配合率의 變化에 의한 MORTAR의 超音波 吸收現象

論 文
25～6～3

A study on the Absorption Phenomena of Ultrasonic Exergy in the Mortar with Different Mixing Ratio of Sand to Cement

田 春 生*, 洪 奉 植**

(Choon Saing Jhoun, Bong Sik Hong)

Abstract

The temperature rise of the mortars while are being irradiated by ultrasonic waves and immersed in a liquid medium, are measured. The mixing ratios of sand to cement are varied for the different mortars. The results of the experiment are as follows,

1. The temperature rise of the mortar is decreased as the mixing ratio (S/C) is increased.
2. The temperature rise of the specimen is increased as its length is increased.
3. The surface conditions, either smooth or rough, may not have much influence on the temperature rise of the mortar.
4. The initial slope of temperature rise may not have much effect of the viscosity of liquid.

The results, describes above, appear well coincide with the theory that the temperature rise is attributed mainly to the absorption heating. Since the absorption heating of the mortars varies with the mixing ratios of sand to cement, the strength of them would be estimated by means of irradiation of ultrasonic waves on the specimen.

1. 序 論

超音波의 發見은 19世紀 頃이지만 이 超音波를 氣體, 液體 또는 固體, 中에서 發射하고, 그의 吸收, 反射 및 速度 등에 關하여 傳播特性의 硏究가 始作된 것은 今世紀에 들어서 부터이다.

最近에 와서 特히 戰後 超音波를 使用하여 工業上의 各種 計測을 위한 硏究가 進步하여 現在에는 探傷計, 流速計 粘彈性의 測定등에 關한 計測技術을 爲始로 魚群探知, 測深 등의 Sonar 技術도 널리 採用되고 있다. 또 超音波에 의한 癌이나 腫傷의 醫學的 診斷法 그리고 遲延回路의 硏究도 近來에 活潑해지고 있다. 이와 같은 技術은 超音波의 傳播特性을 通信用에 應用한 것이며 sonar를 除外하고는 一般的으로 그 出力이 極히 적다.

한편 强力超音波의 發生法은 振動子의 硏究와 電子工學의 發展과 더불어 近來 10年間에 急速하게 發達하여 그 振動 Energy를 動力學的으로 利用하는 것이 試圖되어 超音波를 使用한 洗淨, 細菌破壞, 冶金, 熔接 및 鍍金 등도 出現되었다[12].

이와 같은 새로운 技術의 開發 뒤에는 各 分野에서의 超音波에 關한 基礎的 硏究成果가 크게 이바지 했던 것이다.

特히 超音波의 選擇的 加熱에 대한 硏究로는 10餘年前부터 液體媒質 中에 있어서 固體의 超音波 發熱現象에 대한 여러가지 報告書가 있다. 和田과 小田氏에 의한 固體와 液體의 界面에 있어서의 超音波의 發熱作用에 關한 測定[2] 別所와 田淵氏에 의한 球面波에 의한 液體中에 있어서의 超音波 吸收[3] R.S. Soloff氏의 超音波 乾燥[5] K. Roczey-Koller氏의 超音波 Energy에 의한 線熔接[4] 및 奧島와 小谷氏에 의한 水中浮遊砂의 超音波 反射特性 등의 硏究[6][7] 結果들을 列擧할 수 있다. 最近에는 小林과 守田氏는 粘度가 서로 다른 液體

*正會員：仁荷大工大敎授工學博士(當學會編修委員)
**正會員：仁荷工業專門學校 敎授

媒質中에서 超音波에 의한 固體의 發熱現象에 關한 硏究에서 表面發熱과 內部發熱을 分離시키는데 처음으로 成功하여 超音波 應用에 많은 貢獻을 하였다[1].

土木 및 建築工事에 있어서 建築物의 强弱을 左右하는 것은 Concrete 施工이라고 볼 수 있으며 特히 모래와 시멘트로 構成되어 있는 Mortar는 그 配合率에 의하여 强度가 決定된다고 본다.

또 精巧한 Concrete 造形物 工作에 있어서 Mortar를 迅速히 乾燥해야 할 必要가 있는데 直接 熱源에 接近시켜서 加熱하면 被加熱物에 龜裂과 歪曲現象이 일어나 所期의 目的을 達成할 수 없게 된다.

