

學士課程의 熱傳達教育*

◆ 工業教育部門委員會 譯 ◆

과거 30년 동안, 많은 새로운 技術로 熱傳達의 應用이 강화되었으며, 한편으로는 計算 및 測定 등의 技術發展으로 熱傳達의 實用化에 크게 영향을 끼쳤다. 이러한 진전으로 熱傳達 담당 교수는 교육에 있어 여러가지 선택을 하게 되었다. 즉, 熱傳達의 原理의 제시, 열시스템과의 관계 확립, 熱傳達 解析과 測定에 現代의인 方法의 教育에 있어 적절한 균형을 택하도록 되었다. 이 글에서는 초보적인 熱傳達에서의 合理的인 목표와 우선 순위를 제시하고자 한다. 최우선 순위는 학생이 기본 원리를 이해하고 이 원리를 熱시스템 設計 및 評價에 응용하는 技法을 강화하는 것이다.

1. 머리 말

熱傳達의 기원은 18세기로 거슬러 올라갈 수 있으나⁽¹⁾ 정착된 형태를 갖게 된 것은 19세기 후반에 이르러서였다. 이러한 발전은 動力 및 工程産業技術이 급속히 나타나면서 加速되었으며 19세기 말까지 초보적인 熱傳達는 많은 대학에서 제공한 學科目에 나타났다. 이러한 과목들은 전형적으로 蒸氣工學(steam engineering), 發電所工學(power plant engineering) 및 暖房과 換氣(heating and ventilation)의 이름을 사용하였으며 熱傳達의 내용은 대부분 經驗的인 것이었다. 20세기 초반을 지내며 熱力學 科目이 定

立됨으로써 더욱 발전하게 되었다.

앞에 저술한 活動이 重要的인 선구자적 역할을 하였으나 미국에서 熱傳達이 별도의 과목으로서 나타난 것은 1930年代와 1940年代였다. 이 時期는 이 분야가 工學技術(engineering art)로부터 기초원리에 기반을 둔 工學의 現代적인 형상으로 전환을 시작한 때이므로 대단히 重要하다. 이러한 전환은 東部에서는 W.H. McAdams, 中西部에서는 M. Jacob, 西部에서는 L.M.K. Boelter에 의하여 이루어졌다. 이들의 教材⁽²⁻⁵⁾는 미국 전체에서 1950年代까지 熱傳達에 대하여 큰 영향을 주었으며 과목에 대한 기초가 되었다. 사실 이 教材들에서 설명된 많은 원리가 오늘날 熱傳達 教科課程의 重要部分으로 남아있다.

우리가 熱傳達의 原理를 理解하는데 定常的인 진전이 이루어져 왔으나, 과거 30년 동안에 이 분야는 새로운 技術의 출현으로 더 크게 영향을 받았다. 이 기술은 (1) 熱傳達의 應用技術과 (2) 熱傳達의 實用化에 영향을 준 技術로 나눌 수 있을 것이다. 첫째 부분에 속하는 예로서는 推進, 材料工程과 電子機器 등을 포함하는 많은 시스템은 물론이고 事實上 모든 에너지 轉換, 貯藏 및 利用시스템이 있다. 이러한 應用에서 熱傳達는 시스템의 熱的 說設와 性能을 最高化하는데 使用된다. 둘째 부분에 重要的인 例로서는 디지털 컴퓨터가 있다. 컴퓨터는 複雜한 문제의 數值解에 의하여 熱傳達 設計와 解析에 크게 영향을 주었다⁽⁶⁾. 다른 예에는 熱傳達 測定用 機器와 工程制御, 資料 수집 및 資料處理用 마이크로 컴퓨터가 있다.

이러한 變化는 理在의 熱傳達 教授에게 다음

* 이 글은 ASME Paper No. 84-WA/HT-29로 발표된 F.P. Incropera(Purdue University)의 Undergraduate Education in Heat Transfer-A Point of View를 번역한 것이다.

과 같은 질문으로 나타낼 수 있는 새롭고 흥미 있는 도전을 제시하게 된다. 즉, (1) 熱傳達의 原理제시 (2) 이들 原理와 熱시스템設計와의 關係確立 (3) 熱傳達 解析과 測定에 필요한 現代의인 道具에 대한 學生의 教育에 있어 어떻게 均衡을 취하여야 하는가이다. 熱傳達의 初步科目의 目標確立에 있어 教授는 學生의 必要性은 물론 선덕, 제한조건을 인식하여야 한다.

