生物개스 發生시스템을 위한 地下埋設콘크리트 다이제스터의 熱傳達에 關한 硏究

Study on the Heat Transfer Phenomenon around Underground Concrete Digesters for Bigas Production Systems

金 文 基* · 高 在 君*
Moon -Ki Kim, Chae Koon Koh

Summary

The research work is concerned with the analytical and experimental studies on the heat transfer phenomenon around the underground concrete digester used for biogas production systems.

A mathematical and computational method was developed to estimate heat losses from underground cylindrical concrete digester used for biogas production systems. To test its feasibility and to evaluate thermal parameters of materials related, the method was applied to six physical model digesters.

The cylindrical concrete digester was taken as a physical model, to which the methematical model of heat balance can be applied. The mathematical model was transformed by means of finite element method and used to analyze temperature distribution with respect to several boundary conditions and design parameters.

The design parameters of experimental digesters were selected as; three different sizes—40cm by 80cm, 80cm by 160cm and 100cm by 200cm in diameter and height; two different levels of insulation materials—plain concrete and vermiculite mixing in concrete; and two different types of installation—underground and half-exposed.

In order to carry out a particular aim of this study, the liquid within the digester was substituted by water, and its temperature was controlled in five levels-35°C, 30°C,25°C, 20°C and 15°C; and the ambient air temperature and ground temperature were checked out of the system under natural winter climate conditions.

The following results were drawn from the study.

1. The analytical method, by which the estimated values of temperature distribution around a cylindrical digester were obtained, was able to be generally accepted from the compar ison of the estimated values with the measured. However, the difference between the estimated and measured temperature had a trend to be considerably increased when the ambient temperature was relatively low. This was mainly related variations of input parameters including the thermal conductivity of soil, applied to the numerical analysis. Consequently, the improvement of these input data for the simulated operation of the

* 서울大學校 農科大學

numerical analysis is expected as an approach to obtain better refined estimation.

2. The difference between estimated and measured heat losses was shown to have the similar trend to that of temperature distribution discussed above.
3. It was found that a map of isothermal lines drawn from the estimated temperature distribution was very useful for a general observation of the direction and rate of heat transfer within the boundary. From this analysis, it was interpreted that most of heat losses is passed through the triangular section bounded within 45 degrees toward the wall at the bottom edge of the digester. Therefore, any effective insulation should be considered within this region.
4. It was verified by experiment that heat loss per unit volume of liquid was reduced as the size of the digester became larger. For instance, at the liquid temperature of 35° C, the heat loss per unit volume from the 0.1m³ digester was 1,050 Kcal/hr m³, while that for 1.57m³ digester was 150 Kcal/hr m³.
5. In the light of insulation, the vermiculite concrete was consistently shown to be superior to the plain concrete. At the liquid temperature ranging from 15°C to 35°C, the reduction of heat loss was ranged from 5% to 25% for the half-exposed digester, while from 10% to 28% for the fully underground digester.
6. In the comparison of heat loss between the half-exposed and underground digesters, the heat loss from the former was from 1.6 to 2.6 times as much as that from the latter. This leads to the evidence that the underground digester takes advantage of heat conservation during winter.

Ⅰ. 序 論

現在 우리나라에는 世界的인 趨勢의 一環으로 에너지 供給 및 汚染處理의 問題가 深刻하게 되어있다. 에너지 供給은 大部分 輸入石油 및 石炭에 依存하고 있으며 特히 農村地域의 煖房·炊事에 必要한 燃料는 主로 森林薪炭에 依存하고 있고 또한 汚物處理의 問題는 都市 地域뿐만 아니라 畜産汚物이 汚染源이 되고 있는 農村地域에 까지 急速히 擴大되고 있는 實情이다.

農地域社會의 에너지 供給이 制限된 石炭이나 林産資源으로부터 可能한 限 脫皮하고 畜産汚物의 問題도 緩和시키기 위한 어떤 全體的인 또는 部分的인 對策이 마련되어야 한다는 것은 當然하고도 時急한 일이다. 이러한 要請에 副應할수 있는것 中의 하나가 有機汚物의 嫌氣的 發酵法에 依한 生物개스의 生産技術이고 이 技術은 有機汚物의 處理過程을 兼하고 있는 兩面性의 技術로서 農村地域에 이미 普及되었거나 앞으로 普及시킬수 있는 可能性이 充分한 것으로 認定되고 있다.

有機物의 嫌氣的 醱酵法에 依한 生物개스 發生 시스템은Fig.1[6]과 같이 表示할수 있고 이 시스템의 核心이 되는 部分은 다이제스터(醱酵槽 digester)이다. 이 다이제스터는 一般으로 地中에 埋設하게

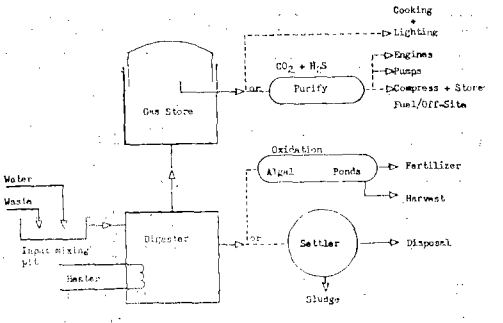

Fig. 1. Schematic diagram of biogas production system.

되는데 供給汚物의 種類와 濃度등에 따라서 여러가지 型으로 設計할 수 있으며 現在까지 開發된 다이제스터는 Batch型과 連續型[6]으로 大別할 수 있고 各各 그 特性을 가지고 있다.

다제스터의 性能에 영향을 주는 파라메트는 1) 作動方法을 나타내는 파라메터(混合程度 및 方法) 2) 設計파라메터(建設材料, 모양, 치수, 加熱裝置 등) 3) 入力파라메터등이 있고 入力파라메터는 Table-1[6]에서 보는 바와 같다. Table-1에 包含되어 있는 Feed Temperature, Heat Input, Heat Losses의 調節등은 冬季低溫期間에 있어서 다이제스터의 性能에 深刻한 問題를 提起하는 것으로서 이를 合理的으로 解決하기 위해서는 우선 시스템의 溫度나 熱損失을 豫測할 수 있는 手段이 있어야 하겠고 또한 設計파라메터를 適切히 變化시켜서 熱損失을 最小化할 수 있는 方法이 講究되어야 하겠다.

Table-1. Input parameters

Parameter	Easily Measurable?	Possible Control Variable
BOD. COD feed	No	No
Feed composition	Difficult	Yes
Feed: Physical state size	No	No
Feed concentration (solid: liquid)	Yes: approximately	Yes
Retention time	Yes	Yes
Loading rate	Possible	Yes
Bacterial, or seed content	No	Yes
Feed temperature	Yes	Yes
Toxic materials	No	No
Nutrient content	No	Yes
C/N ratio	No (but calculable)	No
Heat input	Indirectly	Yes
Heat losses	No	No
Pressure	Yes	?
Ambient temperature conditions	Impractical	No

그러나 우리나라에서는 아직까지 이러한 問題가 풀리지 않은 狀態로 있으며 特히 시스템 設計時 熱損失의 豫測 및 그 防止策에 對한 情報가 貧弱한 實情이다.

따라서 本 硏究의 基本目的은 生物개스 發生시스템을 위한 地下埋設 콘크리트 다이제스터 周邊의 熱損失을 推定하는 方法을 開發하는 同時에 이 方法이 冬季低溫期의 保溫問題에 對處하는 다이제스터 設計에 이바지 할수 있도록 하고저 하는데 있었다. 本硏究에 包含되어 있는 具體的인 硏究目的은 다음과 같다.

1. 地下埋設 圓筒形 콘크리트 다이제스터의 溫度調節을 위하여 冬季氣象條件下에서 다이제스터 周邊의 溫度分布와 熱損失을 推定할 수 있는 電算方法을 開發하고 그 有效性을 物理的 模型다이제스터에 對한 實測에 依하여 檢定한다.

2. 다이제스터의 材料, 크기, 埋設型등의 設計파라메터의 變化에 따른 熱損失特性을 調査한다.