超音波에 의한 Mortar에 關한 硏究報告는 아직 없다고 보며 本 實驗에서 모래와 시멘트의 配合率이 다른 Mortar에 대한 超音波 Energy의 吸收狀態와 그 影響을 調査하였다.

2. 理論的 考察

超音波 Energy에 의한 發熱現象을 理論的으로 考察하면 다음과 같다.

2-1 超音波 發熱의 一般式[1)13)]

超音波 Energy가 傳播媒介體인 液體中에서 被照射體인 固體表面에 照射되면 發熱 및 放熱現象이 發生한다. 이때 그 現象은

1) 液體와 固體의 境界面에서 일어나는 單位 時間當의 表面發熱量(h_1)
2) 超音波가 固體 內部를 透過할 때 吸收에 의하여 發生하는 單位時間當의 內部發熱量(h_2)
3) 加熱된 固體로부터 周圍의 液體로 移動하는 單位時間當의 放出熱量(h_3)

라고 하면 單位時間當 固體의 熱量은 $h_1+h_2-h_3$가 되며, 이 값의 크기에 따라

1) 熱蓄積 : $(h_1+h_2-h_3)>0$
2) 熱平衡 : $(h_1+h_2-h_3)=0$
3) 冷却 : $(h_1+h_2-h_3)<0$

의 現象이 생긴다.

h_1, h_2, h_3는 理論的으로 다음과 같다.

$$h_1=K_1 r(\eta)\frac{IS}{J} \tag{1}$$

$$h_2=K_2\frac{S}{J}\int_0^l I(r)\alpha dr= 10K_2\frac{\tau IS}{J}(1-10^{-\alpha l/10}) \tag{2}$$

$$(\therefore I(r)=\tau I\cdot 10^{-\alpha r/10})$$

$$h_3=\lambda(\eta)\theta S' \tag{3}$$

여기서 K_1, K_2 : 係數

s : 超音波 照射面積

s' : 冷却媒質에 接한 固體의 全表面積

$\gamma(\eta)$: 發熱係數(液體의 粘度 η의 函數)

J : 熱의 일 當量

τ : 照射面의 超音波 透過率

α : 固體의 超音波 吸收係數

l : 固體의 길이

$\lambda(\eta)$: 熱傳達率(液體의 粘度η의 函數)

θ : 固體와 液體 사이의 溫度差

r : 固體表面에서 超音波 透過方向에 대한 임의의 길이

I : 超音波 照射面에서의 超音波의 세기 :

固體의 熱容量을 C로 表示하면 單位時間當 固體에 蓄積되는 熱量은

$$C\frac{d\theta}{dt}=\frac{IS}{J}[K_1\gamma(\eta)+10K_2\tau(1-10^{-\alpha l/10})] -\lambda(\eta)\theta S' \tag{4}$$

가 되며, 液體中의 超音波 音場內에서 固體의 溫度上昇 θ는

$$\theta=\frac{IS}{J\lambda(\eta)S'}[K_1\gamma(\eta)+10K_2\tau(1-10^{-\alpha l/10})](1-\varepsilon^{-\frac{\lambda(\eta)S'}{c}t}) \tag{5}$$

이 된다. 이는 固體에 溫度上昇을 주는 一般式이며, 第1項은 表面發熱에 의한 것, 第2項은 內部發熱에 의한 것이다.

2-2 初期의 溫度上昇勾配

粘度가 相異한 液體를 超音波 媒介體로 使用했을 때 固體의 初期 溫度上昇勾配를 살펴본다. 式(4)에서 時間 $t=0$때 $\theta\to 0$ 이므로

$$\left.\frac{d\theta}{dt}\right]_{t\to 0}=\frac{IS}{JC}[K_1\gamma(\eta)+10K_2\tau(1-10^{-\alpha l/10})] \tag{6}$$

이 된다. 이 式이 時間 $t\to 0$ 近傍에서의 溫度上昇勾配를 나타내는 것이다. 內部發熱이 主가 되는 境遇에는 式(6)에서 第一項을 無視할 수 있으므로

$$\left.\frac{d\theta}{dt}\right]_{t\to 0}=\frac{10K_2\tau IS}{JC}(1-10^{-\alpha l/10}) \tag{7}$$

가 되며 粘度η에 無關係한 定數가 된다. 즉 初期溫度上昇勾配는 粘度의 影響을 받지 않고 一定한 勾配를 維持하게 된다. 또 表面發熱이 主가 되는 境遇에는 式(6)에서 第1項만을 取하면

$$\left.\frac{d\theta}{dt}\right]_{t\to 0}=\frac{K_1 IS}{JC}-\gamma(\eta) \tag{8}$$

로 表示되며, 粘度 η의 函數가 된다.

