

옥내화재시 급기구의 높이에 따른 암흑화에 관한 연구 A Study of Obscuration on Height of Air Supply in Indoor Fire

이 창 섭

Lee, Chang Seop

경기도 소방학교
(2001. 04. 06. 접수/2001. 08. 16. 채택)

요 약

옥내화재에서 높이에 따른 암흑화의 정도를, 본 연구를 목적으로 제작된 스모크박스를 이용한 실험을 통해 측정하였다. 연기로 인한 암흑화의 정도는 높이에 따라서 결정되는데, 높은 곳일수록 그 정도가 심했다. 그러나 급기구가 있는 높이에서는 암흑화가 심해지는 변이가 일어났다.

ABSTRACT

This paper examined the variation in obscuration with height at indoor fire. The experiments were performed using a smoke box which is made for this job. It was found that the degree of smoke obscuration is depending upon the height. The obscurity at low position is less than that of high position. But there exist the deviation of obscurity at the position of air supply height.

Keywords : Obscuration, Indoor fire, Smoke box, Air supply height

1. 서 론

화재시 연기는 시야를 가린다는 측면에서 가장 위험한 것이다. 연기가 종종 화재를 조기에 발견하게 해주는 측면도 있지만 차단과 자극효과로 페닉(panic)을 유발시키는 요소로 작용한다. 따라서 연기는 건물내의 사람들이 안전하게 옥외로 대피하거나 구조대원들이 갇힌 사람들을 구조하는데 큰 걸림돌이 되고 있다.¹⁾

연기가 출구를 가릴만큼 생성되는 속도는 매우 빠르며 이것이 화재에서 일어나는 첫 번째 위험요소가 되는 경우가 흔하다. 로스앤젤레스 학교 화재 실험(Los Angeles school fire test)에서 지하층에서 발생한 화재에서 연기가 복도에서 건널 수 없을만큼 되는데는 온도가 위험할만큼 오르는 것보다 빠르다는 사실이 밝혀졌다. 연기는 시야를 가린다는 측면에서 가장 위험한 것이다. 연기가 종종 화재를 조기에 발견하게 해주는 측면도 있지만 차단과 자극효과로 페닉을 유발시키는 요소로 작용한다. 연기입자나 에어로졸을 흡입하는 것 역시 위험하며 연기에 오래 노출되면 호흡시스템에 치

명적인 해를 입는다. 연기입자는 심호흡으로 폐에 흡입될만큼 충분히 작아서 독성물질로 인한 호흡기의 장애를 유발한다.²⁾

화재건물에서 탈출하는데 있어서 연기로 인한 암흑화의 여부는 가장 중요한 사항이며, 따라서 옥내 암흑화의 추이를 예상할 수 있다면 대피나 진압, 구조에 절대적으로 유리하다.

화재건물에서 암흑화와 유독성 연소생성물 체류는 굴뚝효과와 부력에 의해 상대적으로 높은 지점에서 많이 형성된다.³⁾ 본 연구는 옥내 암흑화 정도를 높이별로 측정함으로써 궁극적으로 화재건물 내에서의 안전성을 확보하는데 의의를 두고 있다.

2. 이론적 고찰

연기는 미세한 입자물질과 에어로졸과 같은 부유성 액적으로 구성되어있다. 이와 같은 탄소질 물질은 화재의 일반적인 조건 하에서 불완전 연소할 때 생성된다. 연기를 구성하는 입자나 에어로졸의 평균 크기는 가시광선의 파장의 크기와 같아서 빛이 산란되므로 시야는 암흑화된다.

† E-mail: chars1@chollian.net

석유계 물질 중에서 특히 방향족 탄화수소가 어두운 흑연을 형성하기 쉽다. 연기의 색깔과 연소생성물의 독성과는 직접적인 연관은 없다. 연기는 시야를 가리므로 탈출구를 찾기 힘들게 하고 따라서 화재건물 내의 사람들이 탈출하는 것을 방해한다.²⁾

연기로 인해 시계(視界, visibility)가 감소되고 암흑화가 발생하는 현상은 다음의 두 이유에 의한 것이다.⁴⁾

- 빛이 연기 층을 통과하면서 연기입자에 의해 입체적으로 가로막히므로 그 세기가 약해진다.
- 빛이 광원에서부터 나와서 연기층을 통과하면서 산란된다.

