

아트리움 공간에 있어서 화재온도성상에 관한 이론해석
The Analytical Study of Fire Properties in Atrium Space

김 화중* 이 지희** 최 금란*** 김 경례***
Kim, Wha-Jung Yi, Ji-Hee Choi, Keum-Ran Kim, Kyung-Rye

ABSTRACT

Atrium being on fire, the flame is spread vertically, the methods of fire protection and the standards of security are different respectively. Therefore, in the case of atrium, it has many problems on the fire protection and the application of statute according to the space properties. So it is important to analysis, atrium being on fire, fire properties to space properties. From these points of view, the purpose of this study is to analysis the fire properties of atrium.

I. 서론

아트리움은 종래의 단순한 통행 혹은 로비공간으로서가 아니라, 휴식과 교류의 쾌적한 공간으로서 자리잡아 가고 있다. 이 아트리움은 새로운 개념의 도시문화시설로써도 유기적으로 기능할 것으로 기대되며, 무미건조한 도시환경에 있어서 "시가지의 새로운 커뮤니케이션 오아시스"가 될 수 있는 새로운 공간이라 말할 수 있겠다.

그러나, 아트리움은 공간특성상 화재시 수직방향으로의 화염의 확대가 급속하고, 범규적용상 많은 문제점을 가지고 있기 때문에 그에 따른 적절한 방재계획이 절실히 요구된다. 따라서, 아트리움에서 화재가 발생했을 때 공간특성에 따른 화재성상을 파악하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 아트리움에서 화재가 발생했을 때 그 화재온도성상을 파악하기 위해서 실험결과를 기본으로 하여 이론적으로 분석하여 보고자 한다. 이론적 검토는 화재온도에 대하여 실험상태를 모델화하여 이론적 분석을 행하고, 그 결과와 실험결과를 비교하여 이론적 모델의 타당성을 증명하는 동시에, 화재온도성상의 활용여부를 이론적으로 판단할 목적으로 행한 것이다.

II. 수치해석

아트리움의 온도분포를 이론적으로 검토하기 위하여 점성유체의 흐름을 해석하는 방정식에 부력의 효과를 고려하여, 온도를 변수로 한 열의 이류확산 방정식을 연립시켜 자연대류의 문제를 2차원 유한차분법을 이용하여 해석한다.

* 경북대학교 건축공학과 교수
** 진주전문대학교 소방안전관리학과 강사
*** 경북대학교 건축공학과 석사과정

2-1. 2차원 기초지배방정식

점성유체의 흐름해석으로는 식 (2.1), (2.2), (2.3)을 이용해서 유속 u , v 를 구하는 직접적인 방법과, 식 (2.4), (2.5)로부터 와도와 흐름함수를 구한 후에 식 (2.7)로부터 유속을 구하는 간접적인 방법의 2 가지가 있다. 본 연구에서는 수치계산상 안정한 해가 얻어지는 경우가 많은 후자의 방법을 이용한다.

이하에 나타내는 기초지배방정식을 도입한다.

- 1) Equation of continuity

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad \text{-----} (2.1)$$
- 2) Equation of motion (Navier - Stokes' type)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u(\frac{\partial u}{\partial x}) + v(\frac{\partial u}{\partial y}) = -1/\rho(\frac{\partial p}{\partial x}) + \nu \nabla^2 u \quad \text{-----} (2.2)$$
- 3) Stream function

$$\nabla^2 \phi = -w \quad \text{-----} (2.4)$$
- 4) Vorticity transport equation

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u(\frac{\partial \omega}{\partial x}) + v(\frac{\partial \omega}{\partial y}) = \nu \nabla^2 \omega + g\beta(\frac{\partial T}{\partial x}) \quad \text{-----} (2.5)$$
- 5) Velocity

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad \text{-----} (2.6)$$

$$v = -\frac{\partial \phi}{\partial x} \quad \text{-----} (2.7)$$
- 6) Equation of energy

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u(\frac{\partial T}{\partial x}) + v(\frac{\partial T}{\partial y}) = \alpha(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}) \quad \text{-----} (2.8)$$

2-2. 유한차분방정식

기초지배방정식의 근사해를 얻기 위해서 X-Y 평면을 각각 i 등분, j 등분함에 의해 함수 $F(X, Y)$ 는 $F(i\Delta x, j\Delta y)$ 로 나타낸다. 여기에서 $X=i\Delta x$, $Y=j\Delta y$ ($i=0, 1, 2, \dots$, $j=0, 1, 2, \dots$)로 나타내고, i, j 는 x, y 방향의 격자점의 분할수이다.