Ⅱ. 解析的 方法

1. 시스템의 熱傳達基本式

1) 다이제스터 周邊의 溫度分布 및 熱損失量의 推定

圓形다이제스터를 地中에 埋設하거나 地上에 部分的으로 露出시키는 경우에 있어서 다이제스터 內部溫度를 指定된 溫度로 維持하고 外部의 溫度環境을 알 수 있을때 다이제스터 周邊의 溫度分布와 熱損失量을 推定하기 위한 數學的 모델로서 다음과 같은 軸對稱 三次元 熱傳導方程式을 利用할 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(k_r\, r\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k_z\, r\frac{\partial T}{\partial z}\right)\times rQ=0\cdots(1)$$

여기서 k_r, k_z : 각각 r軸과 z軸 方向의 熱傳導係數

Q : 內部熱發生量

T : 溫度

境界 條件은 Fig. 2를 참조하면 다음과 같이 주어진다.

S_1 표면에서 $T=T(r,z)$ ……(2)

S_2 표면에서 $k_r r\frac{\partial T}{\partial r}n_r\times k_z\, r\frac{\partial T}{\partial z}n_z=0\cdots(3)$

S_3 표면에서 $k_r r\frac{\partial T}{\partial r}n_r+k_z\, r\frac{\partial T}{\partial z}n_z+rh(T-T_\infty)=0$ ……(4)

여기서 $T(r,z)$는 旣知의 境界 溫度分布이고 n_r, n_z는 境界曲面에 대한 方向 餘弦들이다. $h(T-T_\infty)$는 周邊溫度 T_∞, 對流熱傳達係數 h인 境界面에서의 對流에 依한 表面熱흐름(surface heat flux)이다.

一般으로 다이제스터內에 供給되는 熱量과 化學反應에 의하여 補充되는 一部 熱量이 入力熱量으로 看做될 수 있다. 이에 대하여 損失熱量의 構成은 內容液을 加熱하는데 필요한 것, 넘쳐 흐르는 液體에 의하여 손실되는 것, 개스에 潛在하는 熱, 흙과 공기중으로 傳達되는 熱量으로 되어 있다. 이 중에서 흙과 空氣中으로 損失되는 熱量은 다이제스터 設計에 依하여 調節可能한 要素이기 때문에 이것을

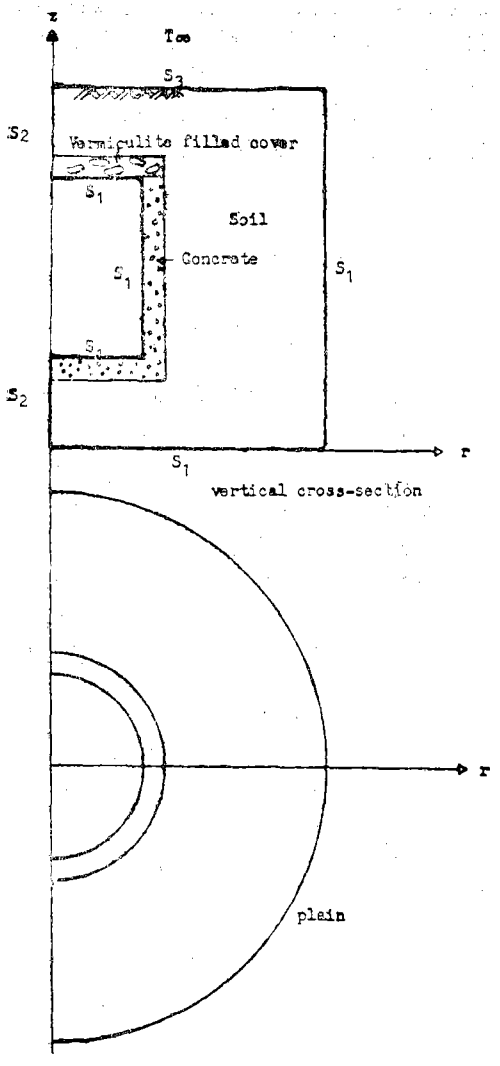

Fig. 2. Axisymmetric three dimensional solution domain.

주어진 條件下에서 定量推定하는 것이 必要하게 되고 또 주어진 條件은 定常熱流로 假定하여 解決할 수 있다.

2) 物理的파라메터의 範圍

模型 다이제스터의 型은 圓筒形으로 選定하고 材料는 보통콘크리트와 斷熱材인 질석을 사용한 질석콘크리트의 二種으로 하였다. 탱크의 크기는 3단계로 변화시켰고 다이제스터의 露出狀態는 地下 30cm의 完全埋設과 다이제스터 높이의 2분의 1을 地上에 露出시키는 두가지 方法을 採擇하였다.

위에서 指定한 範圍는 어느程度 任意性이 있으며 더 變化시킬 수 있는 可能性을 가지고 있으나 實驗施設의 制限을 받게 된다. 위의 파라메타 범위에 따라서 模型 다이제스터의 設計가 이루어지고 解析的 方程式中의 파라메터인 熱傳導係數 및 境界條件의 一部가 物理的인 常數로서 指定되는데 具體的인 값은 다음의 數値解析에서 論할 것이다.

또 하나의 假定으로서는 實驗의 目的에 符合하기 위하여 實際의 다이제스터 操作에 必要한 여러가지 設計를 省略하고 傳熱特性을 測定하는데 必要한 限度로 制限했으며 液體도 單純化하여 물로 代用하도록 하였다.

2. 數値解析

1) 有限要素法과 電算프로그램

解析的인 方法으로 주어진 條件下에서 탱크周邊의 温度分布와 熱損失量을 推定하기 위하여 選定된 方程式을 주어진 境界條件의 複雜性 때문에 순수한 解析的인 方法으로 方程式을 풀기가 困難하다. 그러나 數値解析法의 하나인 有限要素法의 應用과 數値 計算過程의 콤퓨터 프로그램化가 可能하므로 이를 採擇하였다.

有限要素法을 適用하면 方程式(1), (2), (3), (4)를 組合하여 要素方程式을 만들 수 있고 이를 電算프로그램으로 만들 수 있으며[2] 電算프로그램을 만

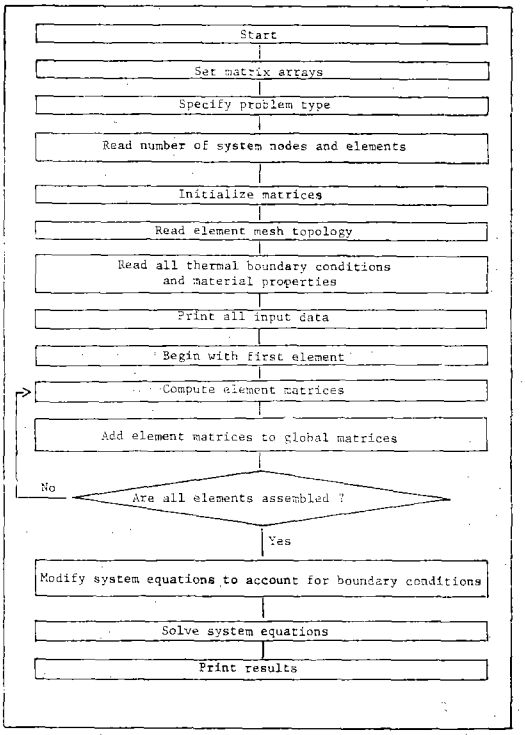

Fig. 3. Flow chart for computer program.

들기 위한 Flow Chart는 Fig. 3과 같다.

2) 入力資料의 推定

주어진 電算프로그램[10]을 利用하여 다이제스터의 周邊溫度分布와 熱損失量을 計算하기 위해서는 시스템의 特性과 境界條件을 나타내는 入力資料를 주어야 한다.

이 프그램은 二次元 問題와 軸對稱 三次元 問題를 選擇的으로 풀 수 있게 되어 있으므로 本硏究에서는 三次元을 選擇하는 入力信號를 주면 된다. 이 프로그램은 또한 三角形要素를 使用하는 것을 전제로 하였으며 이에 따라 설계된 네가지 기하학적인 모양에 대하여 Fig.4(a) 및 Fig. 4(b)에서 보는 바와 같은 要素網을 形成하였고 이에 따른 節點數와 要素數가 入力資料로 들어가게 된다.

要素網을 만들때 境界線의 設定은 다이제스터 壁으로 부터 수평거리 40cm, 70cm, 100cm에서 잘라서 試圖하였으며 70cm 거리에서 자르는 것이 充分하다는 것을 確認하였다. 各點의 座標와 各要素에 關聯되는 節點番號도 入力資料로 들어간다.