물질이 연소하면서 발생하는 연기의 수율(yield)은 다음 중의 한 방법으로 측정할 수 있다.⁵⁾

- 연기를 여과해서 걸러진 입자의 무게를 정량하는 방법
- 일정량의 연기를 포집해서 광학적 밀도(optical density)를 측정하는 방법
- 연소가 이루어지고 있는 공간에서 광학적 밀도를 바로 측정하여 평균치를 취하는 방법

광학적 밀도는 시계와 직접적인 관련이 있으며, 연기층을 통과하는 빛의 감소 정도에 의해 결정된다.

$$D = -10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \text{decibels(db)}$$

여기서 D는 광학적 밀도이며, I₀는 입사광의 세기이고, I는 연기층을 투과한 광의 세기이다.

연기의 밀도는 암흑화의 백분율로도 나타낼 수 있다.

$$\frac{I_0 - I}{I_0} \times 100$$

암흑화의 백분율과 광학적 밀도의 관계는 Table 1과 같다.

그리고 다음의 식으로도 표시된다.

$$I = I_0 \exp(-\kappa CL)$$

여기서 κ 는 연기의 흡광계수로서 연기입자의 크기에

의존하고, C는 연기의 질량농도(mass concentration), 그리고 L은 광선(optical beam)의 경로길이이다.

3. 실험 방법

가로 40 cm, 세로 40 cm, 높이 80 cm 직육면체의 투명한 아크릴로 제작된 스모크박스(smoke box), 백열등, 그리고 등으로부터 나와서 스모크박스를 통과한 빛을 감지하는 조도계를 설치하였다(Fig. 1).

스모크박스 안에서 밀폐된 상태로 시료를 연소시켜서 연기를 가득 채운 다음 급기구와 배기구의 용도로 설치된 아래, 위 두 개의 한변이 5 cm인 정사각형 개구부를 개방시킴과 동시에 초시계를 작동시켜 조도 변화에 따른 시간을 측정하여 그 결과를 정리하였다.

배기구를 60 cm 높이에 고정시켜 놓고, 급기구를 40 cm 높이로 실시한 것을 [실험 1], 급기구를 20 cm 높이로 실시한 것을 [실험 2], 그리고 바닥에 면하게 위치시켜 실시한 것을 [실험 3]으로 하였다(Fig. 2).

각 실험에서 같은 높이로 설치된 등으로부터 나와서 스모크박스를 통과한 빛이 1,000 Lux로 감지되게 등과 조도계의 간격을 조정해 놓고, 3 g의 폴리에스터 커튼을 연소시킨 후 개구부(급기구와 배기구)를 개방함과 동시에 초시계를 작동시켜 조도계의 때 20 Lux 변화마다 경과된 시간을 측정하는 방법의 실험을 높이(70, 60, 50, 40, 30, 20, 10 cm)별로 1회씩 실시하였다.

연기가 가득찬 스모크박스에 개구부를 개방하여 환기가 시작되면 암흑화도(obscuration)는 시간이 경과함에 따라 감소하는데, 환기가 시작된 후 15분 정도가 경과하면 조도계의 20 Lux 변화에 소요되는 시간이 상당히 긴 완만한 변화점에 도달하는데 이때 실험을 종료하였다.

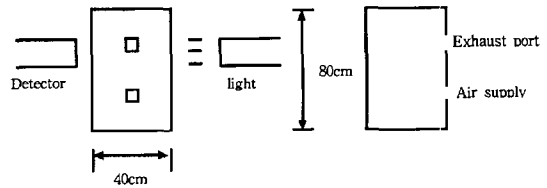


Fig. 1. Representation of experimental apparatus.

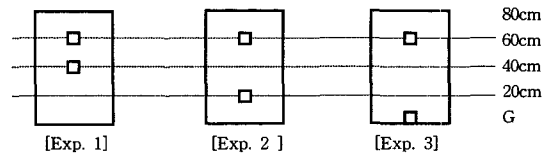


Fig. 2. Port height of each experiment.

Table 1. Relationship between percentage obscuration and optical density

Percentage obscuration	Optical density (db) ^a
10	0.46
50	3.0
90	10
95	13
99	20

4. 결과 및 고찰

배기구의 위치는 60 cm의 높이에 고정되어 있고, 흡기구의 위치를 40 cm 높이로 한 [실험 1]에서 10 cm

Table 2. Variation of time with lightness in [Exp. 1] (sec)

