

氏名（本籍）	박 Hyun Woo (韓国)
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 1135 号
学位授与の日付	2022 年 3 月 19 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	建築物地下階の外部に連絡する傾斜空間を考慮した煙制御手法に関する研究

論文審査委員	(主査) 教授 大宮 喜文
	教授 松山 賢 教授 桑名 一徳
	教授 吉澤 望 教授 兼松 学

論文内容の要旨

本研究では、地下空間における火災時の避難および消防活動上の安全性を確保するための煙制御手法に着目し、実験や数値解析モデル(FDS)を通じて検討を行った。第 2 章では、垂直階段室での加圧煙制御システムを想定し、実大規模建物における階段加圧を対象とした実測により、動圧制御装置の動圧制御効果や扉開放による階段内の圧力性状および圧力調整ダンパーによる制御手法について確認した。第 3 章では、傾斜路における自然排煙に着目し、火災室および一方の開口は火災室と通じ、他方の開口は外気と通じた傾斜路の模型を用いた実験により熱気流性状について把握し、天井面付近の熱気流温度に関する算定式の提案や傾斜路内の熱気流の鉛直温度分布に幾何学的形状(傾斜路幅や傾斜角度)が及ぼす影響について明らかにした。第 4 章では、第 2 章と第 3 章を考慮し基礎的検討として数値解析モデル(FDS)を用いて、まず、第 3 章の実験の再現性について検討した後、加圧給気時傾斜路が空気逃し口となる場合の火災室および傾斜路における熱気流性状を把握し、避難および消防活動上の安全性について検討した。

以下に各章について記述する。

第 1 章 序論

第 1 章では、本研究の背景および関連する既往研究について述べ、本研究の目的や論文の構成について示している。

第 2 章 階段加圧煙制御システムに関する研究

第 2 章では、実大規模建物において階段加圧に対する実測を行い、動圧制御装置の動圧

制御効果や扉開放による階段内の圧力性状および圧力調整ダンパーによる制御手法や扉開放力に関する検討を行った。その結果、本実験条件の範囲で以下の知見が得られた。

- ・ 動圧制御装置により給気口の付近において動圧は 54%程度低くなった。
- ・ 扉開放による階段内の圧力は、階段から建物内部を介し外気に至るまでの合成有効開口面積により決まる傾向がみられた。
- ・ 階段室内の圧力制御特性は、圧力調整ダンパーを含む隙間の有効開口面積による影響を大きく受ける傾向がみられた。

第 3 章 傾斜路における熱気流性状に関する研究

第 3 章では、火災室および一方の開口は火災室と通じ、他方の開口は外気と通じた傾斜路のモデルを用いた実験を行い、傾斜路における熱気流性状について明らかにした。その結果、本実験条件の範囲で以下の知見が得られた。

- ・ 傾斜路での天井面下の熱気流の最高上昇温度 ΔT_{max} は、傾斜角度 θ 以外が等しい条件において、傾斜角度 $\theta=0^\circ$ に比べ 15° および 30° では $r=1200\text{mm}$ 付近から小さくなり、また傾斜角度 θ が大きくなる程、その傾向は顕著であった。
- ・ 火災室と開口で通じる傾斜路における天井面下の熱気流温度について、無次元温度 Θ_d と仮想熱源距離 r_0 を考慮した無次元流動距離 $\frac{r_d+r_0}{H}$ の関係に基づく算定式を提案した。
- ・ 無次元温度 $(\Delta T/\Delta T_{max})$ と半値幅 L_T を用いた無次元高さ (z/L_T) の関係に基づき整理すれば、それぞれの傾斜角度 θ および流動距離 r において、無次元温度 $\Delta T/\Delta T_{max}$ が概ね 0.2 より大きい範囲における鉛直方向の温度減衰は傾斜路幅 B_{sw} によらず概ね同様となる傾向がみられた。

第 4 章 数値解析モデル(FDS)を用いた熱気流性状に関する研究

第 4 章では、第 2 章と第 3 章を考慮し基礎的な検討として数値解析モデル(FDS)を用いて、まず、第 3 章の実験の再現性について検討した後、加圧給気時傾斜路が空気逃し口となる場合を想定したケーススタディを行い火災室および傾斜路における熱気流性状を把握し、避難および消防活動上の安全性について検討した。その結果、FDS の本計算条件の範囲で以下の知見が得られた。

- ・ FDS を用いた計算結果は、実験結果を概ね再現できることを確認した。
- ・ 加圧給気時の火災室では、火災室の温度を考慮した適切な加圧給気量の設定や傾斜路を空気逃し口として作用すれば、一般の排煙口を用いた自然排煙に対して同等以上の排煙性能が期待できる。
- ・ 加圧給気時の傾斜路では、下部層における質量流量および CO_2 ガス流量の増加が考えられ、避難や消防活動上の注意が必要である。