2. 目 標

學士課程 熱傳達 科目에 대한 合理的인 目標은 表 1에 주어진 것과 같다. 제 1目標은 熱傳達와 연관된 物理的인 機構와 條件을 포함한다. 예를 들면, 傳導, 對流 및 輻射에 의한 傳達와 연관된 機構가 무엇인가? 熱에너지 貯機, 熱에너지의 發生, 浮力 또는 黑體란 무엇인가? 어떠한 경우에 熱傳達이 1次元의이거나 時間에는 無關한가? 이러한 개념이 과목에서 소개되고 學生이 物理的인 시스템에 관계된 熱傳達 形態와 條件을 찾아내기 위하여는 포괄적인 이해가 중요하다.

工學에서 物理的인 理解를 한 후에는 定量的인 記述이 뒤따르며, 熱傳達에는 時間率의 式

表 1 學士課程 熱傳達科目의 目標

學生의 理解 開發
1. 物理的 概念
2. 時間率式
3. 微分 保存式
4. 巨視的 保存式
5. 他分野에의 類似性
學生의 技能向上
6. 解析技能
7. 數學技能
8. 數值技能
9. 實驗技能
科目의 他分野에 對한 關係確立
10. 熱시스템 舉動
11. 設計 過程

(rate equation)을 使用하게 된다. 學生들은 Fourier-Biot 법칙, Newton의 冷却법칙과 表面間의 輻射交換 및 表面에서의 輻射放射와 吸收를 예측하는데 필요한 時間率式등에 친숙하여야 한다. 傳導와 對流의 경우에, 時間率式을 使用하기 위하여는 熱傳導式이나 境界層式과 같은 微分保存方程式의 解로서 구해지는 溫度場의 지식을 필요로 한다. 學生들은 이들 式에서 각각의 項의 物理的 重要性, 式의 유도, 解法을 이해하여야 한다. 境界層解와 經驗式에서의 對流熱傳達係數에 대하여도 잘 인식하여야 한다.

熱傳達科目에서는 또한 熱傳達問題에 대한 巨視的인 保存式의 應用을 취급하여야 한다. 教授는 學生들의 熱力學에서의 지식을 강화하도록 第 1法則을 자주 制限表面이나 體積에 적용시켜야 한다. 이러한 연습은 임시적이어서는 안되며 科目의 初期에 유도한 系統的인 公式化에 기반을 두어야 한다. 學生이 熱傳達 解析의 重要한 技法을 적용하는데 있어 더욱 확신을 가질 수 있도록 기회가 부여되어야 한다.

熱傳達를 理解하고 應用하는 것을 도울 수 있는 특징은 類似性이다. 熱傳導는 電荷의 傳導나 擴散에 의한 物質의 傳達와 유사하다. 또한 對流熱傳達는 對流에 의한 運動量이나 物質과 유사하다. 이러한 類似性의 方法은 學生의 解析의 方法에 대한 지식을 증대시키는 이외에도 傳達現象을 광범위하게 이해하도록 한다.

모든 工學 科目의 目標은 學生이 항상 정확하지는 않더라도 시스템 設計와 性能에 대한 有用한 정보를 제공하는 工學解析(engineering analysis)을 수행할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 熱傳達科目에서는 적절한 가정의 수립, 관계되는 변수의 식별, 필요한 時間率 및 保存式을 포함하는 解析의 技能을 함양시키며 熱시스템의 性能을 예측할 수 있도록 하여야 한다. 體系的인 접근, 즉 方法論이 길러지고 判斷能力이 開發되어야 한다. 일부의 問題는 一定한 解를 갖지 않도록 하여(open-ended), 불완전하더라도 學生이 선택하는 가정, 정보 및 資料에 따라 다른 접근 方法이 시도되도록 하여야 한다.

◆ 資 料

熱傳達 方程式은 학생들의 數學과 數值解析의 能力을 強化하는 좋은 機會가 된다. 常微分 및 偏微分 方程式의 精確解를 구하는 方法을 近似解(積分 및 有限差分) 方法과 함께 학습하여야 한다. 부가하여 代數式의 解를 구하는 反復法 및 直接法(iterative and direct method)도 취급하여야 한다.