Height(cm) Lightness (Lux)	10	20	30	40	50	60	70
180						0	
200	0		0			29	
220	9	0	13		0	58	0
240	29	10	33	0	12	75	31
260	51	27	46	17	21	94	43
280	57	38	69	27	54	107	79
300	77	60	82	35	63	139	100
320	85	77	96	49	82	152	117
340	94	90	115	68	94	171	160
360	117	114	136	95	102	191	174
380	131	122	147	101	132	213	201
400	140	145	166	131	148	217	219
420	160	153	182	141	179	255	253
440	179	176	198	157	204	261	279
460	192	194	220	170	215	296	295
480	209	208	244	194	245	311	324
500	235	230	262	212	271	357	369
520	251	249	283	229	293	370	411
540	261	266	315	256	321	389	448
560	286	283	335	282	335	421	459
580	310	300	356	309	367	429	509
600	326	335	378	329	401	469	516
620	347	348	417	351	431	490	548
640	371	378	436	382	461	525	584
660	398	410	467	405	480	549	631
680	421	433	511	433	518	593	657
700	449	475	547	477	560	615	696
720	478	509	596	506	587	668	745
740	507	536	652	551	659	710	799
760	545	574	704	678	711	769	834
780	579	621	795	780	776	826	898
800	620	688	847	845	834	900	940
820	662	725	934	922	868		
840	720	778	1053		965		
860	778	873					
880	871	967					

높이부터 70 cm 높이까지 각 10 cm 간격의 높이당 1 회씩 실시한 실험의 결과는 Table 2와 같다.

모든 높이의 실험에서 데이터가 확보된 공통구간인 240 Lux에서 800 Lux까지 560 Lux 구간에서의 각 높이 별 조도의 변화속도를 Table 3과 Fig. 3에 나타내었다.

암흑화도의 감소속도는, 제일 낮은 위치인 10 cm 높이에서 제일 크고, 높은 위치로 갈수록 점차 감소하다가 50 cm 지점에서 증가하였다가 70 cm 지점에서 다시 감소하였다. 즉, 낮은 곳일수록 환기속도가 빠르는데 40 cm 높이의 급기부 부근에서 변이가 일어났다.

급기구 지점에서의 변이가 개연성이 있는지를 확인하기 위하여 급기구 위치를 20 cm 낮추어 개구부 높이를 60, 20 cm로 하고 [실험 2]를 진행하여 Table 4의 결과를 얻었다.

공통구간인 760 Lux에서 320 Lux까지의 440 Lux구간에서의 각 높이별 조도의 변화속도를 Table 5와 Fig. 4에 나타내었다.

급기구 지점인 20 cm 높이에서의 변이가 [실험 1]에서 보다는 훨씬 크게 나타나고 있다.

암흑화도의 감소속도가 낮다는 것은 암흑화도가 높다는 것으로 이해할 수 있는데, [실험 1]과 [실험 2]에서 나타난 변이는 급기구 높이에서 상대적으로 높은 암흑화도를 형성한다는 것을 의미한다.

실험실을 어둡게 하고 스모크박스의 조명은 밝게 설치하여 스모크박스에서의 기류의 흐름이 드러나도록

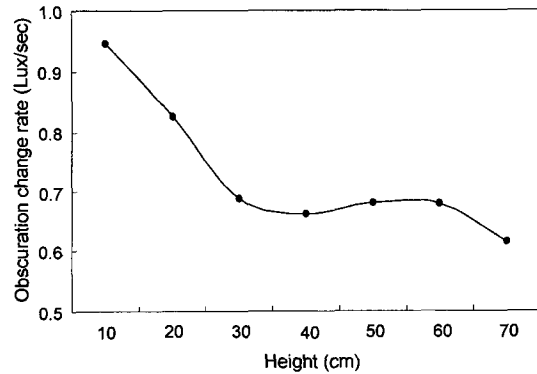


Fig. 3. Variation of obscuration change rate with height in [Exp. 1].

Table 3. Variation of obscuration change rate with height in [Exp. 1]

Height(cm)	10	20	30	40	50	60	70
Time(sec)	591	678	814	845	822	825	909
Lux(560)/sec	0.946	0.826	0.688	0.663	0.681	0.679	0.616

Table 4. Variation of time with lightness in [Exp. 2] (sec)