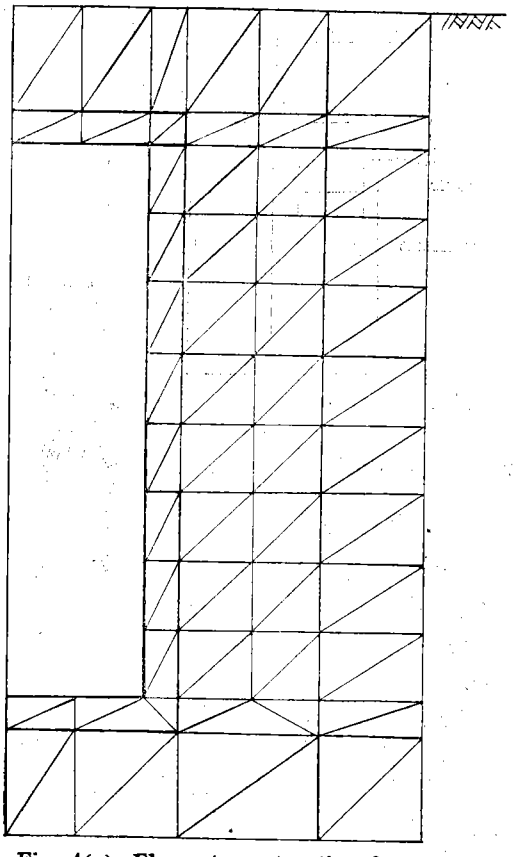

Fig. 4(a). Element construction for underground digester.

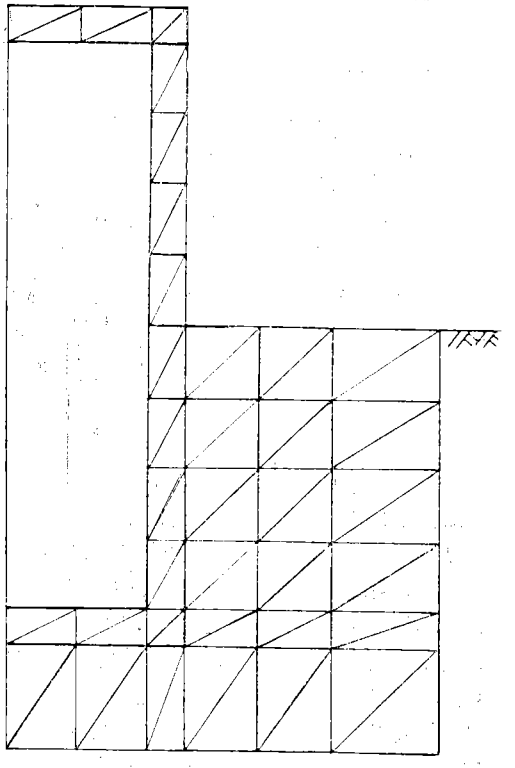

Fig. 4(b). Element construction for half-exposed digester

溫度가 旣知인 各點의 번호와 그 溫度는 境界條件의 一部로서 入力資料가 되는데 다이제스터의 調節溫度, 잘려진 경계의 地溫分布가 旣知溫度値로서 들어간다.

各 要素의 內部熱 發生은 零이 된다. 熱傳導係數의 推定値는 지금까지 알려진 資料로 부터 推定한 값을 使用하였는데 그 값들은 Table-2에 나타나 있다.

Table-2. Estimated values of thermal conductivity[4,8]

materials	thermal conductivity
Plain concrete	1.1 Kcal/hr m°C
Vermiculite mixing in con.	0.6
Soil	1.5
Round cover filled with vermiculite	0.04

Ⅲ. 實驗材料 및 方法

1. 實驗對象 다이제스터

解析的 方法에서 提示한 假定을 滿足하는 模型 다이제스터로서 Table-3과 같은 6개의 콘크리트 탱크를 選定分類하였다.

Table-3. Classification of digesters used for experiment

Size Diameter ×Height	Plain concrete		Vermiculite mixing in concrete	
	Underground	Half-exposed	Underground	Half-exposed
40cm×80cm	1			
80×160	1	1	1	1
100×200	1			

보통 콘크리트는 시멘트, 모래, 자갈의 용적비율을 1 : 2 : 4로 하고 물, 시멘트 비를 60%로 하였다. 질석 콘크리트는 斷熱材로 사용되는 질석을 시멘트 모래, 자갈, 질석의 용적비율을 1 : 1 : 1 : 3으로 하고 물, 시멘트 비를 70%로 하여 비빈 콘크리트이다. 모든 탱크의 뚜껑은 실험의 편의상 圓形板材 사이에 질석을 充塡하여 만들었다. 뚜껑은 탱크와 密着覆蓋하고 함석 테두리로 둘레를 封하였다. 탱크의 크기 및 埋設狀態를 그림으로 표시하면 Fig. 5와 같다.

2. 測定器具

温度測定器具는 抵抗式 센서와 自記記錄裝置를 導線으로 連結한 시스템을 使用하였다. 센서는 白金測温抵抗體를 金屬保護管에 넣은 것으로서 日本 지노 會社製 R 10-1型(100Ω)이고 測温範圍는 −60 ~100°C이다.

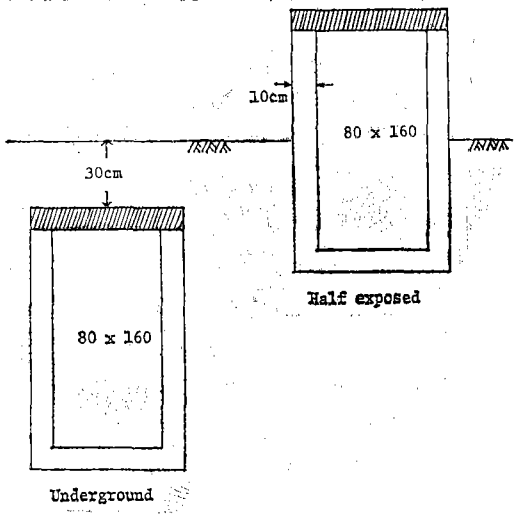

Fig. 5. Sectional view of digester installation.

自記記錄裝置는 日本 지노會社의 EW Series Electronic Self-Balancing Recorder로서 記錄範圍 −20 ~50°C, 精度는 ±0.5%, 12點 및 6點 記錄用이고 챠트速力은 25mm/hr 또는 50mm/hr이다.

다이제스터 內의 温度 調節裝置는 서미스터(Thermister)에 依한 自動温度 調節 시스템을 使用하였다. 温度調節을 위한 加熱은 電氣히터(容量 3Kw)를 使用하였다. 入力 電力量을 測定하기 위하여 市販 計數式 보통 積算電力計量器를 使用하였으며 그 精度는 0.1Kwh이다.

實驗用 다이제스터 및 센서配列 및 測定器의 系統圖는 Fig. 6에 表示하였다.

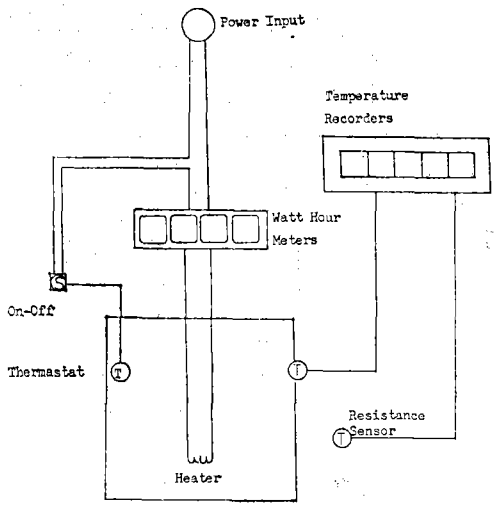

Fig. 6. Schematic diagram of temperature measuring and control system.

3. 實驗過程

解析的過程에서 假定評價한 選定條件에 따라 設計된 6개의 탱크에 對하여 다음과 같은 調節을 施行하면서 經時的으로 温度와 入力熱量을 測定하였다.