또한 熱傳達에는 理論的인 측면 뿐 아니라 經驗的인 面이 있음을 기억하여야 한다. 따라서 熱傳達의 개념을 강조하는 것 뿐 아니라, 實驗 能力을 強化할 수 있는 實驗室 經驗을 갖도록 함이 바람직하다. 實驗에서는 溫度, 熱率 및 流體流動에 대한 機器, 測定 誤差, 實驗 制御와 資料收集 및 處理 方法을 취급하여야 한다.

學生들에게 많은 관심을 일으킬 수 있는 것은 熱傳達이 많은 실제의 應用問題에 연관되어 있기 때문이다. 많은 應用部門이 우리에게 친숙한 에너지 轉換과 節約, 暖房 및 冷房, 推進, 材料 및 化學工程, 熱的 보호 등을 다룬다. 가능한 범위까지 관계되는 熱시스템의 性能에 대한 熱傳達의 關係가 확립되어야 한다. 應用에 관한 사항이 강의 재료에 포함되고 숙제의 상당 부분이 실제 열시스템에 관련되어야 한다. 이러한 問題는 학생이 시스템의 形象과 運轉에 대한 결정을 함으로써 科目과 設計過程의 關係를 강조하게 된다.

앞에서 서술한 모든 目標를 實行한다는 것은 不可能한 것도 아니나 극히 어려운 일일 것이다. 어떠한 것을 강조할 것인가에 대한 選擇은 時間 制限과 科目의 종료시에 學生이 가져야 할 지식과 기능의 정도에 대한 教授의 판단에 따라야 한다. 教授目標中에서 選擇하는 問題는 우선 순위 특히 教授의 우선 순위 중의 하나이다.

3. 優先順位

優先順位를 결정하는데 이하 많은 學生들에게 熱傳達의 첫 敎科日이 또한 마지막 科目이며 계속하여 熱傳達 內容을 사용하는 경우 열시스템을 설계하고 평가하는 것이라는 것을 인식하여

表 2 重要的 物理的 概念

一 般

溫度(기울기)

熱 率

熱 플럭스

制限體積

微 小

巨 視

에너지

貯藏(顯熱, 潛熱)

發 生

傳 達

均 衡

定常狀態

1次元

熱抵抗(容量, 回路)

接觸抵抗

傳 導

擴 散

傳導와 對流의 組合

擴大表面

有用度

効 率

노달 네트워크(nodal network)

有限差分

集中容量

Biot 數

Fourier 數

對 流

境界層

速 度

熱 的

狀態變化流動

浮 力

剪 斷

粘性消散

摩擦係數

熱傳達係數

強 制

自 然

混 合

層 流

亂 流
 Nusselt 數
 Reynolds 數
 Prandtl 數
 Rayleigh 數
 沸騰(平울, 飽和, 核, 膜)
 凝縮(방울모양, 膜)
 入口길이
 完全展開
 汚 染
 熱交換器
 로그平均溫度差
 有用度
 NTU

輻 射

波(光子)
 放 射
 總入射強度
 吸 收
 反 射
 透 過
 黑 體
 強 度
 方向性
 半 球
 散 亂
 規 則
 스펙트럼
 全 體
 灰 體
 觀測係數
 密閉空間

야 한다. 이를 기반으로 하여 最優先順位는 表 1의 目標 1~4, 6, 10 및 11에 주어져야 한다. 目標 1에서 4는 熱傳達의 核心으로서 철저히 균형있게 포함되어야 한다. 학생은 傳導, 對流 및 輻射에 의한 熱傳達과 관계된 物理的 개념을 이해하고 時間率 및 保存式을 사용하는데 확신을 갖도록 하여야 한다. 완벽하지는 않으나 광범위한 重要的 개념이 表 2에 표시되어 있다.

教授가 目標 1~4를 성공으로 수행한다면, 熱傳達을 가르치는(tech) 것이고, 目標 6, 10 및 11을 달성한다면 技術者를 教育하는(educate engineers) 것이다. 熱시스템 設計와 性能의 系統的인 解析的 接近을 開發하는데 있어서, 학생은 熱傳達 知識을 產業 問題에 적용하도록 더욱 잘 준비가 된다. 熱시스템의 舉動을 모델링하는 데에서 學生들은 어떠한 理想化를 택할 수 있거나 택하여야 하며 모델과 실제와의 관계에 끼치는 영향을 더욱 잘 결정할 수 있게 된다.

