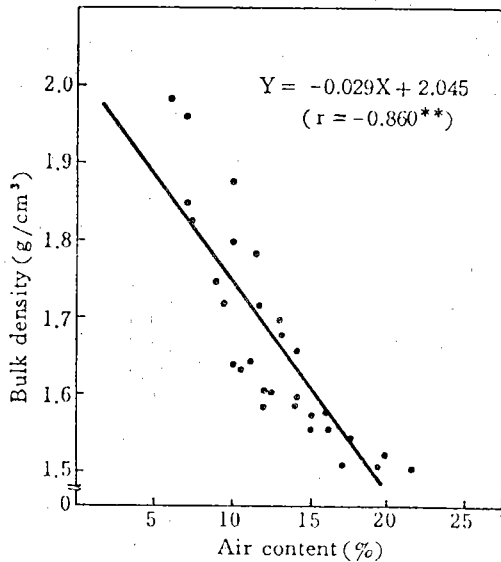


Fig. 23. Correlation between air content and bulk density of foaming mortars (U)

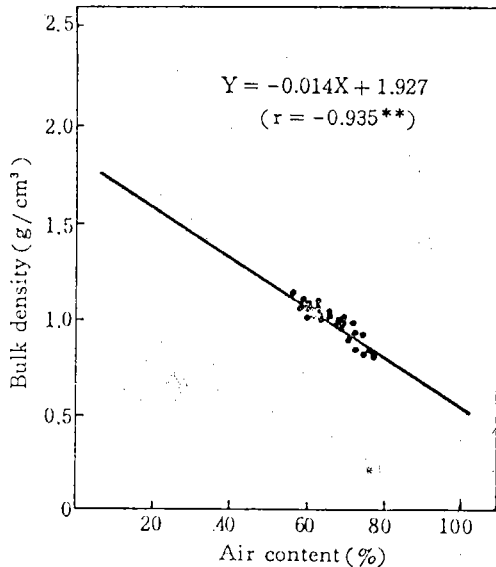


Fig. 24. Correlation between air content and bulk density of foaming mortars (J)

空氣量과 吸水率과의 關係에 對해서도 相關性을 檢討한 바 G氣泡모르터는 相關係數 $r=0.462$, U氣泡모르터는 $r=0.534$, J氣泡모르터는 $r=0.886$ 으로서 모두 有意性이 認定되었으며, 氣泡모르터는

空氣量이 많을수록 吸水率이 높게 나타났다는 德光等¹⁰⁰⁾의 研究結果와 같은 傾向을 보이는 것이라 하겠다.

9. 壓縮強度와 W/C, 密度, 吸水率 및 空氣量의 關係

壓縮強度와 물-시멘트比와의 相關性을 檢討한 바 G氣泡모르터는 相關係數 $r=-0.787$, U氣泡모르터는 $r=-0.710$, J氣泡모르터는 $r=-0.485$ 로서 모두 그 有意性이 認定되었다. 이러한 原因은 물-시멘트比는 貧配合일수록 크게 되고 起泡劑 添加量이 增加할수록 작게 나타나기 때문이며, 이는 建設部 技術指導書⁴⁷⁾, 金等⁵²⁾의 研究와 비슷한 結果라 하겠다.

壓縮強度와 密度와의 關係에 對해서 相關性을 檢討한 바, G氣泡모르터는 相關係數 $r=0.609$, U氣泡모르터는 $r=0.608$, J氣泡모르터는 $r=0.445$ 로서 모두 有意性이 認定되었다. 따라서 氣泡모르터는 密度와 壓縮強度사이의 相關關係가 있으며, 密度가 클수록 壓縮強度도 크게 나타났다는 研究⁹⁹⁾와 一致하는 結果라 하겠다.

壓縮強度와 吸水率과의 關係에 對해서도 相關性을 檢討한 바, G氣泡모르터는 相關係數 $r=0.281$, U氣泡모르터는 $r=0.159$ 로서 有意性을 認定할 수 없었으며, J氣泡모르터는 $r=-0.834$ 로서 有意性을 認定할 수 있었다. 이것은 壓縮強度는 各氣泡모르터에서 貧配合일수록 작게 나타났고 起泡劑 添加量이 增加할수록 吸水率은 크게 나타났으나 壓縮強度는 작게 나타났기 때문이며, 이는 阿久津¹⁸⁾, 德光等¹⁰⁰⁾의 研究와 近接되는 結果라 하겠다.

壓縮強度와 空氣量과의 關係에 對해서 相關性을 檢討한 바, G氣泡모르터는 相關係數 $r=-0.514$, U氣泡모르터는 $r=-0.614$, J氣泡모르터는 $r=-0.640$ 으로서 모두 有意性이 認定되었다.

따라서 이것은 姜等⁴⁹⁾의 研究에서의 같이 氣泡모르터는 空氣量이 많을수록 壓縮強度가 작게 나타났다는 報告와 一致되는 結果라 하겠다.