윗 식을 차분방정식의 중앙차분으로 변형하면 다음과 같이 된다

- 1) Equation of Stream function

$$\phi_{i,j}^n = 1/4(\phi_{i+1,j}^n + \phi_{i-1,j}^n + \phi_{i,j+1}^n + \phi_{i,j-1}^n + \Delta x^2 \omega_{i,j}^n) \quad \text{-----} (2.9)$$
- 2) Vorticity transport equation

$$\begin{aligned} \omega_{i,j}^{n+1} = & (\Delta t/\Delta x^2)\nu(\omega_{i+1,j}^n + \omega_{i-1,j}^n + \omega_{i,j+1}^n - \omega_{i,j-1}^n - 4\omega_{i,j}^n) + \omega_{i,j}^n \\ & - (\Delta t/4\Delta x^2)\{(\phi_{i,j+1}^n - \phi_{i,j-1}^n)(\omega_{i+1,j}^n - \omega_{i-1,j}^n) \\ & - (\phi_{i+1,j}^n - \phi_{i-1,j}^n)(\omega_{i,j+1}^n - \omega_{i,j-1}^n)\} \\ & + (\Delta t/2\Delta x)g\beta(T_{i+1,j}^n - T_{i-1,j}^n) \quad \text{-----} (2.10) \end{aligned}$$
- 3) Equation of Energy

$$\begin{aligned} T_{i,j}^{n+1} = & (\Delta t/\Delta x^2)\alpha(T_{i+1,j}^n + T_{i-1,j}^n + T_{i,j+1}^n + T_{i,j-1}^n - 4T_{i,j}^n) + T_{i,j}^n \\ & - (\Delta t/4\Delta x^2)\{(\phi_{i,j+1}^n - \phi_{i,j-1}^n)(T_{i+1,j}^n + T_{i-1,j}^n) \\ & - (\phi_{i+1,j}^n - \phi_{i-1,j}^n)(T_{i,j+1}^n + T_{i,j-1}^n)\} \quad \text{-----} (2.11) \end{aligned}$$
- 4) Velocity

$$u_{i,j}^n = (1/2\Delta x)(\phi_{i,j+1}^n - \phi_{i,j-1}^n) \quad \text{-----} (2.12)$$

$$v_{i,j}^n = - (1/2\Delta x)(\phi_{i+1,j}^n - \phi_{i-1,j}^n) \quad \text{-----} (2.13)$$

여기에서, ϕ ; 흐름함수, ω ; 와도, u ; x방향 유속(m/s), v ; y방향 유속(m/s),
 T ; 온도($^{\circ}\text{C}$), P ; 압력(kg/cm²), g ; 중력가속도(m/s²),
 β ; 체적팽창계수(1/k), ρ ; 밀도(kg·s²/m⁴), ν ; 동점성계수(m²/s)
 α ; 온도전도계수(=열확산율)(m²/s), k ; 열전도율(kcal/h·m· $^{\circ}\text{C}$)
 h ; 열전달율(kcal/h·m· $^{\circ}\text{C}$), c ; 비열(kcal/kg· $^{\circ}\text{C}$), Δt ; 시간중분(sec)
 Δx ; 차분격자간격(m), Δy ; 차분격자간격(m)

을 나타낸다.

2-3. 초기조건 및 경계조건

본 계산의 경계조건을 그림 1에 나타내고, 초기조건을 표 1에 나타낸다.

계산모델은 실험모델과 동일한 조건으로 한다. 단, 화재는 아트리움의 중앙부에서 발생한다고 가정하여 계산시에 있어서는 좌우가 대칭을 이루기 때문에 AB의 길이는 실험모델의 1/2로 계산하였다.

