

東京理科大学「火災安全科学研究拠点」

■研究成果概要報告書

研 究 課 題		スプリンクラー(SP)作動時における 熱及び煙挙動に関する実験的研究 (2) - 韓国型 SP の区画空間の火災性状と既往 の予測式の検証	実 施 年 度
			平成 26 年度
研究代表者	所属	湖西大学(韓国)	
	氏名	權 寧璡	
	問合せ先メールアドレス	jungangman@naver.com	
受入担当責任者	氏名	松山 賢	

1. 研究の背景および目的

スプリンクラー設備（以下、SP）は消火設備として、その消火性能が優秀で、一番大衆的設備中の一つである。しかし、SP が作動すると加圧噴射された水滴群によって、煙層を下層へ連行する気流（以下、下降気流）が発生して、下層は安全であるという避難安全設計の前提条件が成立しない条件となる。

このような下降気流の物理現象を分析するため、去年の研究（スプリンクラー(SP)作動時における熱及び煙挙動に関する実験的研究(1)）で韓国の SP の粒径/粒速測定及び PIV システムを通じて、下降気流の測定を実施した。しかし、既往の研究は SP の形態による粒径及び粒子速度などに関するデータが少なく、SP に対する追加的なデータベースの構築が必要である。また、追加的な研究として、水膜設備の火災拡大防止性能を測定し、今後、建築物間の燃焼の拡大を防止させるための対策に関する研究を進行したものである。

本研究では継続課題として、韓国の SP の粒径及び粒子速度のデータベースの構築とこれによる下降気流の物理現象を分析することが目的である。

2. 利用施設及び利用日

- ・ 火災実験用実大区画（散水設備対応） (2015 年 02 月 02 日 ～ 02 月 13 日)
- ・ P I V 燃焼場測定システム (2015 年 02 月 04 日 ～ 02 月 13 日)

3. 実験方法・研究成果、および考察（申請時の計画に対する達成度合いも含む）

3.1 実験方法

3.1.1 スプリンクラーの噴霧液滴の特性に関する実験

本研究では 去年の研究の 継続課題として SP に対する追加的な実験を実施した。

SP は韓国で一般的に使用されている P 産業の製品を選定した。表 1 に示したように 開放型 (O-type)、フラッシュ型 (F-type)、住居型 (R-type)、Water Mist の 4 種を選定した。

放水圧力と散水量は韓国の消防法に適合するように放水圧力は 0.1MPa、放水係数 K 値は 80 である。Water Mist は煙下降気流測定のため、注文製作した製品を使用した。

噴霧液滴は粒径、粒速、散水分布の 3 種の項目について測定し、図 1 に噴霧液滴の実験方法を示した。粒径の測定は図 1 に示した測定位置で CCD カメラと Strobe を利用し、画像データが得られ、粒速は PIV システムを利用し、変化を 視覚化した。散水分包は図 2 に示したように採水マス (0.1m²) を区画内の A-F 軸で整列し、採水マスの重さ (kg) を測定した。また、噴霧液滴に対する煙挙動のみを評価するため、区画内の散水範囲は 3/4 の面積のみ散水されるように取水弁を設置した。

表 1 スプリンクラーヘッドの概要

名称	O 型	R 型	F 型	Water Mist
呼称	O-K80	R-K50	F-K80	-
製造社	P 産業製			
散水量	0.1Mpa 80L/min	0.1Mpa 50L/min	0.1Mpa 80L/min	0.3Mpa 40L/min

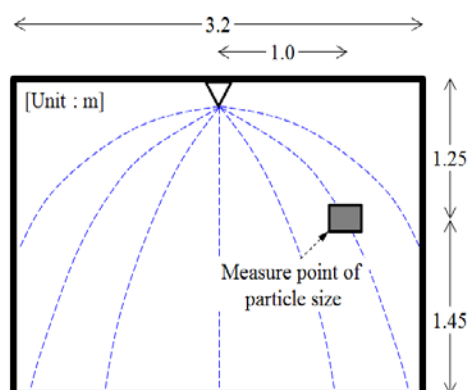


図 1 粒径及び粒速の測定範囲

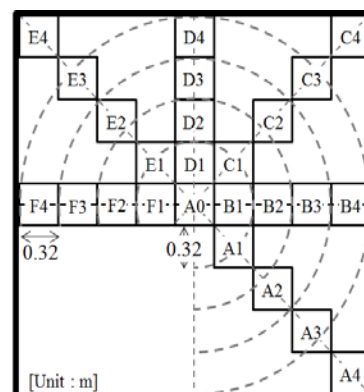


図 2 放水量と散水分布

3.1.2 噴霧液滴による煙の下降気流に対する実験

本実験は噴霧液滴特性と同じ空間に PIV 測定装置を設置して実施した。
煙層の温度の差による下降気流の発生状況の比較と SP ヘッド別性能の差による下降気流の発生状況の比較を行った。
実験条件を表 2 に、測定装置の設置概要を図 3 に示した。

表 2 実験条件

Case	Fuel basket (m ²)	Kind of fuel	Sprinkler	Case	Fuel basket (m ²)	Kind of fuel	Sprinkler
1	-	None	080	10	0.1	ポリウレタン	080
2			R50	11			R50
3			F80	12			F80
4			WM	13			WM
5	0.1	Ethanol	080				
6			R50				
7			F80				
8			WM				
9			WM2				