다음의 優先順位는 目標 5와 8에 주어진다. 熱傳達과 電氣 및 物質傳達 사이의 類似性은 두 가지 方法으로 使用될 수 있다. 하나는 熱傳達을 이미 잘 알고 있는 다른 移動現象과 비교함으로써 熱傳達의 이해를 돕는 것이다. 예를 들면 電氣的 類似가 1次元 傳導나 密閉空間에서의 輻射를 포함하는 熱傳達을 표시하는 편리한 수단이 된다. 對等한 熱回路를 使用하여 學生은 過程을 더욱 잘 概念化하고 定量化할 수 있다. 類似性을 使用하는 둘째 方法은 熱傳達에서 얻은 知識을 學生들이 익숙하지 않은 다른 移動現象에 확장하는 것이다. 예를 들면, 教授는 熱傳達로부터 推論된 결과로 物質傳達을 다룰 수 있을 것이다. 教育學的 觀點에서, 物質傳達을 포함 함으로써 擴散과 對流를 완전하고 통일된 方法으로 취급할 수 있다, 예를 들면, 境界層의 學習에서 熱, 物質, 運動量을 종합적으로 취급함으로써 重要的 相似性概念을 개발할 수 있는 좋은 기회를 갖게 된다. 實用的인 觀點에서, 對流物質傳達은 乾燥과 蒸發 冷却過程의 많은 應用에 나타난다.

數值方法만이 熱傳達 問題의 유일한 解法으로 되는 경우가 있으므로, 學生들은 有限差分式을 公式化하고 Gauss 消去, 行列逆變換, 계속적인 오버 릴랙세이션(successive over-relaxation)과 같은 直接 또는 反復法으로 이들 式의 解를 구하는 능력을 습득하여야 한다. 學生들은 또한 解의 陰 및 陽의 方法(implicit and explicit method)의 差異, 陽의 方法의 安定性, 그리드 크기의 영향을 알아야 한다.

數值解法에서 컴퓨터의 역할을 논하지 않을 수는 없다. 확실히 컴퓨터는 現代工學教育의 重要한 一部이며 現代의 熱傳達解析의 核心的 要素이다. 따라서 컴퓨터를 사용해야 하는 數值熱傳達問題를 숙제로 꼭 과하여야 한다. 학생들에게는 Gauss-Seidel 또는 三重對角行列解法과 같은 코오드를 제공할 수 있으며, 학생들은 자신의 프로그램을 작성하여야 한다.

컴퓨터의 사용에는 항상 주의 사항을 논하여야 한다. 아무리 좋은 계산방법을 사용하더라도 物理的 또는 數學的의 모델에 결함이 있으면 부정확한 결과를 초래한다. 올바른 熱傳達의 解는 熱傳達의 基本을 적절히 應用함으로써 얻어짐으로, 지나치게 컴퓨터만을 강조하고 基本을 무시하는 것은 學生에게 좋지 않게 된다. 熱傳達科目을 마치게 될 때, 학생들은 실무를 통하여 컴퓨터 취급 능력을 높일 기회를 많이 가지게 되나 熱傳達의 基本을 이해하고 강화할 기회는 갖지 못할 것이다. 불행하게도, 취미로 계산을 행하고 모델의 物理的 基盤과 結果의 解析을 피상적으로 취급하는 사람들이 너무 많다.

優先順位의 마지막은 目標 7과 9이다. 熱傳達에서 實驗의 方法에 接하는 것은 확실히 바람직하고 강의와 연관되어 제공되는 實驗을 통하여 가장 잘 이루어질 수 있다. 그러나 實驗은 學生의 時間과 에너지를 극히 많이 필요로 하므로, 컴퓨터를 과도하게 사용하는 것과 마찬가지로 基本을 이해하는데 도움을 주기보다는 방해가 될 수도 있다. 다른 하나의 결점은 특수한 제목에 주어진 실험실이 집약적이고 장비나 관리인원의 시간 가용성으로 크게 제한 받게 될 수도 있는 것이다. 아마도 가장 좋은 타협안은 熱傳達科目 이후에 一般的인 實驗科目을 제공하는 것일 것이다. 熱傳達의 方程式은 應用數學에서 學生의 배경을 높일 수 있는 많은 재료를 제공하지만, 熱傳達의 첫 科目이 이 목적을 위하여 많은 時間을 할애할 수 있는 과목은 아니다. 熱傳達式에 대한 數列解의 간단한 要素는 2次元 및 過渡傳導問題와 연관하여 해석하고, 積分 또는 相以法은 對流熱傳達係數를 境界層解에서 구

한 方法을 설명하는데 使用하여야 한다. 추가적인 數學的인 方法은 熱傳達의 제 2科目으로 미루는 것이 가장 좋다.