(1) 內部温度는 35°C, 30°C, 25°C, 20°C, 15°C로 變化시켜 調節하였다. 各 温度의 調節期間은 7日~15日로 하였는데 이는 定常的 熱흐름의 狀態를 얻는데 充分한 期間이었다.

(2) 各調節內部 液温下에서 다이제스터 外壁의 温度 1~2個點, 外壁으로부터 70cm 水平거리에 있

는 鉛直線上에 1~2個點을 選定하여 溫度를 測定하였고 外氣溫도 동시에 測定하였다.

(3) 完全히 孤立된 地點을 擇하여 地表面下 1.5 m에서의 地溫을 測定하였다.

(4) 溫度 調節을 위한 加熱器는 탱크바닥에 가까이 設置하여 對流現象에 의하여 탱크內 液溫이 最大限 고르게 되도록 하였다.

(5) 加熱入力 電力量은 6時間마다 電力量計의 計數를 읽어서 測定하였다.

(6) 모든 測定은 1978年 11月 10日부터 1979年 2月 10日까지 水原市 서울大學校 農科大學에서 實施하였다.

Ⅳ. 結果 및 考察

1. 結 果

모든 實驗的 測定의 結果는 境界條件의 提示에 必要한 값들과 주어진 條件下에서 推定式에 依하여 計算된 結果와 比較하기 爲한 溫度分布狀況 및 熱損失量들로 구성되어 있다. 따라서 結果의 說明은 주어진 目的에 따라서 項目別로 考察하면서 提示하고자 한다. Fig. 7-1(a), 7-2(a)… 등은 앞에서 說明한 推定方法에 依하여 計算된 溫度分布의 熱損失量을 選擇된 境界條件下에서 計算한 것이다. 또한 實驗에서 使用된 對象의 파라메터別로도 表示되어 있다. 여기에 주어진 것은 液溫 35°C에 對한 것이고 全體的인 結果의 表示는 省略되었다[10]

各 Fig. 7에 使用된 略號의 뜻은 다음에 表示한 바와 같다.

PU : Plain concrete Underground

VU : Vermiculite concrete Underground

PE : Plain concrete Half-exposed

VE : Vermiculite concrete Half-exposed

40×80, 80×160, 100×200은 各各 지름×높이로 表示되는 탱크의 內部치수를 cm로 나타낸 것이다. 선정된 경계조건은 Fig.에 나타난 숫자로서 表示되어있다.

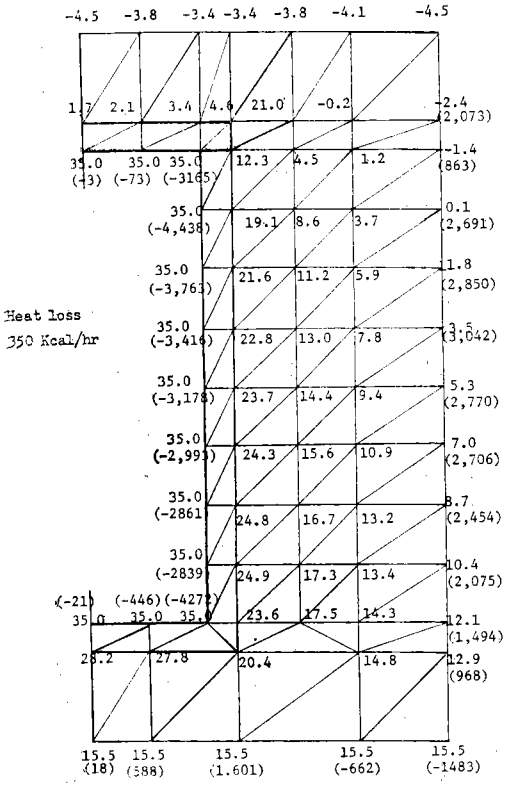

Fig. 7-1(a). PU 80×160, 35°C

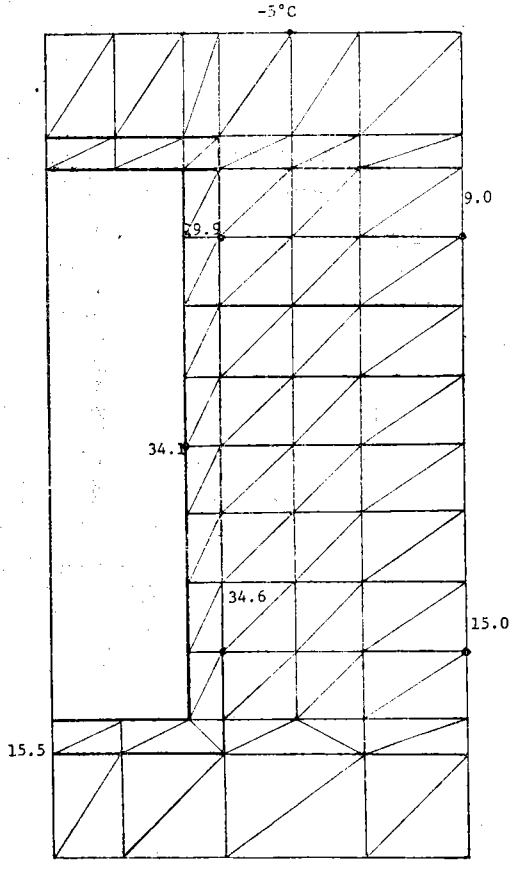

Fig. 7-1(a'). PU 80×160, 35°C

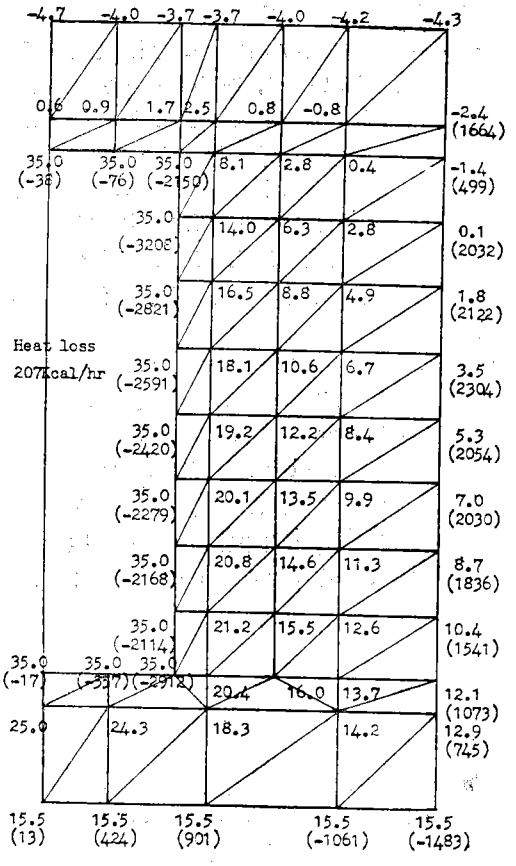

Fig. 7-2(a). VU 80×160, 35°C

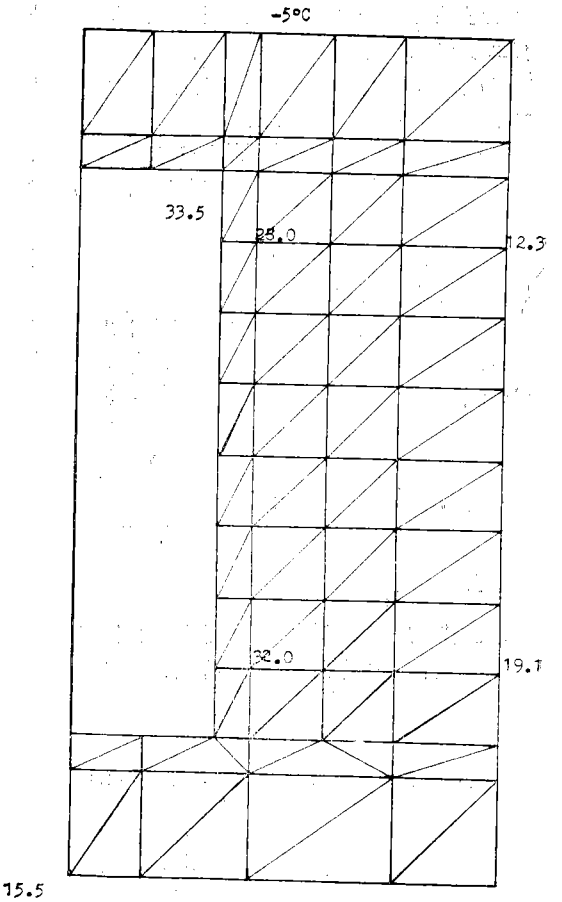

Fig. 7-2(a′). VU 80×160, 35°C

各 Fig. 7의 斷面上의 各節點에 表示된 것은 그 點의 温度값을 °C로 나타낸 것이고 境界線上의 各節點에는 平均 熱흐름量의 指標인 $\bar{r}q$의 값이 ( )內에 表示되어 있다. 이 값들의 단위는 Kcal cm/hr로 되어있다. 이 값들로부터 計算된 熱損失量(Kcal /hr)이 各 Fig.의 다이제스터 內部에 表示되어 있다

Fig. 7-1(a′), 7-2(a′)… 등은 實測温度 分布를 나타낸 것이다. Fig. 7의 각각의 左下에 表示한 값은 같은 時刻에 있어서 地表面下 1.5m 地點의 地温에 해당하는 것이다.