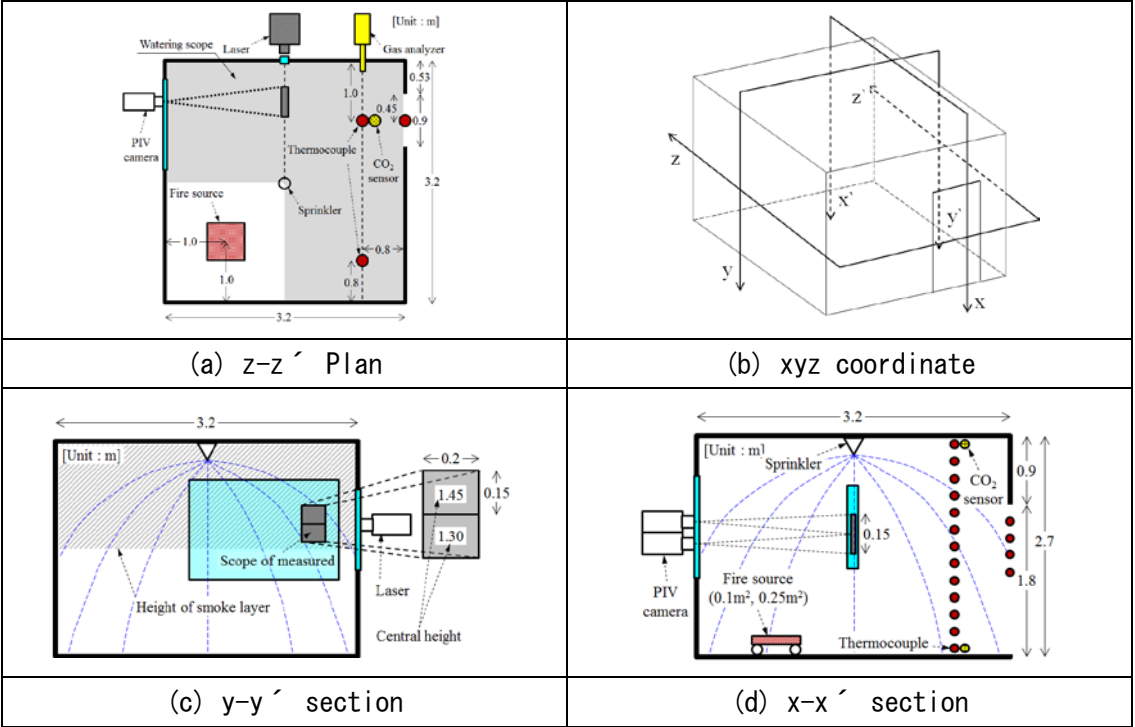


図 3 測定装置及び設置概要

3. 1. 3 水膜設備を利用した燃焼拡大防止実験

本実験で粒径及び撒水分布の測定は前の実験と同じ方法で実施し、図 4 に実験概要を示した。火源はエタノールを使用し、表 3 に実験条件を示した。水膜から火源までの距離及び火源の大きさを変数として実験を行っており、Case 別に水膜設備の作動の有無による温度及び熱流速低下効果を比較分析した。水膜設備の作動は着火後 0. 1m² 火源では 120 秒、0. 25m² 火源では 60 秒に実施した。

表 3 実験条件

Case	距離	火源 Size	Water Screen	
1	0. 5	0. 1 m ²	0	X
2	1. 0		0	X
3	1. 5		0	X
4	2. 0		0	X
5	2. 5		0	X
6	0. 5	0. 25 m ²	0	X
7	1. 0		0	X
8	1. 5		0	X
9	2. 0		0	X
10	2. 5		0	X

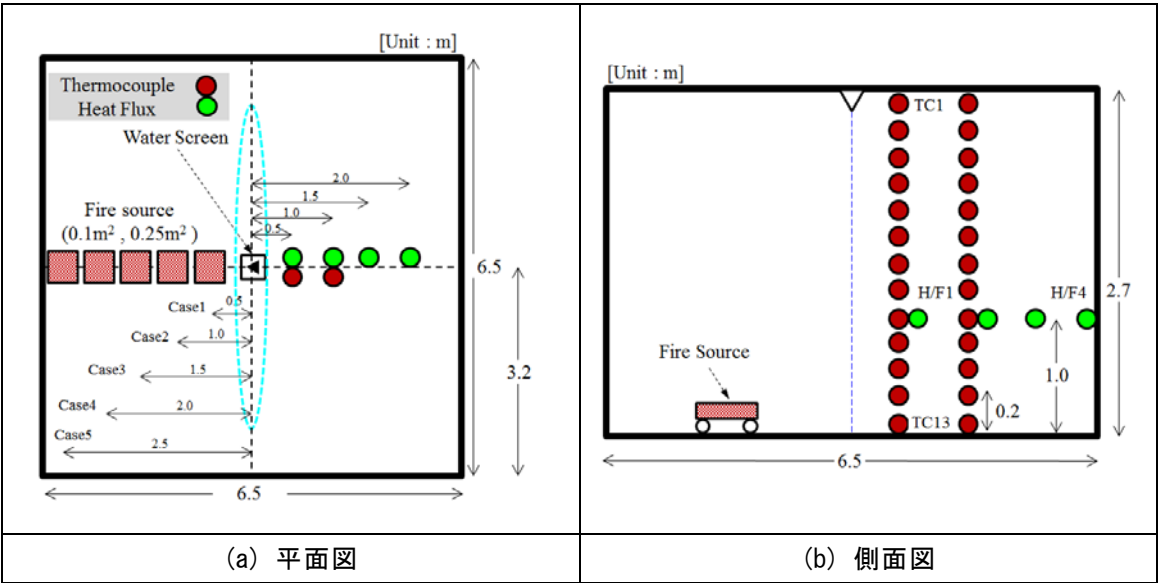


図 4 火源及び熱電対設置位置

3.2 研究成果および考察

3.2.1 スプリンクラーの噴霧液滴の特性に関する実験結果

(1) 粒径測定

SP ヘッド別に約 3000 枚の有効なデータを入力した。SP ヘッド別に平均粒径は Sauter 平均直径の算出を実施し、測定結果を表 3 に示した。

(2) 粒速測定

粒速の測定結果を表 2 に示した。本研究では SP 粒子に従う煙の下降気流を測定するもので、下部方向の Vector 成分値のみを示している。

(3) 散水分布測定

SP の散水分布の測定結果を図 5 に示した。散水分布はディフレクター形態によって分布されることが示された。

表 4 スプリンクラーの噴霧液滴の実験結果

List of measurement	080	R50	F80	Water Mist
Sauter mean diameter (μm)	502	642	610	318
Particles velocity (m/s)	4.92	4.99	6.64	7.03
Spray amount (mL/min. 0.1m ²)	141	175	208	111