一般的으로 $\gamma(\eta)$는 粘度의 增加와 더불어 커지므로

이 때에는 初期溫度上昇勾配가 점차 커지게 된다.

2-3 溫度上昇의 飽和値

粘度의 變化에 대하여 溫度上昇의 飽和値는 어떻게 變하는가를 살펴본다. 式(5)에서 $t\to\infty$의 極限을 取하면

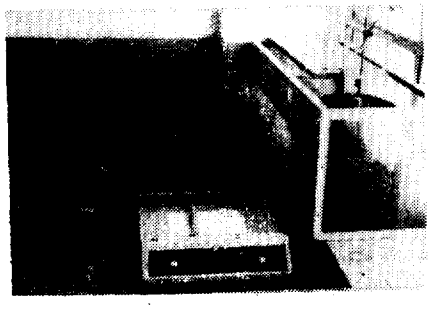
$$\theta]_{t\to\infty}=\frac{IS}{\lambda(\eta)S'J}\{K_1\gamma(\eta)+10K_2\tau(1-10^{-\alpha/10})\} \tag{9}$$

이 된다. 이 式은 各 粘度에 있어서의 溫度上昇飽和値를 나타내는 것이며, $\gamma(\eta)$와 $\lambda(\eta)$의 函數가 된다.

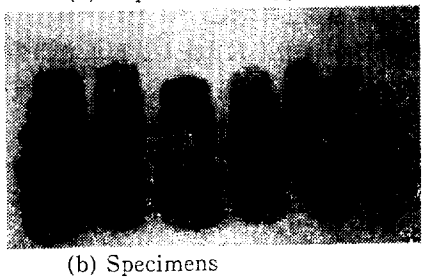
內部發熱이 主가 되는 境遇에는 式(9)에서 第一項을 無視할 수 있으므로 溫度上昇飽和値는

$$\theta]_{t\to\infty}=\frac{10K_2\tau IS}{\lambda(\eta)S'J}(1-10^{-\alpha/10}) \tag{10}$$

이 되고, 이 값은 液體의 粘度의 函數인 $\lambda(\eta)$에 逆比例한다. 一般的으로 液體에서는 粘度의 增加에 따라서



(a) Experimental apparatus



(b) Specimens

그림 1. 시료 실험장치

Fig. 1. Photograph of experimental apparatus

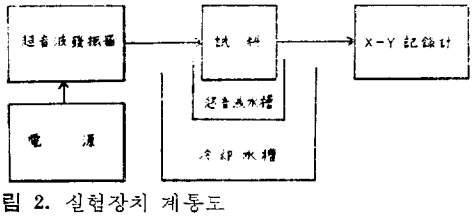


그림 2. 실험장치 계통도

Fig. 2. Block diagram of experimental apparatus

$\lambda(\eta)$가 적게 되어 溫度上昇飽和値는 커진다. 表面發熱이 主가 되는 境遇에는 式(9)에서 第一項만 取하면 그 飽和値는

$$\theta]_{t\to\infty}=\frac{K_1IS}{JS'}\cdot\frac{\gamma(\eta)}{\lambda(\eta)} \tag{11}$$

이 되고, 液體의 粘度에 따라서 分母, 分子에 있는 $\gamma(\eta)$와 $\lambda(\eta)$에 의하여 그 값이 달라진다. 內部發熱이 主가 되는 境遇에 비하여 $\gamma(\eta)$倍가 되어 있으므로 더욱 粘度變化에 대한 그 變化量이 커진다고 볼 수 있다.

3. 實驗裝置와 試料

實驗裝置 全體는 그림 1의 寫眞과 같으며, 그 構成에 대한 系統圖는 그림 2와 같다.

