

엔진의 熱的環境을 豫測하는 技術開發에 關한 提言

Suggestion for Technical Development Predicting
Thermal Environment of Engine

李 載 淳*李 在 憲**

Jae-Soon Lee · Jae-Heon Lee

一. 序 言

전자계산기의 급격한 발달로 비선형방정식의 해가 쉽게 구해짐에 따라 이 方面의 研究가 刮目할 만한 進前이 이루어졌다. 傳導(Conduction)問題의 解는 연습문제화 되었고 對流(Convection)문제도 單相은 勿論 二相問題나 또는 氣·液·固體의 三相問題으로의 점점 複雜한 問題의 解도 可能하게 되었다. (1~5)

전자계산기도 그 용량이나 速度가 빨라짐에 따라 계산비용이 증가해지는데 한편 解를 求하는 algorithm도 소형computer의 적은 기억용량으로도 쉽게 解를 求할 수 있는 program이 속속 개발되고 있는 실정이다. (6~7)

따라서 실측실험이 不可能한 영역이나 또는 가능하다 하여도 막대한 비용이 드는 경우에는 우선 수치계산으로 그 결과를 예측하여 설계나 product improvement을 기해 보는 것이 바람직하다고 사료되어 三相이 共存하는 複雑한 영역의 열전달문제에 대한 수치연구 과정의 例로서 이야기 해보고자 한다.

二. 計算基本概念

解를 求하려고 하는 問題의 종류에 따라 그 지배방정식이 相異할 것이다. Fig.1에서 보는

바와 같은 自然對流問題를 例로 삼아 基本概念을 설명하여 보겠다. 지금 定常-2次元 현상을 생각하여 보면 1個의 연속방정식, 2個의 운동량방정식과 1個의 에너지방정식이 동원되며 무차원화 시킨 방정식들은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

$$C_1 \frac{\partial u}{\partial t} + C_1 \left\{ \frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} \right\} = -\frac{\partial p}{\partial x} +$$

$$C_2 \left\{ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right\}$$

$$C_1 \frac{\partial v}{\partial t} + C_1 \left\{ \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} \right\} = -\frac{\partial p}{\partial y} +$$

$$C_2 \left\{ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right\} + C_3 T Gr_1$$

$$C_4 \frac{\partial T}{\partial t} + C_4 \left\{ \frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} \right\} = C_5 \frac{1}{Pr_1}$$

$$\left\{ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right\} + C_6 \frac{1}{Pr_1}$$

초기조건 및 경계조건은 다음과 같다.

$$\text{at } t = 0 \quad u = v = T = 0$$

$$\text{at walls} \quad u = v = T = 0$$

氣·液·固相의 各物質 경계조건에서의 열전

*正會員 建國大 工大 教授

**正會員 漢陽大 工大 副教授

도계수는 조화평균(harmonic mean) 값을 사용하였으며 각 물질구역에 대한 각 계수값은 다음과 같다.

계 수	액체(1)	기 체 (2)	고 체 (3)
C_1	1	ρ_2 / ρ_1	—
C_2	1	μ_2 / μ_1	∞
C_3	1	$(\rho\beta)_2 / (\rho\beta)_1$	—
C_4	1	$(\rho C_p)_2 / (\rho C_p)_1$	$(\rho C_p)_3 / (\rho C_p)_1$
C_5	1	K_2 / K_1	K_3 / K_1
C_6	0	0	$\dot{q} L^2 / K_1 \Delta T^*$

상기 방정식은 control volume formulation에 의하여 차분화되고 각 node점의 상의 종류에 상응한 상기 계수값의 적용으로 혼합영역에 대한 계산이 가능하게 된다.

三. 計算結果의 例 및 實驗結果

Fig.1과 같은 삼상이 공존하는 四角形密閉空間內에서의 自然對流에 관한 數值計算(1)과 實驗結果를 例로서 들어 보겠다. 計算을 위한 control volume generation은 Fig.2와 같이 하였다.