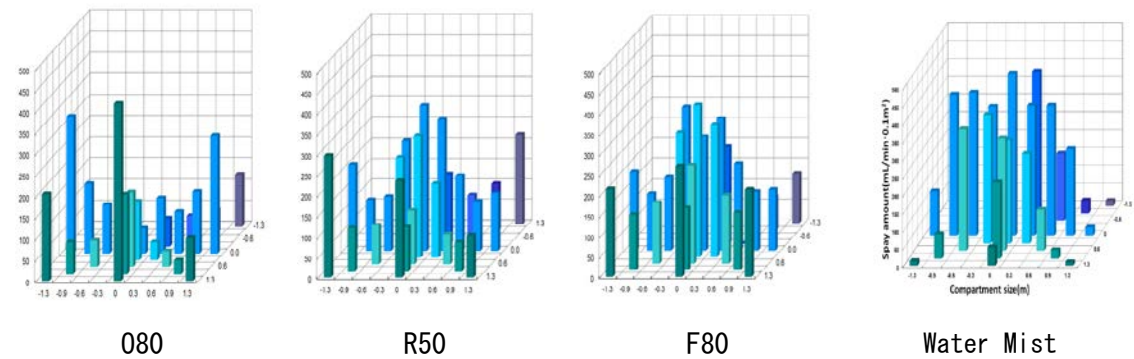


図 5 散水分布測定結果

3.2.2 噴霧液滴による煙の下降気流に対する実験結果

図6に火源によるHRR(Heat release rate)の測定結果を、図7にSPヘッド下降気流の測定結果を示した。SPヘッド別下降気流の測定結果、開放型(O-type)、フラッシュ型(F-type)、住居型(R-type)は火源が大きい場合は(0.25m²)下降気流が安定的に発生したが、火源が小さな場合は(0.1m²)安定的に発生しなかった。Water Mistの場合は煙下降気流速度は平均9.8m/sで他のSPヘッドと大きな差が示され、高い放水圧力差によって違う結果が現れたと判断される。今後、放水圧力を考慮した研究が必要であると判断される。