3-1 超音波發振器[14]

發振部는 LC同調 Hartley 回路를 使用하였으며, 發振周波數의 安定을 위하여 電子結合 Push-Pull 增幅器形을 採用하였다. 그 結線圖는 그림 3과 같다. 使用電子管은 UY-807 2個이며 이를 Push-Pull 接續함으로서 實驗에 充分한 出力 約 50W의 發振出力을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 出力 變成器에서 直流磁氣의 影響을 전혀 받지 않게 되어 鐵心의 斷面積을 比較的 적게 할 수 있다. 可變周波數 範圍는 約 300~700KHz이며, 發振周波數 變動은 3時間 連續作動시켰을 때 約 0.8% 以內였으며 極히 安定狀態를 維持할 수 있었다.

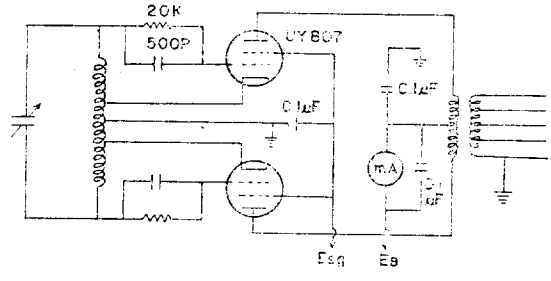


그림 3. 초음파 발진회로

Fig. 3. Ultrasonic wave oscillator

3-2 水槽裝置

超音波水槽는 그림 4와 같이 크기가 45×120×45cm³가 되는 相當히 큰 冷却水槽內部에 裝置하여 實驗中

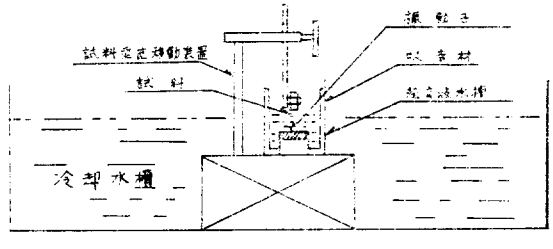


그림 4. 수조장치

Fig. 4. Arrangement of water tanks

超音波 水槽內의 液體의 發生熱을 冷却시키겠금 하였다. 超音波水槽 內部壁에는 超音波 吸收材를 附着하여 反射波의 影響을 받지 않게 하였다. 超音波 吸收材로서는 多孔性의 폴리에티렌을 사용 하였다.

3-3 試料와 溫度檢出裝置

試料는 Mortar로서 모래와 시멘트의 配合率을 S/C $\left(\frac{\text{Sand量}}{\text{Cement量}}\right)$로 表示하고(이하 동일함) 그 값을 0,2, 4,6 및 8의 5種類로 하고, 각각 길이를 45mm, 35mm, 25mm, 直經을 30mm, 25mm, 21mm로 달리 만든 모두 45個의 圓柱形 試料를 使用하였다. 그 모양은 그림 5(a)와 같다. Mortar의 製作方法은 配合率에 따라 모래와 시멘트를 잘 섞은후 約 50%의 맑은 물을 부어 성형시켜 10餘日 以上 굳혔다. 이와 같이 만든 試料는 試料垂直移動裝置의 垂直移動棒 한쪽 끝에 Belt로 附着시키고 그 棒을 움직여서 試料面을 超音波液槽의 液面에서 超音波 發射方向에다 直角으로 固定시켰다. 溫度檢出裝置는 銅一鐵의 熱電對를 使用하고 그림5(b)와 같이 그 Tip이 試料上에 적당한 壓力으로 附着되도록 Spring으로 支持하였고, 그 반대쪽 두 端子는 X—Y 記錄計에 連結하여 檢出溫度를 記錄할 수 있게 하였다.