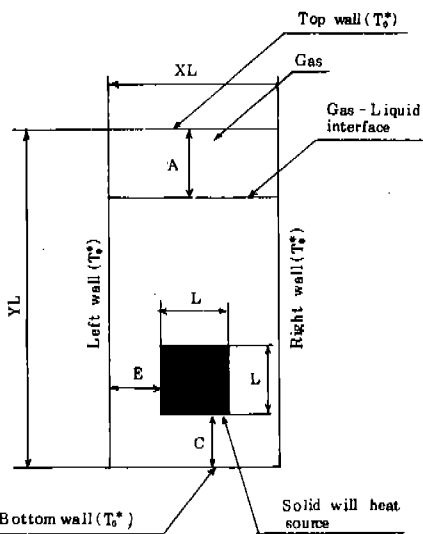


Fig.1 Schematics of present investigation

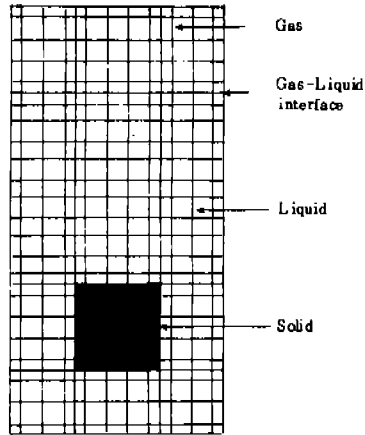


Fig.2 Subdivision of Computation domain

가. R_a 數의 影響

Isotherm과 Stream-line은 Fig. 3과 4에 각각 표시되어 있고 計算領域內의 最高溫度인 ΔT_{max} 와 液體區域에서 氣體區域으로의 傳熱量 Q_f 의 總發熱量 Q_g 에 對한 比인 Q_f / Q_g 의 R_a 數에 관한 計算값은 Fig.5와 6에 표시되어 있다.

나. $F_a (= A / YL)$ 의 影響

F_a 의 變化에 따른 Isotherm과 stream-line, ΔT_{max} 및 Q_f / Q_g 의 結果를 Fig.7~10에 表示해 두었다.

다. 實驗結果

實驗時(R_a 數 = 7.71×10^6 時)의 F_a 數에 따른 isotherm과 stream-line은 Fig. 11~13에 表示되어 있으며 이론계산결과와 상당히 좋은 일치를 보인다.

四. 應 用

가. 自動車엔진의 熱傳達計算에의 응용

엔진은 氣體相인 燃燒室, 液體相인 冷却水와 그 나머지는 固體相으로 이루어져 있다. 따라서 요구문제에 상응한 지배방정식과 경계조건들을 주면 高價의 비용으로 實測實驗을 하지 않아도 만족할 만한 結果를 예측할 수 있을 것이다. 또 모든 문제가 모두 實測이 가능한 것