10. 耐藥品性

氣泡모르터의 黃酸, 窒酸 및 鹽酸에 對한 耐藥品性을 普通시멘트 모르터와 比較한 바 氣泡모르터는 普通시멘트 모르터에 比하여 모든 藥品에서 重量形狀 色相 및 強度變化가 있었으며, 이중 強度比로 表示한 結果, 各氣泡모르터는 黃酸, 窒酸, 鹽酸

順으로 強度比가 작게 나타났다. 그리고 各 氣泡모르터에서 各 藥品에 對한 強度의 減少率은 J, U 및 G 氣泡모르터 順으로 크게 나타났고, 특히, J 氣泡모르터는 各 藥品과 各 配合比에서 起泡劑 添加量이 3.0%일 때 모두 崩壞되어 G와 U 氣泡모르터에 比하여 酸에 더 弱하다는 것을 알 수 있었다.

한편, 強度比는 各 氣泡모르터別 各 藥品別에서 配合比 1:1일 때 가장 크게 나타났고 이보다 貧配合일수록 작게 나타났다. 또한, 시멘트모르터나 콘크리트 構造物이 酸과 接觸하면 浸蝕되어 耐久性이 低下되거나 崩壞되므로 (6,46,72,78,117) 耐藥品性이 要求되는 構造物에 貧配合의 氣泡모르터를 使用하면 普通시멘트 모르터에 比하여 不利하다. 그러므로 利用目的에 따라 起泡劑를 選定하고 配合比와 添加率을 決定하여 使用하는 것이 바람직하다 하겠다.

IV. 結 論

이 研究는 모르터의 配合比와 起泡劑 添加量에 따른 氣泡모르터의 諸性質을 普通시멘트 모르터와 比較 究明하므로써 氣泡모르터의 効果의인 使用을 위한 基礎資料를 마련하는데 있다.

이 試驗에 使用한 起泡劑는 시멘트 모르터 構造物用으로 利用되고 있는 Pre-foamed型과 Mix-foaming型이며, 氣泡모르터는 시멘트와 骨材의 配合比를 1:1, 1:2, 1:3 및 1:4로 하였고, 起泡劑 添加量은 시멘트 重量의 0.0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5% 및 3.0%로 하였다.

이 研究에서 얻어진 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 물-시멘트比는 各 氣泡모르터에서 配合比 1:1일 때 가장 적게 나타났고 이보다 貧配合일수록 크게 나타났으며, 起泡劑 添加量이 增加할수록 減少하였다.

또한, 물-시멘트比는 普通시멘트 모르터에 比하여 G 氣泡모르터에서 1.8~22.0%, U 氣泡모르터에서 2.2~24.1% 및 J 氣泡모르터에서 0.7~53.1% 까지 減少되었다.

2. 密度는 各 氣泡모르터에서 配合比 1:1일 때 가장 크게 나타났고 이보다 貧配合일수록 작게 나타났으며 起泡劑 添加量이 增加할수록 減少하였다.

한편, 密度는 普通시멘트 모르터에 比하여 G 氣泡모르터에서 1.4~20.7%, U 氣泡모르터에서 2.3~23.7% 및 J 氣泡모르터에서 36.5~56.5% 까지 減

少되어, 그 結果 自重을 輕減할 수 일이므로 큰 強度를 要求하지 않는 構造物에 使用하면 效果의이라 하겠다.

3. 吸水率은 모든 氣泡모르터에서 配合比 1:1일 때 가장 낮게 나타났고 이보다 貧配合일수록, 起泡劑 添加量이 增加할수록 높게 나타났다.

특히, 72時間의 水浸에서 吸水率은 普通시멘트 모르터에 比하여 G 氣泡모르터의 경우 1.01~1.24 배, U 氣泡모르터의 경우 1.03~1.58 배, J 氣泡모르터의 경우 1.10~5.91 배로 되었으며 吸水率의 變化率은 모두 水浸初期에 높게 나타났다.

4. 各 氣泡모르터에 含有된 空氣量은 配合比 1:1일 때 가장 작게 나타났고 이보다 貧配合일수록 起泡劑 添加量이 增加할수록 크게 나타났다. 이것을 普通시멘트 모르터와 比較하면 G 氣泡모르터에서 4.0~17.2 배, U 氣泡모르터에서 5.2~23.2 배, J 氣泡모르터에서 23.8~74.5 배로 되었다.

5. 各 氣泡모르터의 壓縮, 引張 및 휨強度는 配合比가 1:1일 때 減少率이 가장 작게 나타났으며 이보다 貧配合일수록 또는 起泡劑 添加量이 增加할수록 크게 나타났다.

특히, 各 氣泡모르터의 모든 強度의 減少率은 材齡 7日보다 材齡 28日에서 0.4~2.2% 정도 더 減少되었다. 또한, 各 氣泡모르터의 壓縮과 引張強度, 壓縮과 휨強度 및 引張과 휨強度 間에는 各各 直線狀으로 나타났으며, 그 相關係數는 高度의 有意性이 認定되었다.