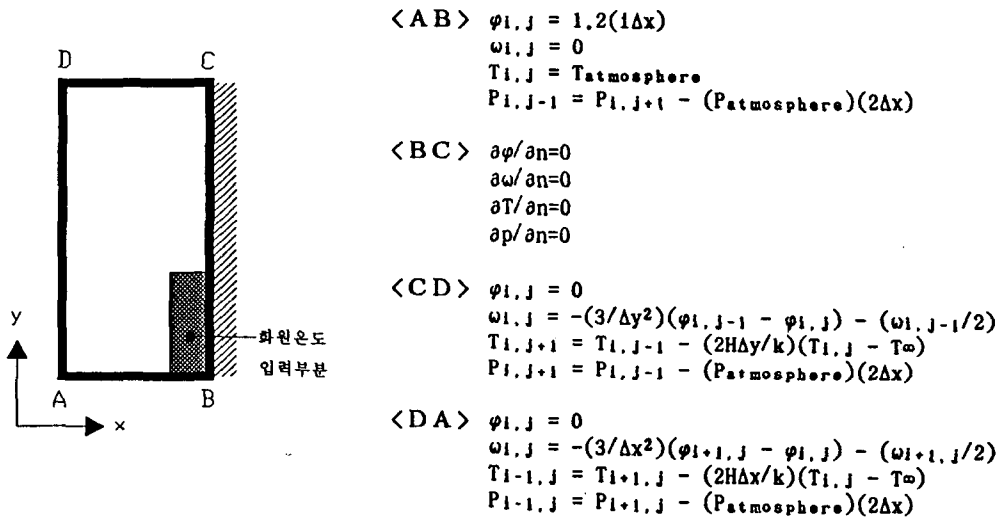


그림 1. Boundary Condition

표 1. 시뮬레이션에 이용한 입력 데이터

Time Interval	0.0005	Temperature Atmosphere	30
Mesh Interval X-direction	0.05	Pressure Atmosphere	1.03323
Mesh Interval Y-direction	0.05	Volume Expansion Coefficient	3.48×10^{-3}

2-4. 수치해의 계산순서

계산에 있어 다음의 가정을 사용한다.

대류의 상태를 지배하는 무차원수인 Prandtl수는 『Heat Transfer(참고문헌 9)』 Table A-5에 근거를 두어 Pr=0.7로 가정한다. 동점성계수와 열확산계수는 수신회에 걸친 계산결과를 바탕으로 동점성 계수(ν)=0.7, 열확산계수(α)=1.0으로 가정한다.

그림 2에 그 계산흐름도를 나타낸다.

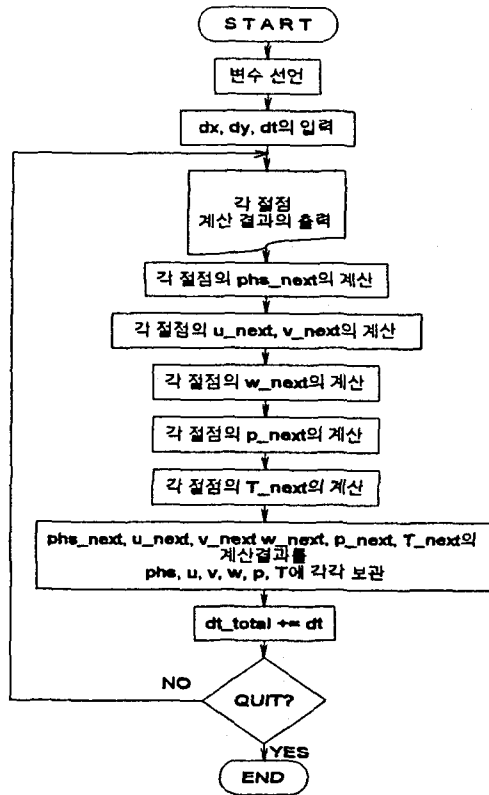


그림 2. Flow Chart

Ⅲ. 이론해석과 실험결과와의 비교

이론의 타당성을 검토하기 위해 실험결과와 계산결과의 비교를 그림 3, 4, 5에 나타낸다. 또한, 실험의 화재온도를 이론적으로 추정하기 위해 해석에 사용된 모델의 화재온도 측정점의 위치를 그림 3-1, 4-1, 5-1에 나타낸다.

그림 3, 4에 화재실 내부의 일정한 위치에서 측정된 점의 계산결과와 실험결과를 나타낸다. 참고로 화원의 실험온도곡선도 함께 나타내어 비교가 용이하도록 하였다.

이 결과에서 보면, 화재초기에는 실험온도곡선은 완만하고 계산곡선은 기복이 약간 있으나 시간이 지날수록 대체로 근사해 가고 있다. 또한, 그림 4보다는 그림 3이 계산결과와 실험결과가 근사하고 있다. 즉, 화원온도입력부분으로부터 가까운 곳의 온도를 측정된 점이 먼 곳의 측정점보다 실험결과에 가깝다는 것을 알 수 있다.