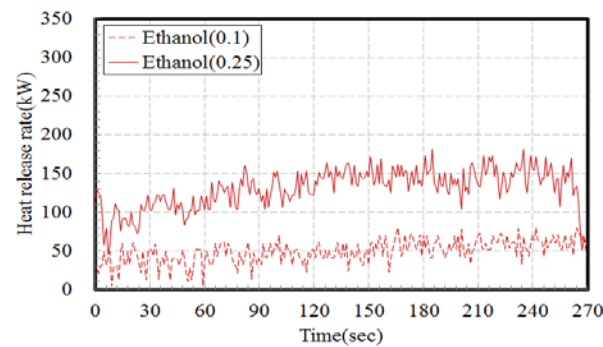


図6 火源別 HRR の測定結果

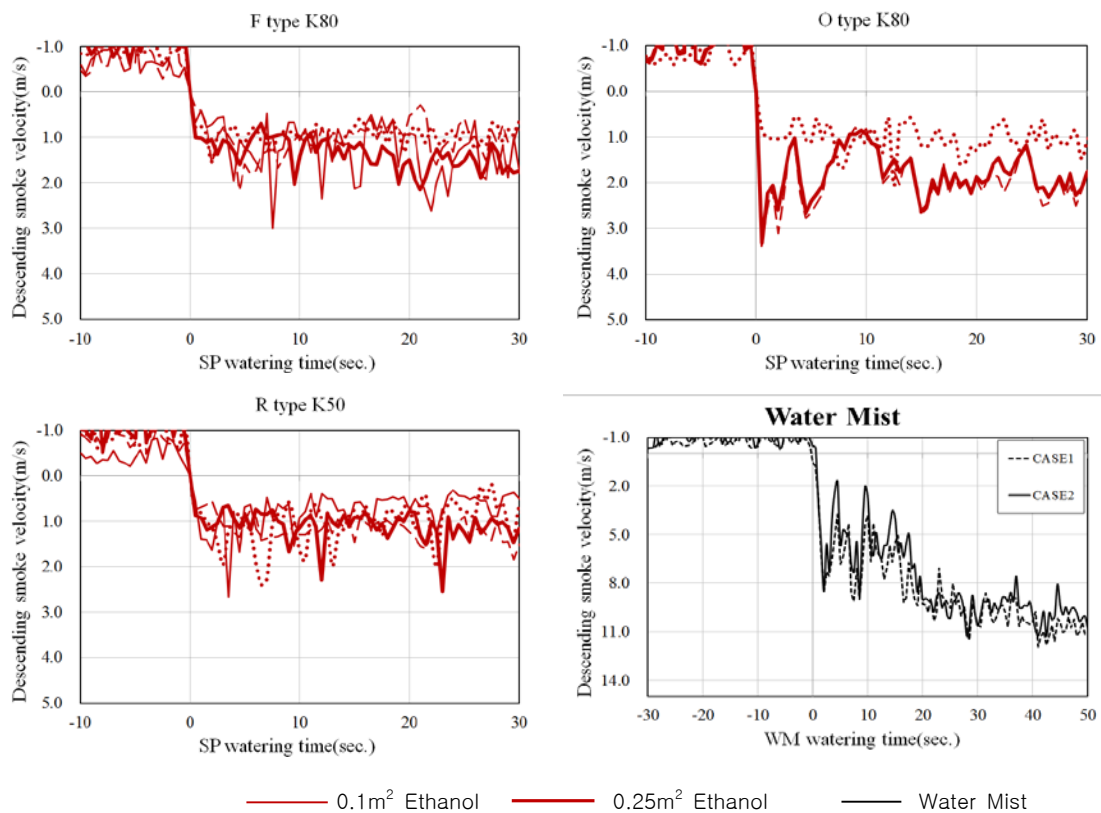


図7 SPヘッド別下降気流の測定結果

3.2.3 水膜設備による燃焼拡大防止性能に関する実験結果

本実験で使用した水膜設備の基本特性及び撒水分布を表5及び図8に示した。

水膜設備を利用した燃焼拡大防止性能実験結果を図9に示した。温度及び熱流速低下の効果分析結果、火源から水膜への距離が燃焼遮断性能に重要な要因であると判断される。しかし、韓国の場合、水膜設備に関する設置及び試験基準が規定されていない状況で、今後、これに対するの基準が必要であると判断される。

表5 水膜設備ヘッドの基本特性

Sauter mean diameter(μm)	585
撒水量($\text{mL}/\text{min}\cdot 0.1\text{m}^2$)	3,805

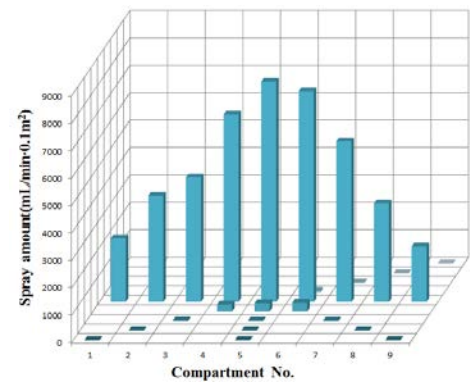


図8 撒水分布の測定結果

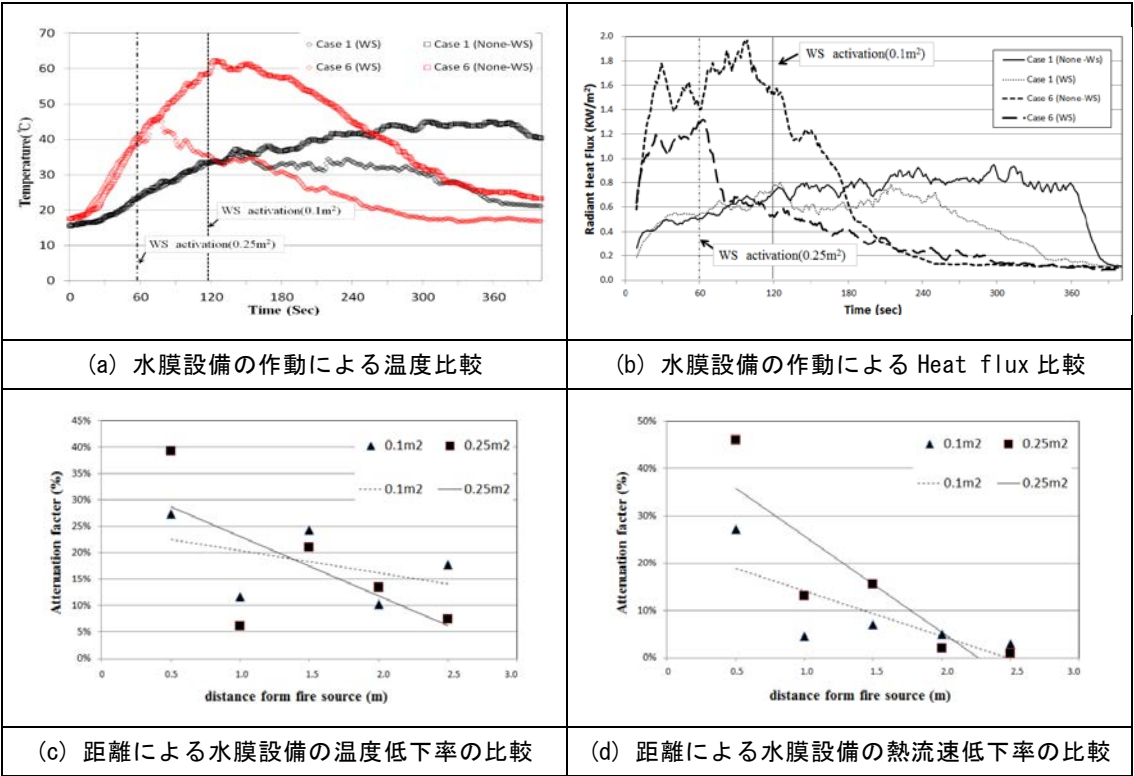


図9 水膜設備による燃焼拡大防止性能実験結果

3.3 計画達成率

研究内容		2014 年						2015 年				
		7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
韓国型 SP の 仕様調査 (WATER MIST/ WATER SCREEN)	予定											
	達成率	100%										
SP 及び その他消耗品の購入	予定											
	達成率				100%							
実験実施	予定											
	達成率								100%			
実験結果の整理及び 分析	予定											
	達成率								100%			
学会の論文作成及び 提出 (大韓建築学会;AIK)	予定											
	達成率										100%	
「研究成果概要」の作 成 及び提出	予定											
	達成率								100%			
「研究成果報告書」の 作成	予定											
	達成率								100%			
「研究成果報告書」の 提出	予定											
	達成率									100%		