이 記錄計의 형은 VARIAN F—80A이며, 電壓

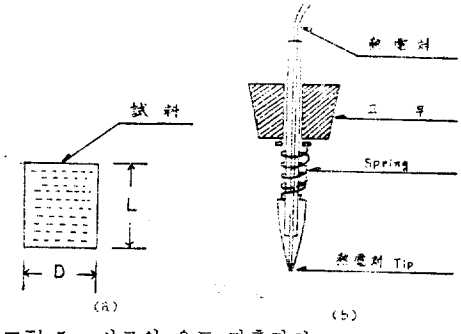


그림 5. 시료와 온도 검출장치

Fig. 5. A specimen and temperature rise detecting device

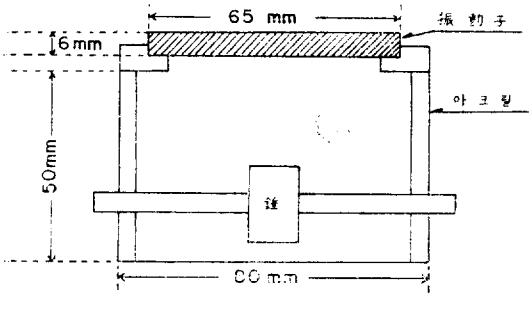


그림 6. 진동자 장치

Fig. 6. A arrangement of transducer

range는 0.2mV~20V이고 time은 0.2~20sec/cm이다.

3-4 振動子

이것은 두께 6mm, 直徑 65mm, 振動周波數 500 KHz 出力 60W의 티탄산바륨製의 圓板形 振動子이다. 그 裝置는 그림 6과 같이 직경 80mm의 아크릴 圓筒을 約 50mm 정도의 길이로 잘라 그 上部에 振動子를 접착제로 附着시키고 下部에는 추를 달아 液中에 잘아앉게 하였다. 이렇게 하면 振動子의 上部만이 液體에 接하고 下部는 圓筒內部의 空氣中에 있게 된다. 따라서 超音波의 發射는 下方에는 억제되고 上方向에만 存在하여 效率的으로 利用할 수 있다.

4. 實驗方法

超音波 液槽 中心部에 振動子裝置를 놓고 媒介體인 液體를 넣는다. 最適負荷로서의 水位高는 50mm~60 mm이므로 液面의 높이는 振動子 表面에서 50mm로 하고 Cavitation이나 噴液現象이 일어나지 않도록 超音波 出力을 適當히 調節하였다[11]. 發射超音波는 그 振動周波數가 500KHz 이므로 水中에서의 波長은 2.8 mm이고 그리고 振動子의 直徑이 65mm 이므로 半減角θ는 式[12]

$$\theta=\sin^{-1}(0.364\frac{\lambda}{R})$$

단 R : 振動子의 半徑

λ : 波長

에 의하여 θ≒1.7°가 된다. 그러므로 超音波 液槽內의 液面上의 아주 적은 範圍에 그 Energy가 集中된다고 볼 수 있다. 이와 같은 液面上에 試料를 垂直으로 살짝 接觸시키고 發振器와 X—Y 記錄計를 同時에 가동시킨다. 前述한 바와 같이 熱電對의 Tip은 Spring에 의하여 試料의 表面에 適當한 壓力으로 附着하고, 그 반대쪽 端子는 X—Y 記錄計의 Y軸 端子에 連結하여 超音波 照射에 의한 試料의 溫度上昇을 Graph 用紙上에 記錄한다. 이때 飽和溫度를 관찰하기 위하여 約 6 分間 超音波를 照波시켰다. 이러한 方法으로 모든 試料에 대하여 10回 이상 반복실험하고 그 平均値를 取하여 結果를 얻었다. 實驗中 液體의 溫度는 冷却水에 의하여 22°C로 維持하였다. 그 粘度가 相異할 때 試料의 溫度上昇의 變化를 觀察하기 위하여 媒介物 液體의 種類는 Methyl Alcohol(粘度 0.586×10^{-4}kg S/m², 20°C), 蒸溜水(粘度 1.029×10^{-4}kg S/m², 20°C), 變壓器油(粘度 32.2×10^{-4}kg S/m², 20°C)의 3가지를 使用하였다. 實驗時 試料에 液體가 浸透되지 않겠금 試

料의 表面에 Grease를 대단히 얇게 塗布하였다. 特히 蒸溜水일 때는 直接 물이 試料內部까지 浸透한 경우와 浸透치 않은 境遇 다시 말하면 試料의 表面에 Grease를 塗布하여 물의 浸透를 막은 경우에 대하여 調査하였다.

5. 實驗結果 및 檢討

實驗結果는 다음과 같다. 그림 7은 直徑 D=30mm 길이 l=25mm의 試料에서 S/C 즉 Mortar의 配合率을 파라메터로 한 경우의 超音波 照射時間에 대한 溫度上昇을 나타낸 曲線인데 그림 (a)는 물이 試料에 完全히 浸透된 경우이고 그림 (b)는 試料에 Grease를 塗布하여 물의 浸透를 防止한 後 測定한 것이다.