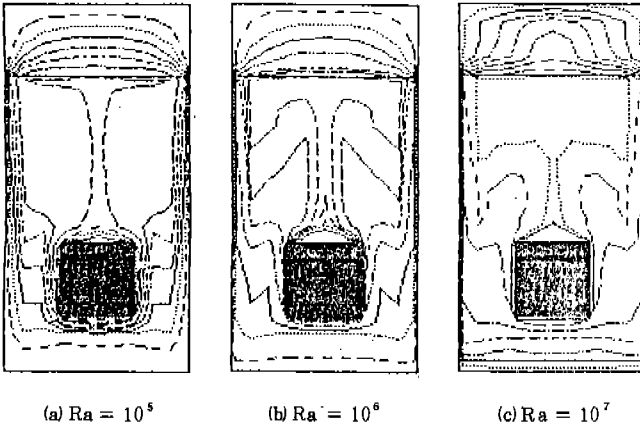


Fig. 3 Numerical isotherms

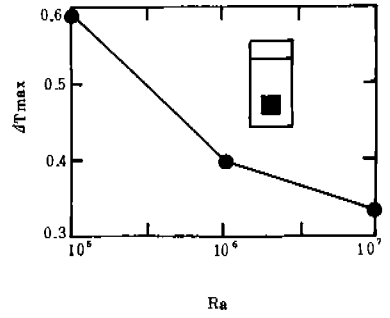


Fig. 5 Influence of Rayleigh number on the maximum temperature within the system

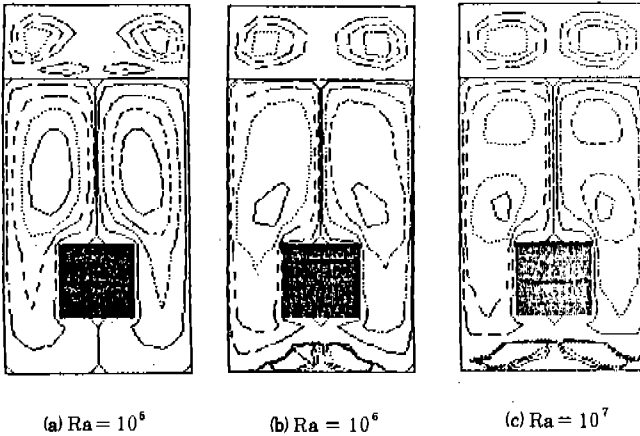


Fig. 4 Numerical Streamlines

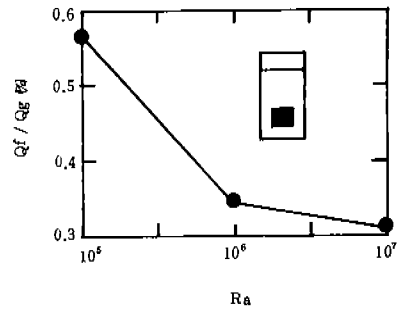


Fig. 6 Influence of Rayleigh number on the portion of heat transfer through gas-liquid interface