4. 今後の展望（今後の発展性、見込み等についても記述）

本研究では韓国の SP の粒径及び粒子速度のデータベースを構築し、SP による 下降気流の物理現象を分析した。また、追加的に水膜設備の火災拡大防止性能に関する研究を実施した。今後、韓日両国の SP 粒径の大きさ及び粒子速度、放水圧力のデータベース構築及び火災拡大防止対策などに関する両国間研究の発展可能性が大きく期待される。

5. 成果の公表状況（学会への発表、学術誌への投稿等を記述。予定も含む）

5.1. 日本火災学会研究発表会 （2015. 5. 16~17）

* 韓国型ウォーターミスト作動時噴霧液滴特性に対する研究

（尹雄起、丘仁赫、權 寧植（湖西大学）、沖永誠治、松山賢（東京理科大学））

* 水膜設備を活用した密集市街地燃焼拡大防止対策に関する実験的研究

（丘仁赫、尹雄起、權 寧植（湖西大学）、沖永誠治、松山賢（東京理科大学））

5.2. 韓国防災学会（2014. 6 月 予定）

- Water Mist 作動時の噴霧液滴の煙に対する影響に関する研究 （予定）

6. 経費の使用状況

消耗品費・会議費・印刷費等		旅費		人件費	
事 項	金額(円)	事 項	金額(円)	事 項	金額(円)
韓国型 SP 購入費	115,000	東京理科大学宿泊施設利用料	(13泊14日×3人) (18泊19日×1人) 157,500	人件費 (食費) (湖西大学負担)	(70,000×3人) (95,000×1人) 165,000
実験材料費	200,000	東京理科大学まで往復交通費	(51,000×4人) 204,000		
小計	315,000	小計	361,500	小計	165,000
東京理科大学 負担分		総計	500,000	円	
湖西大学 負担分		総計	341,500	円	

※スペースが足りない場合はページを増やしても構いません。

※上記 5 に記載された成果公表については、別刷 1 部をご提出願います。PDF ファイル等の電子データでも構いません。

※本成果報告概要書に記載された内容は、本拠点の成果報告として Web 等で公開されることをお含み置き下さい。

※本成果報告概要書と併せて、研究報告書を提出頂いても構いません。（フォーマットは問いません。）

※後日開催予定の成果講評会で使用されるプレゼンテーション用の電子ファイルについても提出願います。（学内での報告に使用）

水膜設備を活用した密集市街地 燃焼拡大防止対策に関する実験的研究

丘仁赫、尹雄起、權寧璫(湖西大学)、沖永誠治、松山賢(東京理科大学)

An Experimental Study on the Prevention Countermeasures of
Fire Propagation in Condensed Urban using Water Screen System
In-Hyuk, Koo and Ung-Gi, Yoon and Young Jin, Kwon and Seiji Okinaga and Ken Matsuyama

1. はじめに

最近、韓国では地震発生が増加及び密集市街地で大型火災が持続的に発生し、建築物の密集地域の都市火災の危険性に対する社会的関心が増加している。

特に、2014年九龍村火災、2015年議政府アパート火災のように韓国では老朽化された密集市街地だけではなく、一般建築物の密集地域でも火災が隣の建物に拡大される事例が発生している。

しかし、このような建築物間の燃焼拡大を防止するための対策は、外壁の不燃化以外には規定されていない状況である。

したがって、本研究では建築物間の燃焼の拡大を防止するための対策として水膜設備の火災拡大防止性能を測定し、今後、都市火災危険性の評価及び防止対策として活用することを目的にする。

2. 水膜設備を利用した燃焼拡大防止実験

2.1 試験方法

本実験で使用した水膜設備の基本特性及び撒水分布を表1及び図1に示した。

粒経の測定はCCDカメラを利用し、約2000枚の有効なデータを入力した。平均粒経はSauter平均直径の算出を実施した。撒水分布は実験区画内部に採水マス(0.1m²)を整列し、採水マスの重さ(kg)を測定した。撒水分布は、総3回実施し、その平均値が導出した。

図2に実験概要を示した。火源はエタノールを使用した。表2に実験条件を示した。

水膜から火源までの距離及び火源の大きさを変数として実験を行っており、Case別に水膜設備の作動の有無による温度及び熱流速低下効果を比較分析した。

水膜設備の作動は着火後0.1m²火源では120秒、0.25m²火源では60秒に実施した。

表1 水膜設備ヘッドの基本特性

Sauter mean diameter(μm)	585
撒水量(mL/min・0.1m ²)	3,805

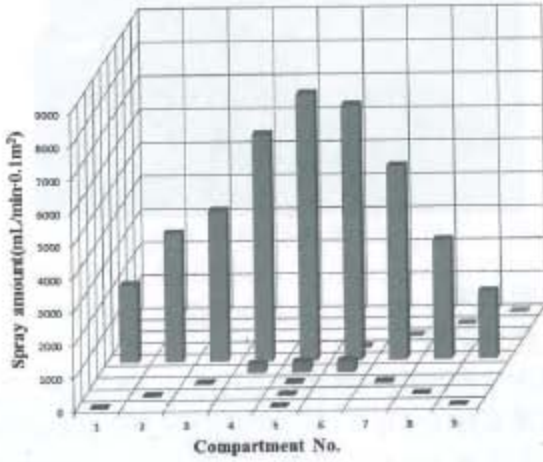
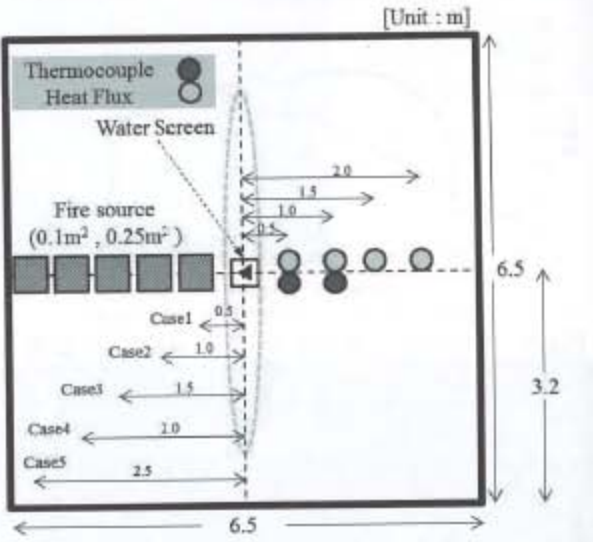
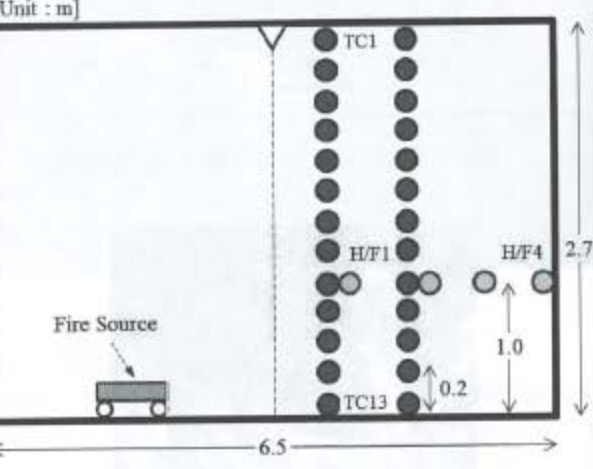