그림 5에 화재실 벽체의 내표면온도의 계산결과와 실험결과를 비교하여 나타낸다.

이 그림에서 보면, 그림 3, 4와 비교해 보면 알 수 있는 바와 같이 벽체의 내표면온도는 화재실 내부의 온도보다 현저하게 낮다. 계산결과와 실험결과를 비교해보면 처음에는 다소 차이가 있으나, 화재온도가 급격하게 상승하기 시작하는 시점, 즉 13분 이후부터 20분까지는 거의 일치하고 있다. 그리고 화재실 내부온도보다 벽체 내표면온도의 계산결과가 실험결과에 더 가까워지고 있음을 알 수 있다.

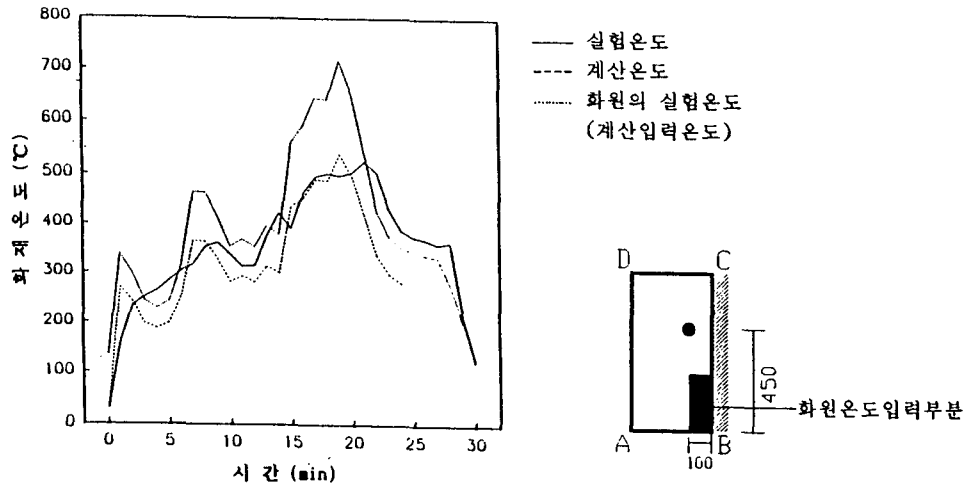


그림 3. 화재실 내부 측정점의 온도비교

그림 3-1. 화재실 내부 측정점의 위치

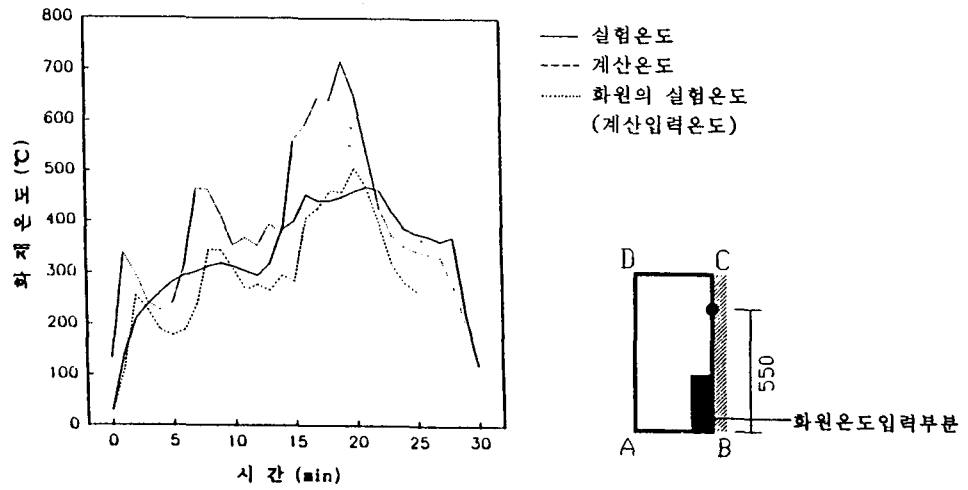


그림 4. 화재실 내부 측정점의 온도비교

그림 4-1. 화재실 내부 측정점의 위치

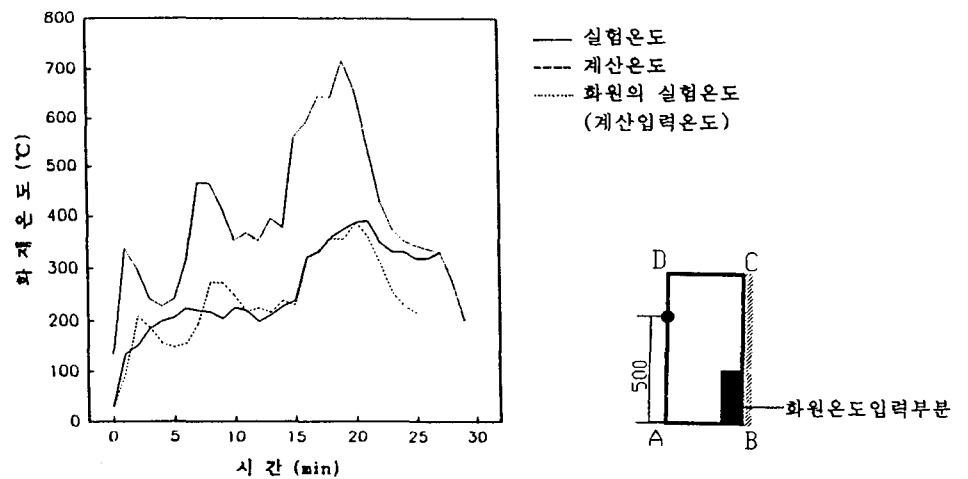