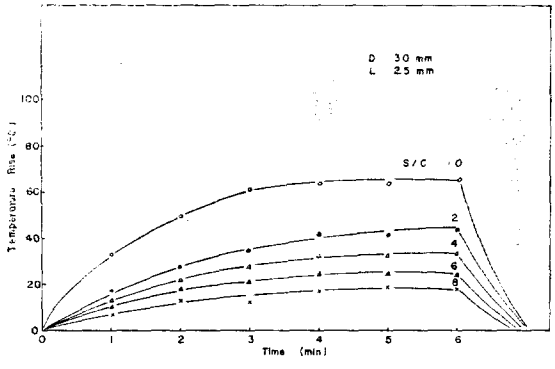


그림 7. (a) 시간에 대한 온도상승곡선(침수시켰을 때)

Fig. 7. (a) Temperature rise vs. time(wet sample)

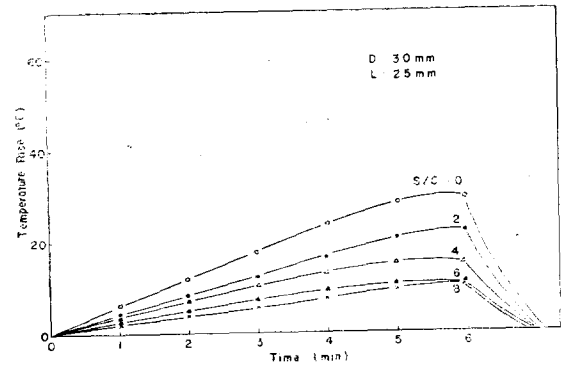


그림 7. (b) 시간에 대한 온도상승곡선(침수 시키지 않았을 때

Fig. 7. (b) Temperature rise vs. time (Dry sample)

그림 8은 그림 7의 結果를 再整理한 것이며 飽和溫度와 超音波 照射時間을 3分으로 하였을 때의 溫度上昇이 S/C에 의하여 變化하는 모양을 나타낸 것이다.

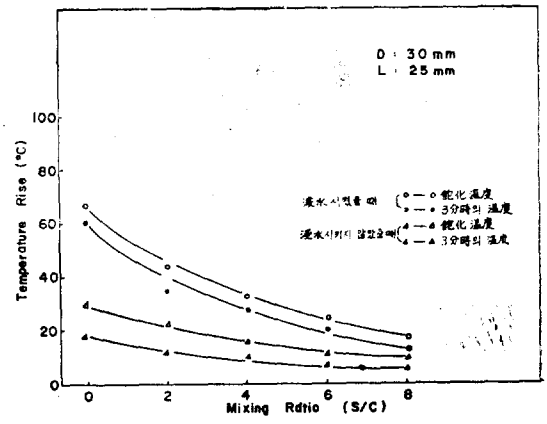


그림 8. S/C에 대한 일정시간내의 온도상승과 포화온도 곡선

Fig. 8. Temperature rise vs. Mixing Ratio

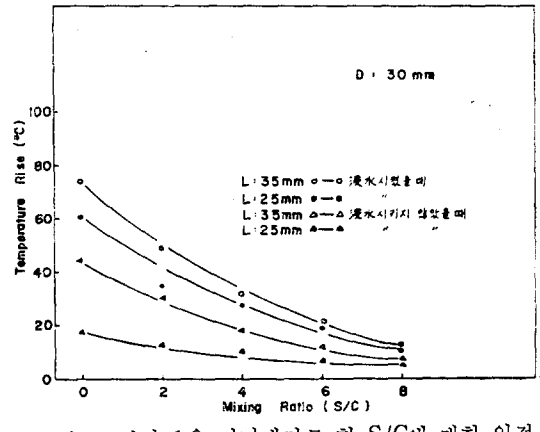


그림 9. 길이 l을 파라메터로 한 S/C에 대한 일정시간내의 온도 상승곡선

Fig. 9. Temperature rise vs. Mixing Ratio (L : parameter)

S/C가 增加함에 따라 어느 경우나 溫度上昇이 全般的으로 低下하고 있는데 浸水된 試料쪽이 同一한 S/C에서 높은 溫度上昇을 나타내고 S/C가 적은 범위에서는 그 差가 크다. 이 現象은 S/C의 增加에 따라 多孔性이 풍부해져 試料에 물을 浸透시키면 이 氣孔內에는 熱容量이 큰 물의 含有量이 많아지기 때문에 溫度上昇이 低下되고, 照射面에 Grease를 塗布한 경우에는 이 Grease面과 內部의 氣孔에 의하여 超音波透過量이 減少하고 空氣中에 대한 熱發散量의 增加에 緣由된다고 생각할 수 있다.