図1 撒水分布の測定結果



平面図



側面図

図2 火源及び熱電対設置位置

表 2 実験条件

Case	距離	火源 Size	Water Screen	
1	0.5	0.1 m ²	O	X
2	1.0		O	X
3	1.5		O	X
4	2.0		O	X
5	2.5		O	X
6	0.5	0.25 m ²	O	X
7	1.0		O	X
8	1.5		O	X
9	2.0		O	X
10	2.5		O	X

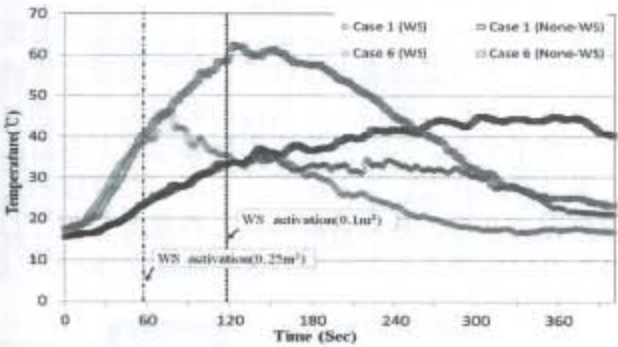


図 3 水膜設備の作動による温度比較

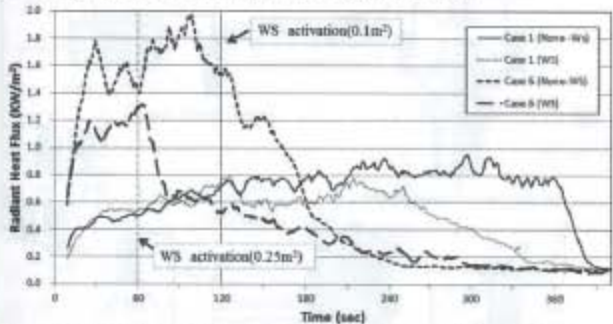


図 4 水膜設備の作動による Heat flux 比較

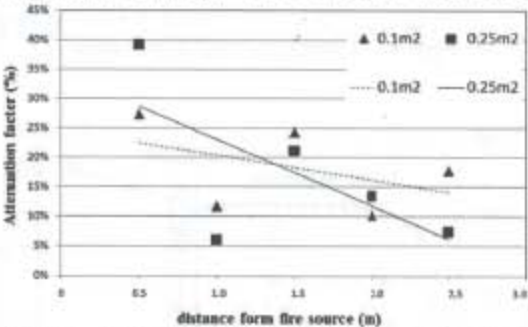


図 5 距離による水膜設備の温度低下率の比較

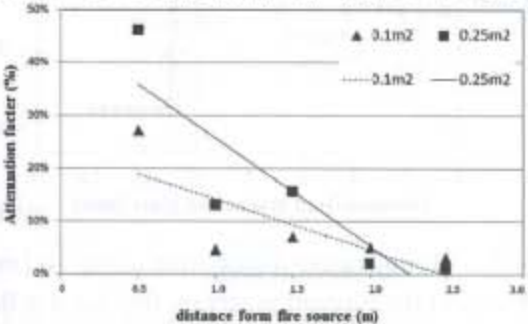


図 6 距離による水膜設備の熱流速低下率の比較

2.2 実験結果

水膜設備を利用した燃焼拡大防止性能実験結果は以下の通りである。図 3 は水膜設備の作動による温度低下の効果を測定したデータである。水膜との距離が最も近い Case1、6 を対象に分析を実施した。TC-4 を基準に分析を行った。

Case1 の場合、水膜設備作動後、約 30 秒後から温度低下の効果が発生し、約 10℃ の温度低下の効果が示された。Case6 の場合、水膜設備作動直後に温度が低下し、約 30℃ の温度低下の効果が示された。

図 4 は水膜設備の作動による熱流速低下効果を測定したデータである。H/F1 を基準に分析を行い、Case1 の場合、水膜設備作動後、約 0.2KW/m² の差が発生した。Case6 の場合、水膜設備作動後、約 1.5 KW/m² の差が発生した。

図 5 に火源と水膜の距離による温度低下比率は示した。水膜との距離が 0.5m の場合、大型火源 (0.25m²) は約 40%、小型 (0.1m²) は約 28% の温度低下が現れた。しかし、水膜から距離が増加する場合、遮断効果が急激に減少した。