탱크內의 液温을 유지하기 위하여 消費된 熱量의 測定値는 Kcal/hr로 表示할 수 있고 이것은 比較考察하는 項目에서 說明하겠다.

2. 考 察

1) 温度分布의 比較

温度分布의 推定値를 實測値와 比較하기 위하여 各 다이제스터에 對한 推定値와 實測値의 較差의

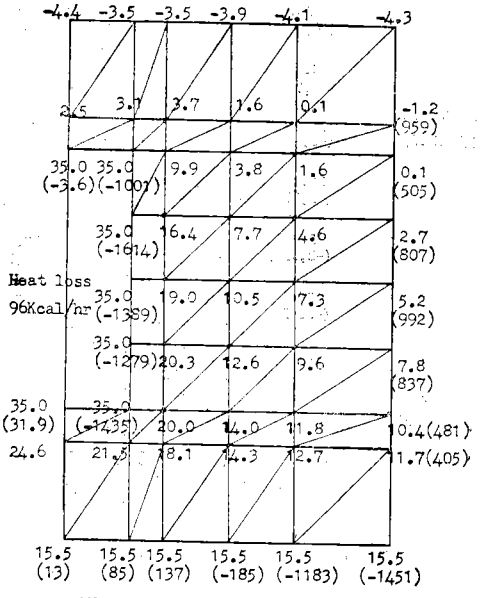

Fig . 7-3(a). PU 40×80, 35°C

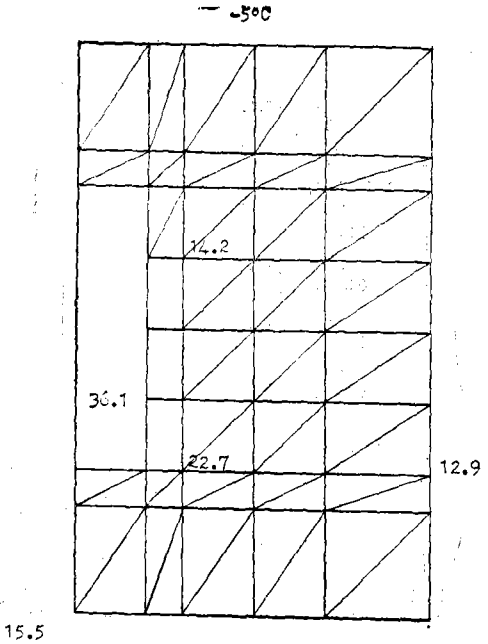

Fig. 7-3(a'). PU 40×80, 35°C

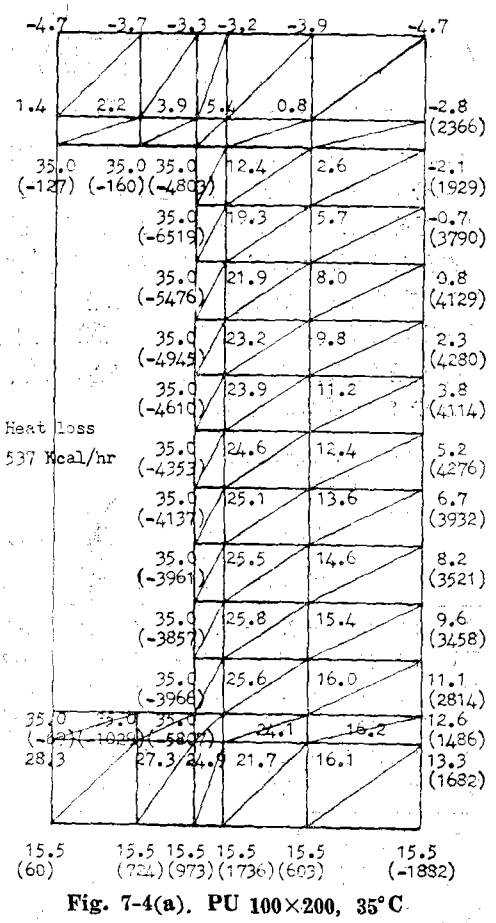

Fig. 7-4(a). PU 100×200, 35°C

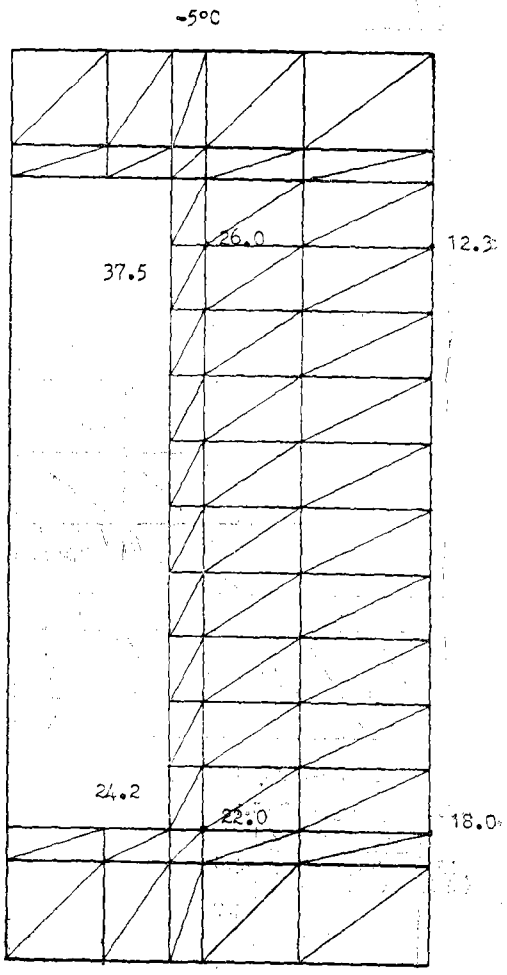

Fig. 7-4(a'). PU100×200, 35°C

平均値를 綜合한 結果는 Table-4에 表示되었고 이것을 다시 液温과 外氣温의 差의 變化에 따라 그 變化傾向을 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8에서 볼 수 있는 바와 같이 液温과 外氣温의 隔差가 가장 작은 20°/12°C의 경우와 40×80다이제스터이 경우를 비롯하여 大體로 推定値는 實測値와 近接함을 알 수 있다. 그러나 外氣温이 相對的으로 낮은 −12°C 및 −6.5°C의 경우는 推定値와 實測値의 較差가 急增하는 것으로 나타났다. 即 推定値가 實測値보다 낮아지는 値向을 보이고 있다.