第 5 章 総括

第 5 章では、各章の結論を総括して本研究の成果を述べ、今後の課題および展望について述べた。

論文審査の結果の要旨

近年、社会様式の変化とともに建築物に求められる機能も多様化し、効率的な土地利用の観点から地下空間を有効に利用した建築物の深度化などが進められている。一方で、建築物の地下空間は、防災面の課題が多く、それらを解消するための技術的対策が必要である。防災面の課題として建物利用者の上下方向の移動に利用される空間は、建築物地下階の火災発生時に煙の伝播経路になり、建物利用者の避難や消防隊の活動に支障をきたす可能性があり、それらに対する火災安全対策は重要な課題となっている。そのような課題に対し、本論文は、建築物地下階から外部に連絡する傾斜空間に着目し、建築物地下階の火災発生時に建物利用者の避難および消防隊の活動の安全性を確保するための煙制御手法について、実建物や模型を用いた実験および数値解析を実施し検討を行った成果をまとめており、全5章で構成されている。

第1章では、本研究の背景および関連する既往研究について述べ、本研究の目的や論文の全体構成を記述している。

第2章では、建築物地下階の火災発生時に階段室への煙侵入を防ぐために、階段加圧による煙制御システムを採用する際の留意すべき点を明らかにするため、実建物を用いた実験を実施している。実験では、扉の開閉に対する階段室内の圧力変動、圧力調整ダンパーおよび動圧制御装置を用いた階段室内の圧力制御に着目した条件を設定し、さらに火源を設置した条件に基づき、理論モデルを用いた遮煙性能を満足する給気量に関する検討を行っている。本実験の結果から各条件に対する階段室内の高さ方向の圧力分布について解析および考察を行い、外気に通じる通気経路の有無による影響を明らかにしている。また、階段加圧煙制御に関する理論モデルを用い、遮煙性能を満足する給気量に関する考察を行い、階段室扉位置での遮煙性能を確保するための必要給気量を明らかにしている。

第3章では、建築物地下階を想定した火災室および傾斜空間で構成した模型を用いた実験を行い、傾斜空間の幅、長さ、角度などの条件が傾斜空間の熱気流性状に与える影響を検討している。その結果、本実験条件の範囲では、傾斜空間における天井面下の熱気流の上昇温度は、傾斜空間内における熱気流の流動距離が長くなるに従い、傾斜空間の角度が大きい条件ほど、温度減衰は顕著になることを明らかにしている。さらに、傾斜空間における鉛直温度分布性状について検討を行い、本研究で定義した無次元高さを用い無次元温度分布を整理すると、無次元温度が概ね0.3より大きい範囲では、傾斜空間の幅によらず同様の値を示す結果を得ている。そして、傾斜空間内の熱気流性状について仮想熱源距離を用いた線熱源の概念を適用したモデル化を行い、傾斜空間天井面下の熱気流温度の算定式を提案している。

第4章では、数値解析モデルとしてFDS (Fire Dynamics Simulator) を用い、第3章の実験で得られた火災室および傾斜空間の温度や火災室と傾斜空間の間の開口部におけ

る流量係数に関する再現性の検討を行い、建築物地下階における階段加圧煙制御を想定したケーススタディを実施している。再現性に関する検討では、傾斜空間内の熱気流温度分布は、計算値と実験値を比較し、鉛直方向の温度減衰傾向は概ね一致し、さらに傾斜空間の角度が 0° から 30° の範囲で火災室と傾斜空間の間の開口部における流量係数は、FDSの計算値と実験値が概ね一致する結果を得ている。建築物地下階における階段加圧煙制御を想定したケーススタディでは、階段加圧の給気が静圧方式であれば、傾斜空間の下部は外部からの新鮮空気が流入している状態が概ね安定的に維持されることを示している。また、傾斜空間の空気逃し口としての性能確認に関するケーススタディでは、傾斜空間の傾斜角度が 0° に比べ 30° の方が、傾斜空間を設置しない条件の火災室から排出される煙性状は同様になる傾向を明らかにしている。

第5章では、本研究で明らかにした知見を総括し、今後の展望をまとめている。

以上、本論文では、建築物地下階の外部に連絡する傾斜空間に着目し、建築物地下階の火災発生時の煙制御手法について、実建物や模型を用いた実験および数値解析による検討を行い、建築物地下階を想定した火災室および傾斜空間の熱気流性状を把握し、傾斜空間内の熱気流温度予測式等を提案している。本論文は、建築物地下階の火災発生時における安全性を確保するための外部に連絡する傾斜空間に考慮した煙制御手法を検討する上で、工学的な貢献度が極めて高いものであることから、博士（工学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。