図 6 に火源と水膜の距離による熱流速の低下比率を示した。0.5m 距離では約 45%、28% の熱流速低下の効果が現れるが、以後、距離によって急激に遮断効果が減少した。

温度及び熱流速低下の効果分析結果、火源から水膜への距離が燃焼遮断性能に重要な要因であると判断される。しかし、韓国の場合、水膜設備に関する設置及び試験基準が規定されていない状況で、これに対するの基準が必要であると判断される。

3. まとめ

水膜設備を活用した密集市街地の燃焼拡大防止対策に関する実験結果、燃焼拡大防止設備として水膜設備を活用時、火源との距離が重要な要素であると判断される。

今後、水膜設備の特性を考慮した都市火災危険性評価及び設置基準に関する研究が必要であると判断される。

[謝辞]

本研究は産業通商資源部技術革新事業の標準技術力向上事業 (10042384) と東京理科大学・総合研究機構・火災科学研究センターとの共同研究によるものでここで謝意を表す。

[参考文献]

1) Sunahara, H., Ishihara, T., Matsuyama, K., Sugahara, S. and Morita, M., (2011). Relation between Heat Release Rate and Radiative Heat Flux of Wooden Crib Burning during Water Discharge, Fire Science and Technology, Vol.30, pp.1-25

韓国型ウォーターミスト作動時 噴霧液滴特性に対する研究

尹雄起、丘仁赫、權寧璠(湖西大学)、沖永誠治、松山賢(東京理科大学)

A study on the Characteristic of spray droplets of Korean model Water mist
Ung-Gi, Yoon and In-Hyuk, Koo and Young Jin, Kwon and Seiji Okinaga and Ken Matsuyama

1. はじめに

最近、韓国では建築物の大型化、高層化され、多様なパターンの火災を発生しており、火災の危険性も増加している。また、性能基盤火災安全設計の重要性が大きくなり、さらに最近 Water Mist (以下、WM) 設備の使用頻度が増えております。

前の研究⁴⁾ではスプリンクラー(以下、SP)作動時噴霧液滴が煙層に及ぼす影響を調べるため、韓国のSPの噴霧液滴特性と煙層の挙動を考察した。

本研究ではWMの噴霧液滴特性と煙層の挙動を調べるため、WMとSPが作動時煙層に及ぼす影響を比べて分析することが目的である。

2. 実験

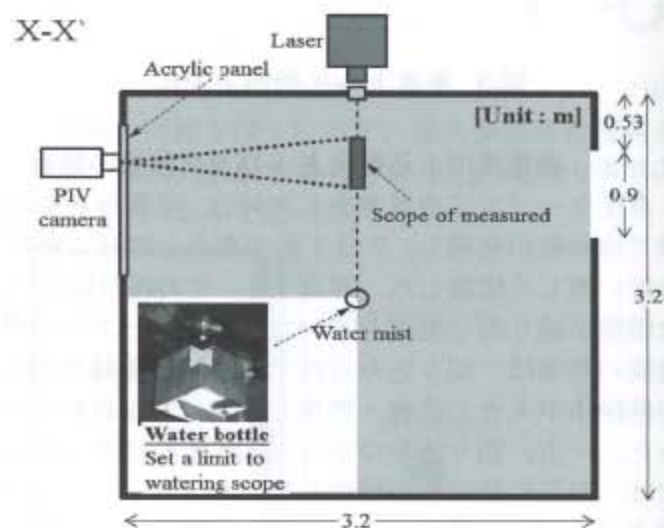
2.1 実験方法及び条件

WMは微噴霧消火設備の火災安全基準に従い、放水圧力が3.0Mpaで一定とし、また、WMの仕様は表1に示した。全体実験空間は図1に示したように、天井の中央上部にWMNozzleを設置してWM作動時、噴霧液滴の粒経、粒速、撒水分布の三つの項目について測定した。粒経の測定はCCDカメラを利用し、約2000枚の有効な画像データを手に入れた。粒速測定はPIV(Particle Image Velocimetry)システムを利用、垂直下部方向のベクトルを測定した。

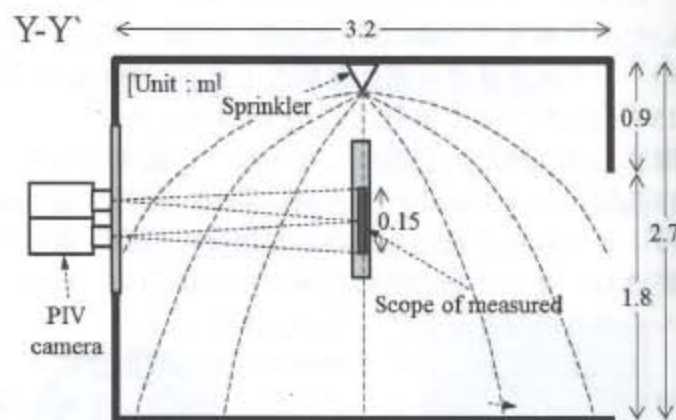
撒水分布は図2に示したように、採水マス(0.32×0.32)総25個を使用した。1分間撒水して撒水量を測定した。