温度分布에 있어서 이와같이 推定値가 實測値에 比하여 相當히 낮게 나타내는 경우가 생기는 것은 境界面으로 採擇한 鉛直圓柱面上의 温度分布의 假定과 數値解析에서 取한 材料의 熱的 파라메터에 關係가 있는 것으로 思料된다. 即 境界面의 鉛直温

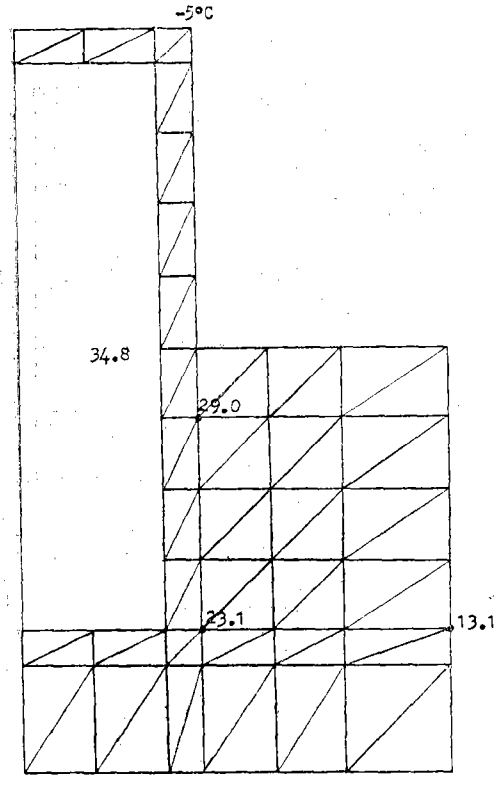

Fig. 7-5(a). PE 80×160, 35°C

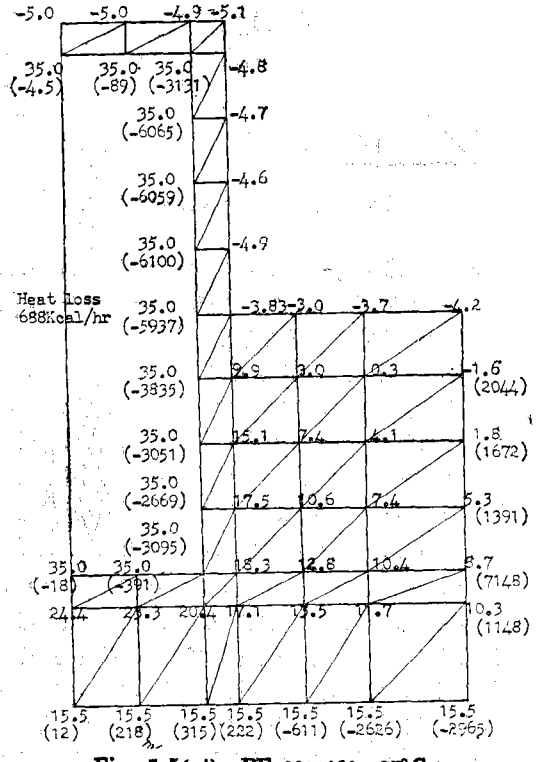

Fig. 7-5(a'). PE 80×160, 35°C

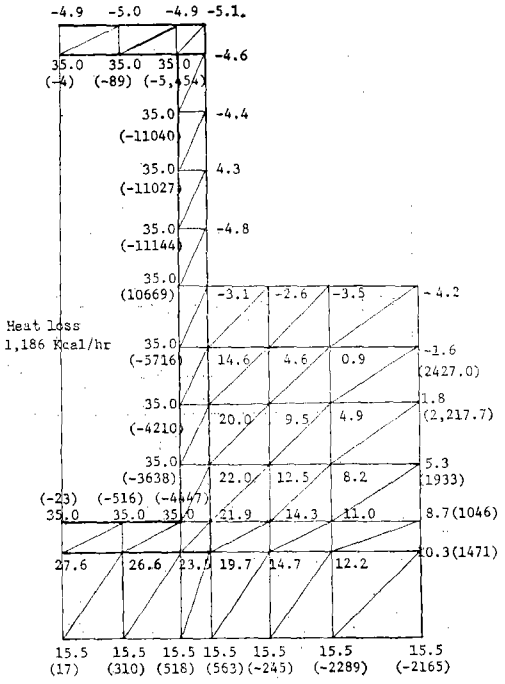

Fig. 7-6(a). VE 80×160, 35°C

度分布를 單純히 直線的인 變化로 假定하는 것보다는 더욱 現實에 가까운 資料를 얻어서 代替하는 것이 바람직하다. 또한 本 硏究에서는 土壤의 熱傳導係數를 1.5kcal/hr m°C를 取하였는데 이는 0.5~1.5의 값 中에서 가장 不利한 값으로 取한 結果이다. 따라서 境界 條件의 現實化와 熱傳導係數情報의 變化에 의한 模擬計算에 의하여 보다 나은 推定値를 얻을 수 있을 것으로 思料된다.

Table-4. Average differences in temperature distribution (estimated-observed)

		Temperature range(liquid/air)°C				
		35°/−5°	30°/−5°	25°/−12°	20°/12°	15°/−6.5
PU	80×160	−8.4	−6.7	−8.6	−0.23	−5.5
VU	80×160	−11.43	−11.7	−13.3	−1.9	−8.6
PU	40× 80	−1.0	−1.3	−3.1	+1.1	−0.43
PU	100×200	−5.7	−9.2	−10.6	−0.9	−3.75
PE	80×160	−6.7	−6.0	−9.9	−1.43	−5.5
VE	80×160	−5.8	−6.57	−16.5	−2.6	−9.2

2) 等溫線圖의 分布

다이제스터 周邊의 溫度分布値를 土台로 하여 等溫線圖를 만들어 본 結果, Fig. 9(a) 및 Fig. 9(b)

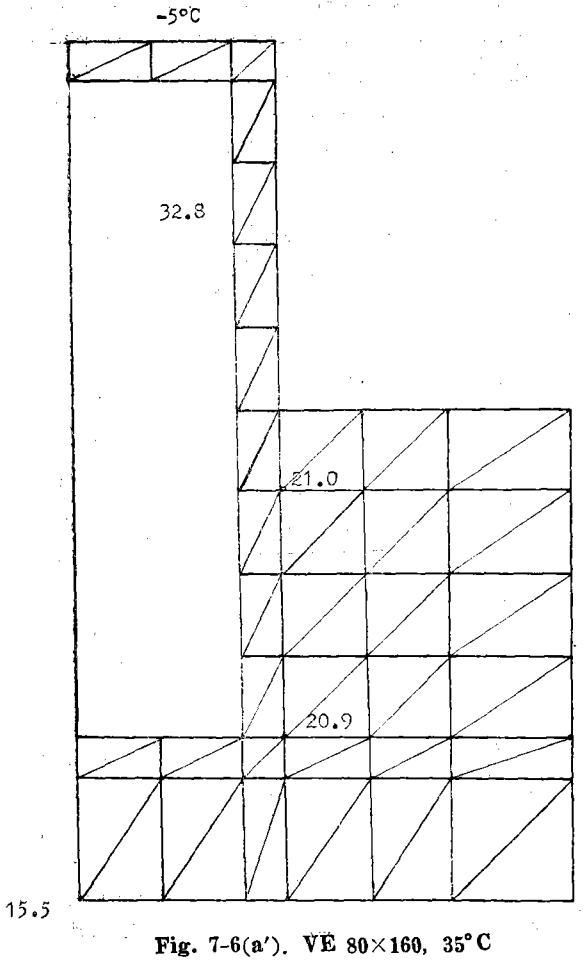

Fig. 7-6(a'). VE 80×160, 35°C

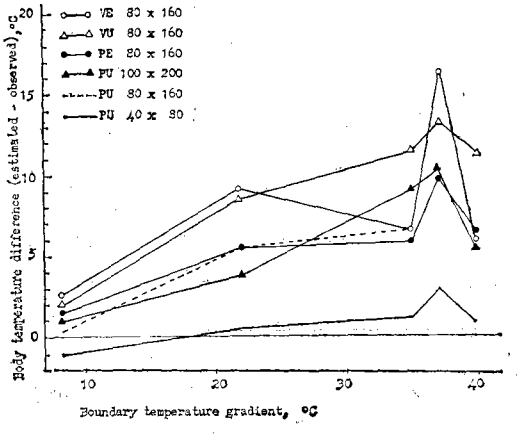

Fig. 8. Relation between boundary temperature gradient and body temperature differences (estimated-observed)

를 얻었다. 이들 等温線圖는 熱흐름의 原理에 依하여 熱흐름의 方向과 率을 推定하는데 利用될 수 있다. Fig. 9(a)로부터 쉽게 알수 있는 것은 다이제스터의 熱損失量의 大部分이 다이제스터의 外壁과 壁底部에 45°C 以內의 角度를 이루는 傾斜線과 地表面으로 만들어지는 三角形部分으로 通過하여 地表面으로 흘러감을 알 수 있었다. 極히 一部의 熱흐름은 다이제스터 底板을 通하여 地中으로 向하고