그림 5. 화재실내표면 측정점의 온도비교

그림 5-1. 화재실내표면 측정점의 위치

참고로, 그림 6에 계산에 의한 온도 분포를 시간별로 나타낸다.

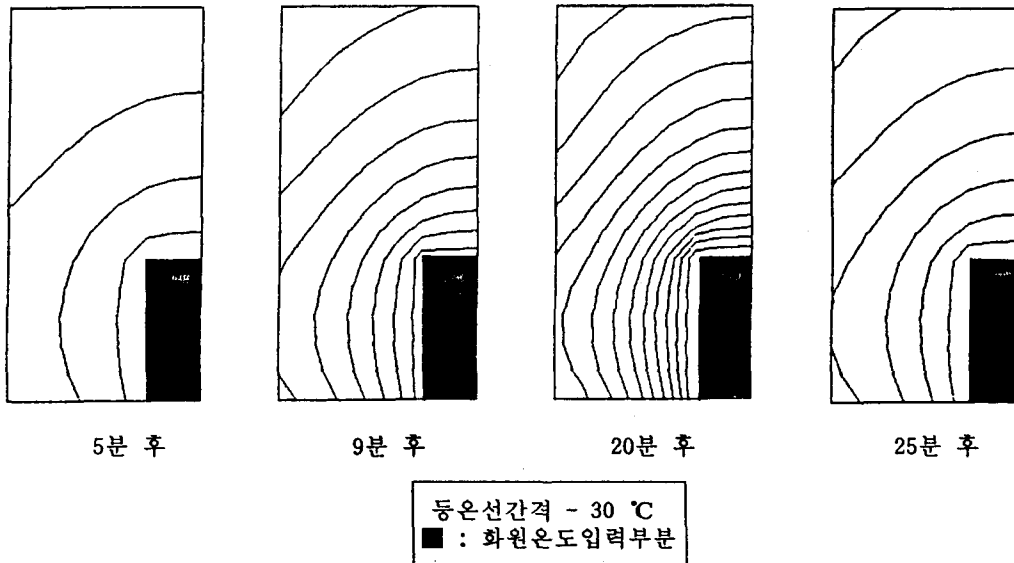


그림 6. 시간변화에 따른 온도분포

IV. 결론

이상의 검토로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 아트리움의 화재온도를 추정하는 Program을 C언어로 작성하고, 그 Program을 이용하여 계산된 결과를 실험결과와 비교하여 앞에 제안된 이론들의 타당성을 어느 정도는 입증하였다. 따라서, 아트리움의 화재온도성상은 계산을 통하여 어느 정도는 검토될 수 있다고 사료된다.

2) 화재실 내부의 일정한 위치에서 측정된 점의 계산결과와 실험결과를 비교해 보면, 화재초기에는 실험온도곡선은 완만하고 계산곡선은 기복이 다소 있으나 시간이 지날수록 대체로 근사해 가고 있다.