表1 Water mist概要

名称	圧力	撒水量	写真
Water mist Nozzle	3.0 Mpa	80 L/min	



(a) 平面図



(b) 断面図

図1 実験場概要図

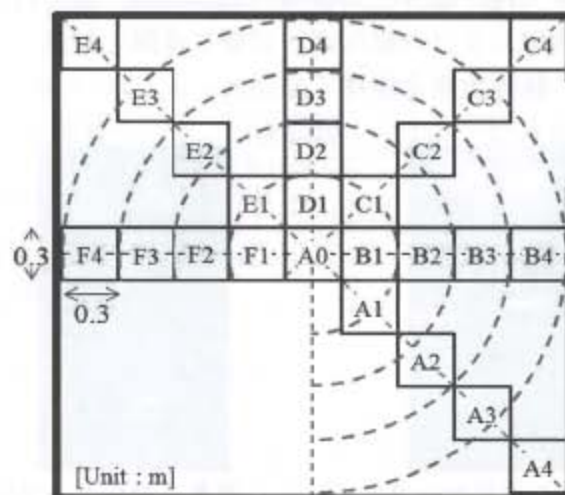


図2 散水分布図

粒経の測定結果、約 2000 枚の有効なデータを入力した。式(1)の Sauter 平均粒経方式を利用し、その結果を表 2 に示した。

$$\bar{x} = \frac{\sum n_i x_i^3}{\sum n_i x_i^2} \quad (1)$$

平均粒経： $\bar{x}$ 粒経： n_i 粒子の数： x_i

粒速は垂直下部方向のベクトルデータを分析し、表 2 に示した。散水分布測定は、総 3 回実施し、測定結果を表 2 及び図 3 に示した。

表2 噴霧液滴特性測定結果

区分	Water mist
粒経(μm)	318
粒速(m/s)	7.03
撒水量 (mL/min・0.1m ²)	219

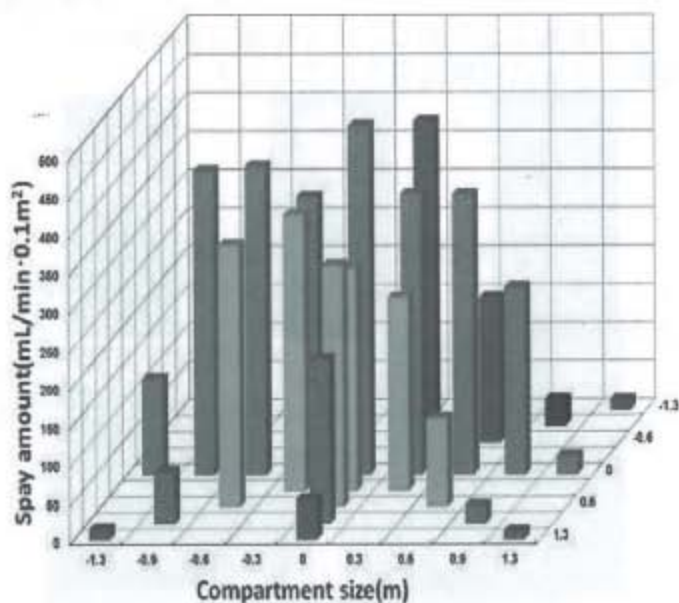


図 3 撒水分布の測定結果

2.3 考察

SP 別に噴霧液滴特性を比較分析した結果を図 4 に示した。SP ヘッドは撒水量と粒経との関係で線形関係となることが分かる。しかし、WM の場合、放水圧力の差によって違う傾向が見られ、これにより、煙挙動に及ぼす影響も差があると思われます。

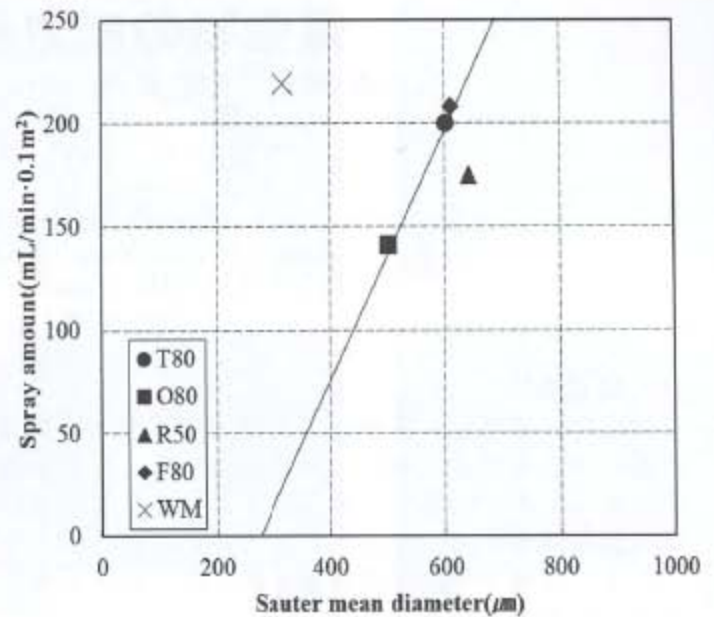


図4 噴霧液滴特性比較分析結果

3. 結論

韓国型 Water Mist の噴霧液滴を測定した結果、高い放水圧力 (3.0Mpa) により、粒速が 7.03m/s と示され、SP の現象とは異なる結果となった。粒経は韓国の微噴霧消火設備の火災安全基準である 400 μm より小さい 318 μm となり、また、撒水分布の場合、SP と比べ狭くなる傾向が見られた。今後、WM Nozzle が Smoke Logging 現象に及ぼす影響に対する検討が必要であると思われる。

[謝辞]

本研究は産業通商資源部技術革新事業の標準技術力向上事業(10042384)と東京理科大学・総合研究機構・火災科学研究センターとの共同研究によるものでここで謝意を表す。

[参考文献]

- 1) M.L.Bullen, The effect of a sprinkler on the stability of a smoke layer beneath a ceiling, Fire technology, 1974, pp.21-34
- 2) T.Masato, A study on Smoke Behavior affected on Droplets of Sprinkler, Master thesis of TSU, 2012
- 3) D.G.Seo, The Analysis on the Design Factor such as Design Fire, Occupant Density and Sprinkler Droplet for Performance-Based Fire Safety Design, Doctor thesis of Hoseo Univ. 2013
- 4) U.G.Yoon, A study on the characteristic of spray droplets and smoke behavior during sprinkler of Korean model, Japan association for fire science and engineering, 2014, pp.68-69