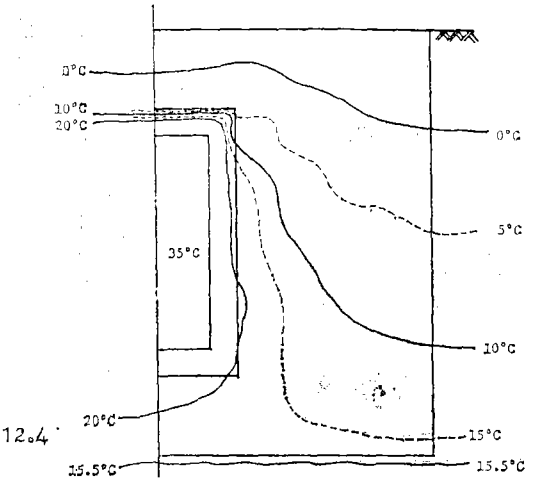

Fig. 9(a). A map of isothermal lines (underground)

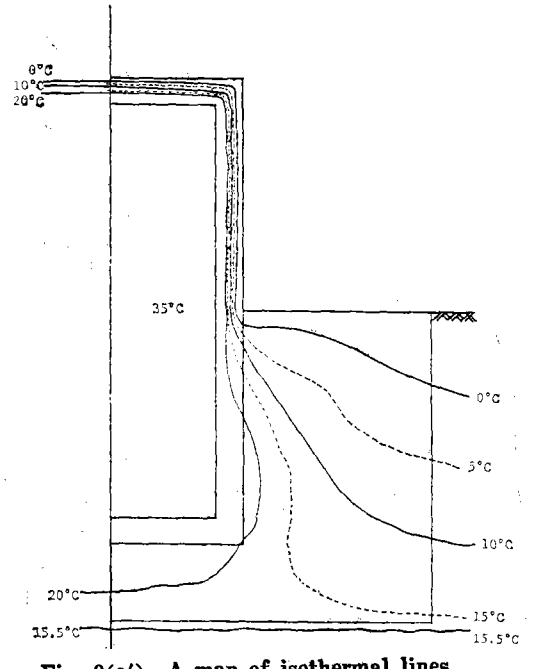

Fig. 9(a'). A map of isothermal lines (half-exposed)

있음을 보여주고 있다.

이와같은 等温線度의 分布으로부터 判斷할때 다이제스터의 어떠한 保温設計도 위에서 言及한 三角形部分에 重點을 두는 것이 바람직하다고 본다.

Fig. 9(b)에 表示한 半露出·다이제스터에 對한 等温線의 경우도 地中埋設部分에 對해서는 같은 說明이 適用됨을 알수 있다.

3) **熱損失量**(推定値와 實測値)

다이제스터로부터 損失되는 熱量의 推定値와 實測値를 比較하기 위하여 Table-5에 整理하였다. 推定値와 實測値의 較差의 實測値에 對한 比率을 液温과 外氣温과 温度傾斜에 따라서 그 變化를 나타낸

Table-5. Comparson of amount of heat losses(Kcal/hr)

			Estimated value	Observed value	Difference	%
35°C	PU	40×80	96.0	104.7	−8.7	8
(−5°C)	PU	80×160	350.0	336.5	13.5	4
	PU	100×200	537.0	—	—	—
	VU	80×160	257.0	241.9	16.0	7
	PE	80×160	1186.0	820.3	366.0	45
	VE	80×160	688.0	618.1	70.0	11
30°C	PU	40× 80	89.0	83.7	5.3	6
(−5°C)	PU	80×160	324.0	191.7	132.3	69
	PU	100×200	494.0	185.0	309.0	167
	VU	80×160	237.0	231.2	5.8	3
	PE	80×160	1046.0	513.3	532.7	104
	VE	80×160	607.0	402.0	205.0	51
25°C	PU	40× 80	84.0	56.3	27.7	49
(-12°C)	PU	80×160	303.0	—	—	—
	PU	100×200	465.0	62.2	402.8	648
	VU	80×160	223.0	—	—	—
	PE	80×160	1087.0	442.8	644.2	145
	VE	80×160	629.0	353.0	276.0	78
20°C	PU	40×80	46.0	45.5	0.5	1
(12°C)	PU	80×160	91.0	141.1	−50.0	35
	PU	100×200	172.0	97.5	74.5	76
	VU	80×160	81.0	114.2	−33.2	29
	PE	80×160	261.0	231.0	30.0	13
	VE	80×160	152.0	191.0	−39.0	20
15°C	PU	40× 80	43.0	28.7	19.3	50
(-6.5°C)	PU	80×160	140.0	—	—	—
	PU	100×200	188.0	—	—	—
	VU	80×160	114.0	76.4	37.5	49
	PE	80×160	630.0	208.9	421.1	202
	VE	80×160	358.0	198.0	160.0	81

것이 Fig. 10에 表示되어있다. 여기서 보는 바와 같이 熱損失量에 있어서도 推定値와 實測値의 較差의 傾向은 温度分布의 경우와 마찬가지로 外氣温이 相對的으로 낮을때 그 값이 크다는 것을 알 수 있고 그 要因도 마찬가지로 推論할 수 있었다.

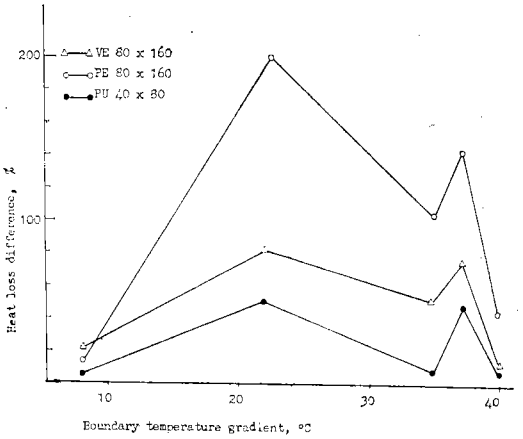

Fig. 10. Relation between boundary temperature gradient and heat loss difference (estimated-observed)

4) 다이제스터의 크기에 따른 比較

보통 콘크리트의 탱크가 地下에 埋設되었을 경우 탱크의 크기에 따라 實測 熱損失量을 정리한 것은 Table-6과 Fig. 11에 나타나 있다. Fig.11에서 보는 바와 같이 탱크의 규모가 클수록 單位體積當·熱損失量은 液温 35°C의 경우 0.1m³의 規模의 다이제스터에 對한 1,050 kcal/hr m³으로 부터 1.57m³ 規模의 150 kcal/hr m³까지 현저하게 減少되는 傾向을 보여주었다. 이는 全體 液體의 다이제스터 壁과의

Table-6. Heat loss per unit volume for three different sized digesters, Kcal/hr.m³

	PU 40×80 V=0.1m³	PU 80×160 V=0.80m³	PU 100×200 V=1.57m³
35°C	985	334	197
	1047	417	62
	1122	322	219
30°C	679	358	167
	837	235	117
	904	—	134
25°C	563	—	40
	—	—	—
	—	—	—
20°C	455	175	62
	455	201	62
	412	168	52

接觸面積과 體積의 比가 다이제스터의 規模가 커질수록 작아지기 때문인 것으로 쉽게 理解할 수 있고 이것이 實驗에 依하여 如實히 立證된 것이다.

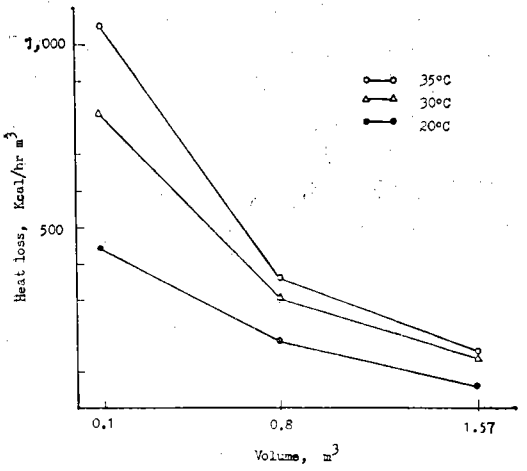

Fig. 11. Heat loss per unit volume for three different sized digesters.