그림 9는 試料의 直徑을 一定하게 하고(D=30mm), 길이 l을 變化시켰을 때의 S/C에 대한 溫度上昇을 나타낸 것인데 超音波照射時間이 3分일 때이다. 試料의 浸水 如何에 關係없이 길이가 길어짐에 따라 溫度上昇

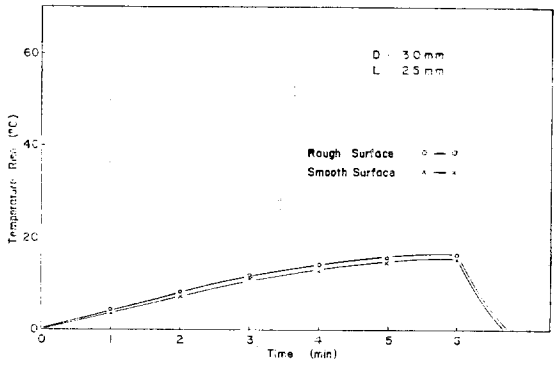


그림 10. S/C가 4인 경우 시료의 표면상태에 대한 온도 상승곡선

Fig. 10. Temperature rise vs. Time

이 높아지고 있다. 이것은 길이가 길어지면 超音波 吸收量이 많아져 內部發熱이 增加하고 이것이 空氣中의 冷却表面이 증가하므로서 생기는 熱發散보다 클기 때

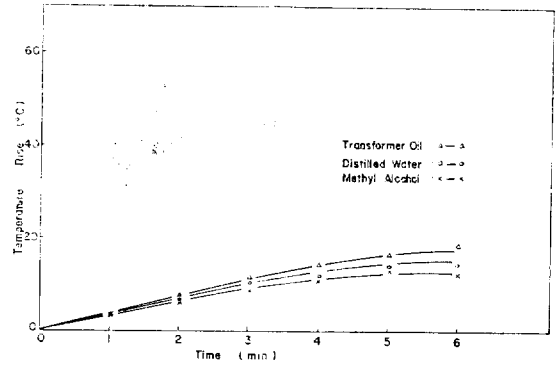


그림 11. 점도가 상이한 액체를 사용 했을 때 시료의 온도 상승곡선

Fig. 11. Temperature rise vs. Time

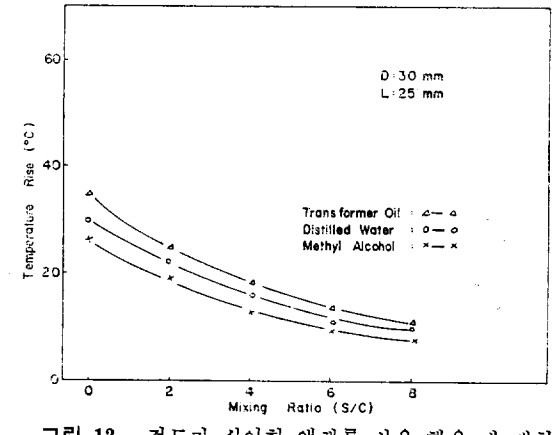


그림 12. 점도가 상이한 액체를 사용 했을 때 배합율 (S/C)에 대한 온도 상승곡선

Fig. 12. Temperature rise vs. Mixing Ratio

문이라고 추측된다.

또 그림 10은 液體로서 물을 使用하고 試料의 超音波 照射面을 圓滑하게 한 경우와 凹凸을 만들었을때의 溫度上昇을 나타내고 있다.

그림 11과 12는 粘度가 다른 變壓器油, 물, Methyl Alcohol을 超音波 媒介物로 하였을 때의 溫度上昇을 나타낸 曲線이다. 粘度가 커짐에 따라 溫度上昇은 커지지만 그 上昇勾配 및 溫度差는 極히 적은 것을 알 수 있다.