4. 特定 大學의 例

Purdue 대학에서, 熱傳達은 4學點의 必須科目으로 보통 3학년 2학기(15週)에 택한다. 適當 학생은 3회의 강의와 2時間의 實驗에 출석한다. 강의의 숙제는 보통 3개의 問題와 15페이지의 책 읽기로 되어 있다.

實驗에는 實驗時間이전까지 완료해야 되는 예비준비와 실험 종료시까지 완료해야 되는 간단한 실험보고서가 포함된다. 강의는 대략 75명의 학생으로 되어 있으나 실험은 12명으로 제한하여 보통 3명 4그룹으로 나누어진다. 실험은 교수와 함께 대학원 조교에 의하여 수행된다.

강의에서 熱傳達의 세 形態를 거의 균형 있게 다룬다. 강의 순서에 따라 각각 5週를 傳導와 對流에 할애하고, 4週를 輻射에, 1週를 多重形態의 영향을 다루는데 사용한다. 學期末에 多重形態의 熱傳達을 취급함으로써 학생들이 처음 14週間의 內容을 복습하고 종합하게 된다. 熱시스템의 舉動에 대한 應用에 중점을 두며 학생들은 오히려 예외적으로 單一 熱傳達形態를 포함하는 應用問題를 다루도록 한다. 마지막 週에 最終試驗에 대한 준비를 시작하며 이 시험은 보통 4~5개의 多重形態의 問題로 되어 있다.

傳導는 在來의 方法으로 취급하여 강의 3回(1週)와 실험 3回(3週)로서 多次元 및 過渡現象問題를 다룬다. 熱시스템의 設計나 性能에 관한 2개의 主要 컴퓨터 問題가 주어지고 科目의 實驗部門에서 점검한다. 物質擴散에 대한 類似性은 포함되지 않는다.

對流에서는 強制 및 自然對流가 우세한 外部 및 内部流動과 熱傳達裝置에 重點을 둔다. 物質傳達의 類似性을 고려하고 많은 숙제 문제에서는 乾燥 및 蒸發 熱傳達過程을 취급한다. 沸騰과 凝縮이 또한 포함된다.

輻射는 表面에서의 相互作用과 表面間의 交換에 국한시켜 취급한다(참여하는 매질은 포함하지 않는다). 그러나 학생들이 表面性質學動이 간단하다고 믿도록 하지는 않는다. 많은 중요한 應用에 非散亂, 非灰體表面學動이 포함됨을 인식하여, 方向性 및 스펙트럼 영향을 상세히 다룬다.

數學의 程度는 (1) 1次元 傳導의 各種 常微分方程式의 解를 구하고 (2) 2次元 定常狀態와 1次元 過渡 傳導 問題에 대한 數列解의 제시 (3) 대수식을 풀기 위한 SOR(successive-over-relaxation) 방법과 行列 轉換 방법의 사용 (4) 強制 및 自然對流 境界層 方程式에 대한 相似解를 구하는데 국한한다. 강의에 포함되지 않은 토픽으로는 熱 및 境界層式의 積分解法과 變數分離 또는 變換方法에 의한 熱傳導式의 正確解法이 있다. 이 토픽은 좀 더 상세한 數值 및 相似法과 함께 두번째(선택) 과목에서 취급되는데 대략 첫 과목을 택한 학생의 5% 정도가 택한다.

實驗의 目的은 科目의 개념을 강조하고 實驗 및 數值技能을 증대시키기 위한 것이다. 전형적인 實驗內容을 表 3에 나타내었다. 實驗 6과 7은 각각 2週에 걸쳐 행해지며 實驗 7~9에서는 資料의 處理에 마이크로 컴퓨터를 사용하도록 한다.