6. 各 氣泡모르터에서 密度와 吸水率, 空氣量 및 壓縮強度와의 關係는 高度의 有意性이 있었으며, 空氣量과 吸水率 및 壓縮強度와의 關係도 역시 高度의 有意性이 認定되었다. 그리고 모르터의 配合比와 起泡劑 添加量에 따라 氣泡모르터의 물-시멘트比, 密度, 吸水率, 空氣量, 壓縮強度, 引張強度 및 휨強度를 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.

7. 耐藥品性은 各 藥品에서 普通시멘트 모르터와 氣泡모르터가 다같이 配合比 1:1일 때 強度比가 가장 크게 나타났고 이보다 貧配合일수록 작게 나타났다. 또한, 各 藥品에 따른 強度의 減少率은 모든 모르터에서 黃酸, 窒酸, 鹽酸 順으로 크게 나타났으며, 모르터別로는 J, U, G 氣泡모르터, 普通시멘트 모르터 順으로 크게 나타났다. 특히, J 氣泡모르터는 各 藥品과 各 配合比에서 起泡劑 添加量 3.0%일 때 모두 崩壞되었다. 그러므로 耐酸性이

要求되는 構造物에 利用하기 위하여는 起泡劑 添加量을 3.0%以下로 하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

參 考 文 獻

1. ACI., State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete. Journal of the ACI, 70 (11) : 729~744, 1973.
2. ____, Guide for Structural Light-weight Aggregate Concrete. Concrete International, 1(2) : 33~62, 1979.
3. ____, Recommended Practice for Selecting Proportions for Structural Light-weight Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, (Part 1), 211 : (21~39), 1980.
4. ____, Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Light-weight Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, (Part 1), 211 : (1~18), 1982.
5. ____, Admixtures for concrete. ACI Manual of Concrete Practice, (Part 1), 212 : (1~29), 1982.
6. ____, ACI Manual of Concrete Inspection. ACI Manual of Concrete Practice, (Part 2), 311 : 1, 1982.
7. ____, Guide to Durable Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, (Part 5), 201 : (1~29), 1982.
8. ____, Guide for Cast in Place Low Density Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, (Part 5), 523 : (1~6), 1982.
9. ____, Batching, Mixing and Job Control of Light-weight Concrete. Concrete International, 4(9) : 88~96, 1982.
10. ____, Guide for Low Density Precast Concrete Floor, Roof and Wall Units. ACI Manual of Concrete Practice, (Part 5), 523 : (1~6), 1983.
11. ____, Guide for Cellular Concretes Above 50 pcf, and for Aggregate Concretes Above 50 pcf with Compressive Strengths Less than 2500psi. ACI Manual of Concrete Practice, (Part 5), 523 : (1~18), 1983.
12. Adolf, G and T. pohl, German Patent 572259., 1929.
13. 阿久津兼二, 스투톤화 樹脂を用いた氣ほう 콘크리트 混和劑, 세멘트 技術年報, (19) : 391~396, 1965.
14. _____, 超輕量氣ほう 콘크리트에 關する 研究. 세멘트 콘크리트誌, (237) : 9~13, 1966.
15. Alway, F.J., Disintegration of Cement Tile in Peat. Jour, America. Peat. Soc., 15(31) : 15~25, 1922.
16. ASTM., Mortar for Unit Masonry. ASTM (4) : 351~353, 1981.
17. Aylsworth, J.W. and F.L. Dyer, U.S. Patent 1087094., 1914.
18. Bayer, E.C., German Patent 421777., 1923.
19. Building Research Station Digest., Aerated Concreted. 1(28), 1951.
20. _____, Aerated Concreted. 2(29), 1951.
21. 세멘트 協會, 콘크리트用 混和劑特集. 세멘트·콘크리트, (427) : 101~106, 1982.
22. Charles, D.H., C.W. Robert, and M.S. Samuel, Hand Book to Chemistry and Physics. Chemical Rubber Publishing Co., (38) : 1645, 1959.
23. 高橋直人, 濱田稔, 氣泡 콘크리트의 強度에 關する 實驗的 研究. 日本建築學會大會梗概集 : 35~66, 1970.
24. Davis, R.E., Use of Pozzolans in Concrete. Journal of the ACI, 21(5) : 377~384, 1950.
25. Elliott, G.R.B., Effect of Organic Decomposition Products from High Vegetable Content Soils Upon Concrete. Drain Tile Jour. Agri. Res., 24(6) : 471~500, 1923.
26. 藤片光藏, 美國호로콘크리트 フロック工業(6). 세멘트·콘크리트, 1950.
27. 國分正鳳, 土木材料實驗. 技報堂 : 17~24, 1967.
28. 近藤泰夫, 坂靜雄, 콘크리트 工學. 1958. <29~117省略>