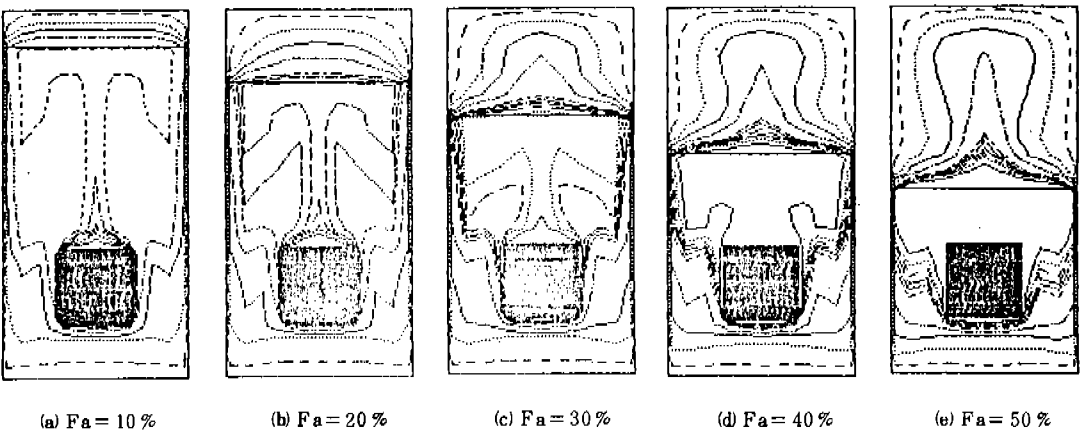


Fig. 7 Numerical isotherms

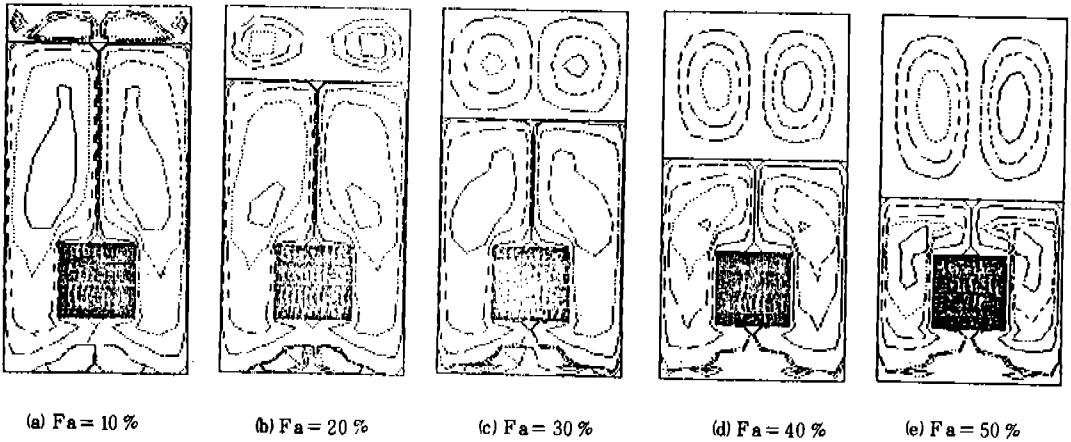


Fig.8 Numerical Streamlines

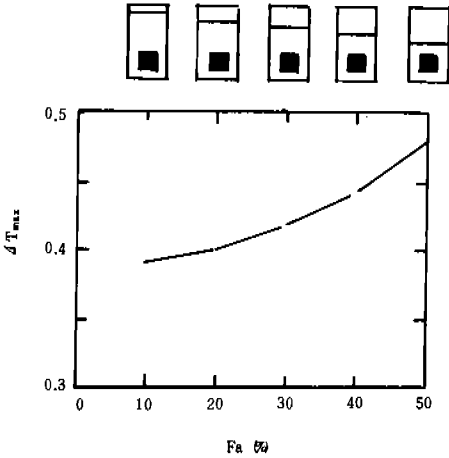


Fig.9 Influence of the gas-portion (Fa) on the maximum temperature within the system

만은 아니다. 특히 움직이는 부분의 溫度profile의 實測은 난이할 뿐만 아니라 實測에는 많은 비용이 들것이다.

운동중인 엔진의 열적환경을 이론적으로 예측하는 데는 큰 어려움이 있다. 물리적인 현상을 기술하기 위해서는 앞의 三相이 共存하는 영역에서의 자연대류를 기술하는 방정식에 각 화학량들의 연소방정식 및 밀도방정식 등이 추가되어야 하며 二相이상의 다상유체에 관한 연속 및 운동량, 에너지방정식도 요구된다. 아을

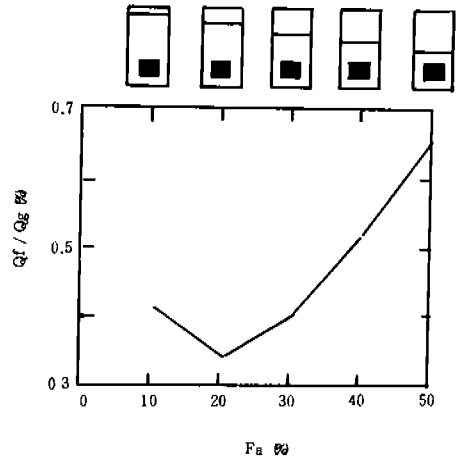
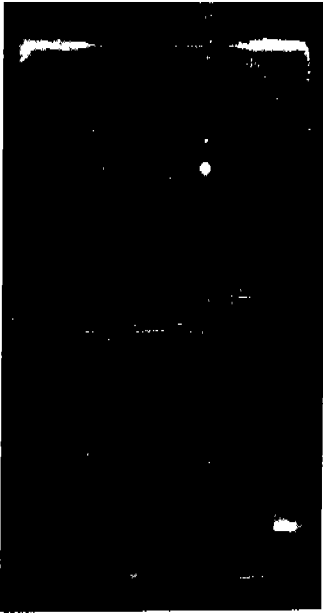
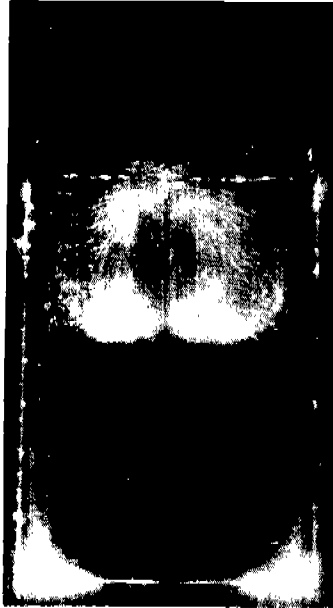
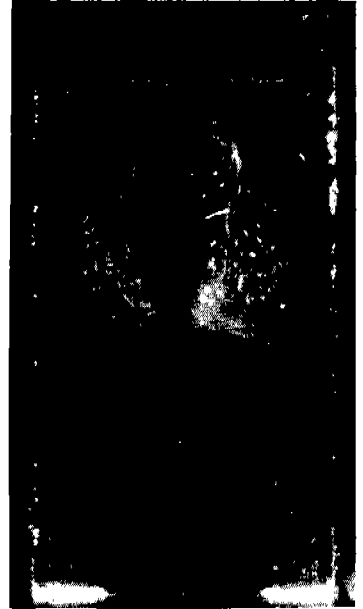