表 3 實驗內容

1. 溫度 測定
熱電對, 서미스터, 基準點, 熱電對表, 溫度測定 用 디지틀 멀티미터의 使用法
2. 太陽熱 集熱器
시뮬레이션된 太陽熱 集熱器의 性能 測定, 表面의 熱傳達 形態와 에너지 均衡
3. 1次元 定常狀態傳導: 電氣的 類似
表面에 對流과 輻射가 있는 벽의 傳導에 對應하는 電氣抵抗의 使用, 熱流動과 熱抵抗, 溫度差에 相當하는 熱回路 및 關係
4. 1次元 定常狀態 傳導: 熱傳導率 測定
金屬의 過渡를 測定하여 熱傳導率 測定, 溫度기울기와 熱傳導率의 關係, 接觸抵抗
5. 2次元 定常狀態 傳導

- SOR 또는 行列轉換 프로그램이 준비된 컴퓨터를 사용하여 2次元 傳導問題의 數值解를 구함. 正確解와 比較하여 檢證, 그리드 크기 영향
6. 過渡 傳導
SOR 또는 行列轉換 프로그램이 준비된 컴퓨터를 사용하여 過渡傳導問題의 數值解를 구함. 正確解와 比較하여 檢證, 安定性 및 그리드 크기 영향
7. 실린더의 直交流動(crossflow)에서 強制對流 熱 및 物質傳達
風洞實驗으로 實驗式을 구함. 無次元 파라미터, 實驗式의 基本原理, 熱 및 物質傳達의 類似性
8. 垂直平板에서의 自然對流
過渡 冷却 測定資料로부터 實驗式을 구함. 無次元 파라미터, 에너지均衡, 集中容量
9. 熱交換器 性能
二重管, 물-물 熱交換器와 핀불이 管, 空氣-물 熱交換器의 性能測定, ϵ -NTU 關係, 熱貫流率
10. 放射率測定
光學파이로미터(pyrometer)와 서모파일(thermopile)을 사용하여 텅스텐 필라멘트의 放射率 測定, 表面輻射交換, 黑體의 學動
11. 溫度 測定の 誤差
高溫氣體流動에서 溫度測定에 미치는 傳導와 輻射의 영향, 에너지均衡, 輻射遮蔽, 多重形態의 熱傳達

5. 맺음 말

熱傳達에는 많은 概念과 方法論이 포함되므로 그 범위에 있어서, 적어도 다른 어떤 熱科學보다도 광범위하다. 이 제목의 첫 科目을 가르치는데 있어, 教授는 토픽의 內容, 數學의 程度, 컴퓨터 使用 및 實驗 등에 있어 많은 선택에 직면하게 된다.

이 선택은 學生開發目標은 물론 機資材 및 時間制限 등에 기반을 두어 이루어져야 한다.

熱傳達 첫 科目의 主된 目的은 學生이 熱시스템 設計와 性能에 관계되는 問題를 合理的으로 취급할 수 있도록 준비시키는 것이어야 한다.

따라서 傳導, 對流 및 輻射의 基本原理와 熱시스템 解析의 方法論에 重點을 두어야 한다.

◆ 資 料

학생은 관계되는 移動過程과 단순화된 가정을 식별하고 관심있는 파라미터를 결정할 수 있도록 적절한 관계식을 선택하거나 開發하여야 한다. 간단히 말해서, 학생은 항상 정확하지는 않더라도 시스템의 設計나 性能에 관한 有用한 정보를 제공할 수 있는 工學解析을 수행할 수 있어야 한다.

參 考 文 獻

- (1) Lienhard, J.H., "Notes on the Origins and Evolution of the Subject of Heat Transfer", *Mechanical Engineering*, Vol. 105, No. 6, pp. 20~27, 1983
- (2) McAdams, W.H., *Heat Transmission* McGraw-Hill, New York, 1933
- (3) Boelter, L.M.K., Cherry, V.H., and Johnson, H.A., *Heat Transfer*, University of California Press, Berkeley, 1942
- (4) Jakob, M., and Hawkins, G.A., *Elements of Heat Transfer*, John Wiley, New York 1942
- (5) Jakob, M., *Heat Transfer*, Vol. 1, John Wiley, New York, 1949
- (6) Pletcher, R.H., and Patankar, S.V., "Computers in Analysis and Design", *Mechanical Engineering*, Vol. 105, No. 6, pp. 73~79, 1983

자연순환에 관한 국제 심포지움

(International Symposium on Natural Circulation)

일 시 : 1987 년 11 월 15 일 ~ 20 일 (6 일간)

장 소 : 미국 뉴우요르크

초록마감 : 1986 년 12 월 15 일

제 출 처 : Dr. J.H. Kim

Electric Power Research Institute

P.O. Box 10412

Palo Alto, CA 94303 U.S.A.

Phone: (415) 855-2671

문 의 처 : 본학회 사무국 (02-879-0186, 0187)