5) 蛭石處理의 効果

斷熱材의 하나인 蛭石을 콘크리트에 混合하여 蛭石콘크리트로 다이제스터를 만든 경우에 보통 콘크리트와 斷熱効果를 對比시킨 것이 Table-7에 表示되어 있다. 蛭石處理의 斷熱効果가 一貫的으로 나타나고 있고 또한 半露出 다이제스터에서 熱損失量의 減少가 5~25%, 地下埋設의 경우 10~28%로서 뚜렷하게 나타났다. 이는 蛭石을 混合함으로써 다이제스터壁體의 熱傳導係數를 어느 정도 減小시킬 수 있다는 目的에 符合한 것이었다.

Table-7. Comparison of Heat Losses, plain concrete vs. vermiculite concrete

	Liquid temperature °C	Heat loss kcal/hr	
		Plain	Vermiculite
Underground	35	337	242
	30	283	255
	25	—	—
	20	141	114
	15	—	—
Half-exposed	35	820	618
	30	513	402
	25	443	353
	20	231	191
	15	209	198

6) 다이제스터의 地上露出程度의 影響

다이제스터를 地中에 完全 埋設한 경우와 地上에 半露出시킨 경우의 熱損失量을 比較한 것이 Table-8에 나타나 있다. Fig. 12에서 보면 地下埋設과 地上露出 경우의 熱損失量 差異를 더욱 明白히 볼 수 있는데 地上露出 다이제스터에 對한 熱損失量은 地下埋設의 값의 1.6~2.6倍로 나타난다. 이는 冬季低溫期에 있어서는 地中埋設에 依한 地層의 斷熱効果를 充分히 利用할 수 있다는 것을 말해 주는 것이다.

Table-8. Comparison of heat losses, Underground VS. Half-exposed

Temperature	Heat loss, Kcal/hr	
	Underground	Half-exposed
35°C	337	820
	242	618
30°C	192	513
	231	402
25°C		—
20°C	141	231
	114	191
15°C	115	162

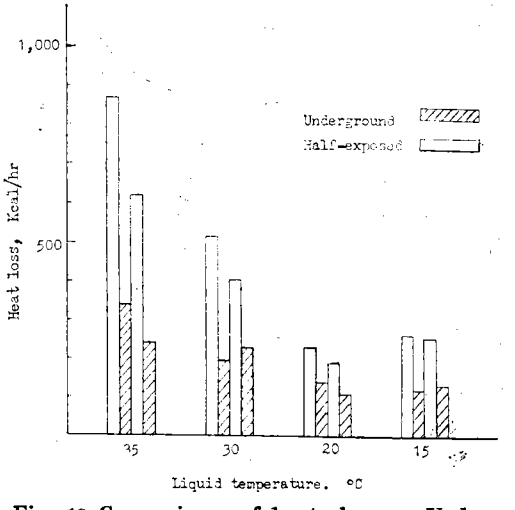

Fig. 12 Comparison of heat losses, Underground VS. Half-exposed.

V. 摘要 및 結論

本硏究는 生物개스 發生시스템의 主要部分인 地下埋設圓筒形콘크리트 다이제스터 周邊의 温度分布와 熱損失量을 推定할 수 있는 方法을 開發하고

이 方法의 有效性을 實測에 依하여 檢定하고져 하였으며 同時에 다이제스터의 材料, 크기, 埋設狀態와 같은 設計파라메터 變化에 따른 熱損失量의 變化를 究明하고져 하였다.

本硏究에서는 圓筒形 콘크리트 다이제스터를 物理的 模型으로 定하고 이에 對한 熱平衡의 數學的 模型을 利用하여 몇 개의 境界條件과 物理的 파라메터 變化에 따른 溫度分布를 有限要素法을 適用하고 電算프로그램을 利用하여 分析하였다.

實驗中 다이제스터의 物理的 파라메터는 크기를 直徑과 높이로 表示할때 40cm×80cm, 80cm×160cm, 100cm×200cm의 세가지를 선택하였고, 斷熱材의 效果를 究明하기 위하여 보통 콘크리트와 蛭石 콘크리트를 比較하였으며, 다이제스터의 完全地中 埋設과 半露出에 對한 熱損失을 比較하였다.

다이제스터의 液體는 本 硏究의 特殊目的을 達成하기 위하여 물로 代用하였으며 液溫은 35°C, 30°C 25°C, 20°C, 15°C의 水準으로 變化시켰고 大氣溫과 地溫은 冬季 自然條件下에서 測定하였다.

以上과 같은 硏究에서 얻은 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 圓筒形 다이제스터의 周邊의 溫度分布의 解析的 方法에 依한 推定値와 實測値를 比較할 때 一般的으로 解析的 方法의 有用性을 認定할 수 있었다. 그러나 外氣溫이 낮을 때는 推定値와 實測値의 較差가 크게 增加하는 傾向을 나타내었는바 이는 數値解析에 適用된 土壤의 熱傳導係數를 비롯한 諸파라메터의 入力値의 不正確性에 起因되는 것으로 思料된다. 따라서 正確한 推定値를 얻는 接近 方法으로서는 이들 入力値의 補完을 通한 模擬演算이 期待된다.

2. 熱損失量의 推定値와 實測値의 較差는 溫度分布의 較差와 비슷한 變化傾向을 나타내었다.

3. 推定된 等溫線圖는 熱傳達의 方向과 熱傳達率의 槪況을 把握하는데 極히 有用한 方法이라고 판단되었다. 이 分析을 通하여 大部分의 熱損失量은 다이제스터의 底面外線에서 鉛直壁과 45度 以內의 범위에서 地表面 方向으로 이루어진다는 것을 판단할 수 있었다. 따라서 다이제스터의 어떤 效果的인 保溫處理도 이 範圍內에서 表示되는 것이 바람직하다고 하겠다.

4. 다이제스터의 規模가 클수록 單位體積當 熱損失量이 적다는 것이 實驗的으로 立證되었으며 例컨대 다이제스터의 液溫이 35°C인 경우 熱損失量은 0.1m³의 規模에 對한 1,050 kcal/hr m³로부터 1.57 m³의 規模에 對한 150kcal/hr m³ 까지로 현저하게 減少하였다.

5. 보통 콘크리트 다이제스터에 對한 蛭石콘크리트의 斷熱性을 比較하였든바 後者의 斷熱效果가 一貫的으로 나타났다. 그 斷熱效果는 液溫 15~35°C 범위에서 半露出 다이제스터인 경우 5~25%였고 完全埋設 다이제스터의 경우 10~28%로 나타났다.

6. 半露出과 地下埋設 다이제스터의 熱損失을 比較할때 前者가 後者의 1.6~2.6倍로 크게 나타났으며, 다이제스터 保溫側面에서 보면 地下埋設이 相對的으로 有利함을 立證하였다.

參 考 文 獻

1. Hahn, S. K., 1971, Research on the methods to stimulate the generation of mathane gas during a period of low temperature, Report STF-70-18 to the Ministry of Science and Technology, Korea
2. Huebner, K.H., 1974, The Finite Element Method for Engineers, John Wiley and Sons Inc.
3. McCarty, P.L., 1964, Anaerobic Waste Treatment Fundamentals, Part two, Environmental Requirements and Control, Public Works for October, 1964
4. Penrod, E.B. and O.W. Stewart, 1967, Determining Thermal Properties of Soil and Periodic Transfer of Solar Energy in the Earth, Transactions of the ASAE Vol. 10, No.3
5. Pyle, D.L., 1976, Technical Options in Anaerobic Digestion: A Background Paper, Prepared for IDRC, Department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College, London SWJ, England
6. Schneider, P. J., 1974, Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley Publishing Company, Reading Massachusetts.
7. Thompson, L.H. and J.H. Beaumont, 1974, Report on A Visit to Korea, 17 August-12 September, 1974, Tropical Products Institute, Ministry of Overseas Development, London
8. 小原俊平, 1974, 建築の熱設計, 鹿島出版會
9. 管原管雄, 1976, 熱管理計算法, 日本產業圖書
10. 金文基, 1979, 生物개스 發生시스템을 위한 地下埋設콘크리트 다이제스터의 熱傳達에 關한 硏究, 農學博士學位論文, 서울大學校 大學院