Fig.10 Influence of the gas-portion (Fa) on the portion of heat transfer through gas-liquid interface

러 난류유동을 기술하는 적절한 난류방정식도 요구된다. 엔진의 복잡한 현상을 기술하기 위하여서 비정규제어체적 (irregular control volume)의 배치가 필수적이며 엔진재질의 열팽창 및 운동중인 경계조건 (moving boundary condition)을 해결하기 위해서는 신축격자배치 (flexible grid distribution) 등의 기법이 요구된다. 근래의 수치기법발달에 의하면⁽⁵⁾ 상기 어려움이 대부분 해결되고 있다.

그의 디젤기관 연소실내의 유동해석도 적

Fig.11 $Fa = 50\%$ Fig.12 $Fa = 30\%$ Fig.13 $Fa = 10\%$

절한 난류모델선정과 연소방정식의 선택으로 계산이 가능할 것이다.

나. 其他 Engineering 에의 응용

實測이 불가능한 원자로의 안전문제에 관련된 노심부의 냉각문제, 화재시 화염가스의 건물내의 전파문제, clean room 문제 등 많은 실용문제의 예측과 각종 engineering 의 문제의 해결 등을 들 수 있을 것이다.

다. 實測值에 거의 버금가는 計算예측가능 moving boundary, two phase 문제, high compressible 유체의 거동 및 개선된 난류모델의 연구 등이 속속 처리되고 있고 또 국내에서도 活用될 단계에 있으므로 이와같은 것들을 계산에 적용하면 실측치에 버금가는 계산예측을 할 수 있을 것으로 사료된다.

五. 結 言

우리나라 자동차공업도 이제 수출주요산업으로 부상된 만큼 남의 나라의 설계의존성을 탈피하여 독자적인 연구개발을 위하여 기초분석 능력 배양을 활발히 키울 필요가 있다고 사료

된다. 특히 엔진의 열적환경에 관한 상세한 연구는 거의 전무한 형편이며 필요한 자료들은 거의 외국에 의존하고 있으므로 현재의 상황에서 부터라도 이에 관한 연구를 국내에서도 진행하여 이 분야의 고급기술에 관한 해외의존을 조금이라도 탈피하여야 할 것이다. 종래의 hardware 개발에 치중한 연구방향을 개선하여 국내에서 활동하는 이 분야의 소수 연구인력이라도 적극 활용하여 soft ware 적인 이러한 연구에 적극적인 관심을 기울여야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. 李載淳, 李在憲, "發熱體를 가진 2 流體 密閉空間에서의 自然對流", 秋季學術大會 抄錄集, 大韓機械學會, 1985.
2. J.H. Lee, "Natural Convection Heat Transfer and Flow Characteristics in a Square Enclosure with an Isolated-Heat Generating Innerbody", *Trans. KSME*, Vol. 8, No. 4, pp. 360-367, 1984.
3. E.M. Sparrow, P.C. Stryker, and M.A.

- Ansari, "Natural Convection in Enclosures with Off-Center Innerbodies", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 27, No. 1, pp. 49-56, 1984.
4. T. Nishimura, T. Takumi, H. Ozoe, and Y. Kawamura, "Numerical Analysis of Natural Convection in Rectangular Enclosures Horizontally divided into Fluid and Porous Regions", *21th Japan Heat Transfer Symposium*, pp. 580-582, 1984.
 5. T. Kimura, N. Heya, M. Takeuchi, and H. Isoni, "Natural Convection Heat Transfer in a Rectangular Enclosure Contained Fluids with Stratified Two Layers", *21st Japan Heat Transfer Symposium*, pp. 136-138, 1984.
 6. Lecture Panels for PHOENICS-84, Instruction Course, CHAM Ltd, 1985.
 7. S.V. Patanker, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Mc-Graw Hill, 1980.