3) 벽체의 내표면 온도는 화재실 내부의 온도보다 현저하게 낮다. 계산결과와 실험 2결과는 처음에는 약간 차이가 있으나, 화재온도가 급격하게 상승하기 시작하는 시점, 즉 13분 이후부터 20분까지는 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

4) 동점성계수와 열확산계수의 값을 수십 차례에 걸쳐 변화시켜 실행시킨 결과, 동점성계수(ν)=0.7, 열확산계수(α)=1.0으로 가정하였을 때의 화재온도성상이 실험결과와 가장 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 따라서, 아트리움 및 이와 유사한 공간의 화재 온도성상의 해석시 이 값들을 이용하는 것이 효율적이라고 생각된다.

본 연구에서는 화재시 아트리움의 온도만을 비교하였으나, 와도·유속·흐름함수·농도의 분포에 대한 추정이 가능하다고 생각된다. 그리고 아트리움의 일정 폭에 대한 높이의 변화에 따른 화재성상의 비교는 추후의 연구과제로 남겨둔다.

V. 참고문헌

1. 林健次, 遠山洋, 二之宮弘, “流れ解析”, 朝倉書店, 1988

2. 日本機械學會, “流れの數値シミュレーション”, コロナ社, 1991
3. 日本機械學會, “熱と流れのコンピュータアナリシス”, コロナ社, 昭和 61年
4. 小竹進, 土方邦夫, “熱と流れ”, 丸善株式會社, 平成元年
5. 矢川元基, “流れと熱傳導の有限要素法入門”, 培風館, 昭和 63年
6. 香月正司, 中山顯, “熱流動の數値シミュレーション”, 林北出版株式會社, 1991
7. 水谷幸夫, “燃燒工學”, 東明社, 1993
8. JOHN K.VENNARD, ROBERT L.STREET, “流體力學”, 東明社, 1991
9. J.P.Holman, “HEAT TRANSFER”, McGraw-Hill INTERNATIONAL BOOK COMPANY
10. M.Necati Ozisik, “BASIC HEAT TRANSFER”, McGraw-Hill Kogakusha
11. Suhas V.Patankar, “NUMERICAL HEAT TRANSFER AND FLUID FLOW”
12. M.B.Abbott, D.R.Basco, “Computational Fluid Dynamics An Introduction for Engineers”, Longman Scientific & Technical
13. T.J.Shields G.W.H.Silcock, “BUILDINGS AND FIRE”, Longman Scientific & Technical
14. M.David Egan, “建築の火災安全設計(Concepts in Building Firesafety)”, 鹿島出版會, 昭和 56年
15. 成瀬友宏, 菅原進一, “ATRIUMの防災計劃事例調査”, 日本建築學會構造系論文報告集 第 443 號, 1993年 1月
16. 堀内三郎, “建築防火”, 朝倉書店, 昭和 61年
17. 建築學大系編集委員會, “建築學大系 21 - 建築防火論”, 彰國社版, 昭和 48年
18. 建築學大系編集委員會, “建築學大系 20 - 建築耐風・耐雪論”, 彰國社版, 昭和 48年
19. 安全工學協會, “火災 - 安全工學講座 1”, 海文堂出版株式會社, 昭和 58年
20. 日本建築CENTER, “新・排煙設備技術指針”, 日本建築CENTER, 昭和 62年
21. 日本火災學會, “新版 建築防火教材”, 株式會社 工業調査會, 1980年
22. 日本建築CENTER, “新・建築防災計劃指針 - 新技術編”, 社團法人 日本建築CENTER 出版部, 平成 3年
23. (財)國土開發技術研究CENTER, “建築物の總合防火設計法 - 第3卷 避難安全設計法”, (財)日本建築CENTER, 平成元年
24. 日本火災學會, “火災便覽 新版”, 共立出版株式會社
25. 田強, “火の科學”, 培風館, 昭和 59年
26. 田紀一郎, “建物の火災と安全のはなし”, 鹿島出版會, 昭和 58年
27. 藤本盛久, 羽倉弘人, “現代 建築防災工學”, 株式會社 オーム社, 昭和 56年
28. “아트리움의 계획과 디자인”, 建築技術情報 通卷 第40號, 1992, 2
29. 金 和中, “建築物의 防災計劃에 대한 考察”
30. 栗野 滿, “高溫・熱技術”, 東京大學出版會, pp. 60-63, 1984