式(10)과 式(11)을 보면 表面發熱인 경우에는 內部發熱인 경우에 比하여 飽和溫度가 $\gamma(\eta)$倍 되어 있으므로 粘度變化에 대한 溫度飽和値의 變化의 比率이 커지고 또 式(7)과 式(8)을 보면 內部發熱인 경우에는 初期의 溫度上昇勾配가 粘度의 影響을 받지 않고 一定한 勾配를 維持하는데 대하여 表面發熱이 主가 되는 경우에는 이 勾配는 粘度η의 函數가 되어 $\gamma(\eta)$는 粘度와 더불어 增加하므로 이 勾配는 점점 커지게 된다.

以上의 實驗結果를 綜合的으로 檢討하면 Mortar는 內部發熱이 主인 경우의 理論式(10)과 잘 符合됨을 알 수 있다. 즉 式(10)에서 試料의 길이 l와 照射面의 超音波透過率τ가 減少하면 飽和溫度가 적어지고, 試料의 冷却面積 S'와 液體의 粘度η의 減少에 따른 $\lambda(\eta)$의 增加에 의하여 飽和溫度가 역시 低下함을 알 수 있다.

6. 結 論

Mortar에 超音波 Energy를 照射하였을 때 Mortar의 溫度上昇이 그 配合率에 의하여 變化하는 狀態를 實驗的考察을 通하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) Mortar의 配合率이 크면 溫度上昇은 低下한다.

2) 本實驗 範圍에서는 同一한 配合率에서 Mortar의 길이가 길어 짐에 따라 溫度上昇은 커진다.

3) Mortar의 照射面에 Grease를 바르면 溫度上昇이 적어지고, 照射面을 凹凸로 하면 極히 적은 差의 溫度上昇을 나타낸다.

4) 超音波 媒介物의 粘度가 크면 溫度上昇도 커진다

5) 以上의 諸現象을 綜合하면 Mortar는 主로 內部發熱物質임을 알 수 있다.

本 研究結果에서 Mortar의 配合率에 대한 超音波探査와 超音波加熱凝固의 可能性을 明白히 하였다.

參 考 文 獻

1) 小林. 外, 液體中の超音波音場における固體の表面發熱と內部發熱, 音響學會誌. 31—7(1975) p. 433

2) 和田. 外, 固體と液體の界面における超音波の發熱作用. 應用物理 25—7(1956) p. 311
3) 小林. 外, 超音波音場における固體發熱に對する液體の粘度の影響. 音響學會講論集(May. 1973) p. 109
4) K. Roczey-Koller: Production line Soldering with application of ultrasonic energy directing to molten Solder. Ultrasonic 7.4 (1969) p. 267
5) R.S. Soloff: Sonic Drying. J. Acoust. Soc. Amer. 36.5 (1964) pp. 961～965
6) 奥島. 外, 水中浮遊砂の超音波反射特性の測定法についての考察, 音響學會講論集(Oct, 1973). p. 281
7) 奥島. 外, 水中の浮遊砂の超音波反射特性の測定, 音響學會講論集(Oct. 1972) p. 97.
8) 小林. 外, 超音波音場における固體發熱音響學會講論集(May 1972) p. 309.
9) 別所. 外, 球面波による液體中の超音波吸收の測定音響學會講論集(May. 1973) p. 279.
10) 小林. 外, 超音波音場における固體發熱に實する固體の大きさの影響. 音響學會講論集 (May. 1973). p. 107
11) 小林. 外, 超音波音場における固體發熱に對する直進流の影響. 音響學會講論集(Oct. 1972) p. 273
12) 島川正憲著 超音波工學(工業調査會 1975) pp. 16～17
13) Theodor F. Hueter, Richard H.Bolt著 "SONICS" (John Wiley & Sons, Inc, 1955) pp. 41～42
14) 石渡昭一. 外, 著, 超音波回路(日刊工業新聞社 1971). pp. 176～183
15) B.A. Auld: Acoustic Fields and Waves in Solids, 1973. Wiley-Interscience.
16) Morse and Ingard: Theoretical Acoustics, 1968. McGraw-Hill Book Co.
17) Blitz: Ultrasonics, 1971. Van Nostrand Reinhold Co.,