Height(cm) \ Lightness (Lux)	10	20	30	40	50	60	70
180							0
200		0		0			33
220		5		6		0	52
240		17		19		10	74
260		35		24	0	28	88
280		51		49	13	39	114
300		67	0	57	19	62	130
320	0	72	13	80	39	78	150
340	5	92	23	87	48	97	167
360	13	107	44	101	61	108	228
380	21	118	57	112	79	134	244
400	56	134	64	130	95	142	294
420	67	149	74	138	108	161	309
440	73	173	81	146	126	186	350
460	79	192	98	169	152	202	363
480	90	217	106	182	165	235	379
500	101	225	136	209	180	261	396
520	121	244	143	220	205	288	411
540	129	262	165	225	236	307	429
560	139	281	189	231	250	334	449
580	161	300	199	246	291	343	472
600	176	319	209	283	336	379	505
620	185	352	224	304	360	397	527
640	193	283	233	310	372	437	567
660	232	401	254	329	386	449	597
680	253	432	272	376	430	458	647
700	270	458	281	381	452	507	690
720	278	490	288	394	461	559	729
740	322	525	327	445	548	596	809
760	337	605	358	470	560	624	886
780	398	647	381	488	590	656	
800	429	705	411	559	628	711	
820	482	821	444	582	666	754	
840	546		451	646	711	881	
860	637		520	692	740		
880	737		556	774	804		
900	866		619	838	863		
920			713				
940			845				

한 다음, 실험을 하면서 육안으로 관찰해 본 결과, Fig. 5와 같이 급기구의 공기유입 흐름은 명확한 선을 이루

Table 5. Variation of obscuration change rate with height in [Exp. 2]

Height(cm)	10	20	30	40	50	60	70
Time(sec)	337	533	345	390	501	546	736
Lux(560)/sec	1.306	0.826	1.275	1.128	0.878	0.806	0.598

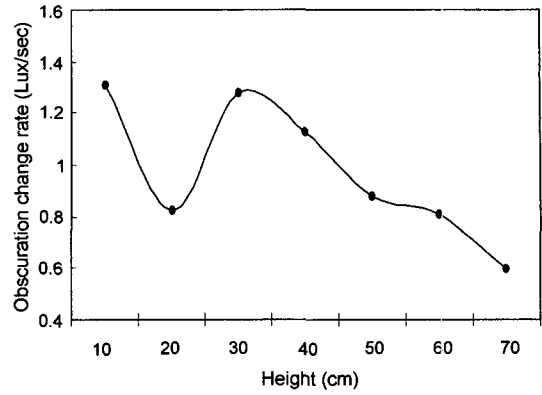


Fig. 4. Variation of obscuration change rate with height in [Exp. 2].

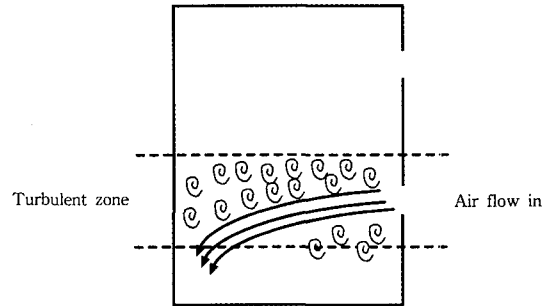


Fig. 5. Turbulent zone near air supply.

고 있었다.

육안으로 급기의 흐름을 관찰한 결과를 고찰하면 이 부근에서 상대적으로 암흑화도가 높아지는 변이는 와류(turbulence)의 발생에서 비롯된 것으로 사료된다.

와류는 흐르는 유체와 벽과의 접촉으로도 발생하고 각기 다른 속도로 움직이는 유체간의 접촉으로도 발생하는데 전자는 wall turbulence, 후자는 free turbulence이다.⁶⁾

free turbulence는 정적인 유체속으로 흐르는 유체에서도 발생하는데 본 실험의 변이는 free turburbulence의 발생에 의한 것이라고 사료된다. 급기구 위치의 실험에서 조도계의 눈금이 불규칙하게 흔들리는 것도 이를 뒷받침한다.

대부분의 건물은 출입문이 바닥에 면해있고 화재시

Table 6. Variation of time with lightness in [Exp. 3] (sec)

Height(cm) \ Lightness (Lux)	10	20	30	40	50	60	70
200	0						0
220	5				0	0	11
240	19	0		0	3	10	22
260	24	12	0	12	10	22	34
280	36	20	24	19	16	26	53
300	43	24	20	26	21	31	72
320	58	28	40	30	34	43	103
340	66	54	46	50	40	68	108
360	80	61	59	59	53	74	136
380	93	68	67	72	65	94	154
400	103	82	86	83	72	103	169
420	111	99	104	91	86	115	202
440	120	108	122	99	90	130	219
460	142	117	127	114	105	153	250
480	149	133	138	129	119	180	278
500	150	140	152	143	132	185	310
520	162	153	161	153	159	193	341
540	169	160	177	164	185	221	362
560	198	177	194	186	209	243	407
580	209	184	221	198	222	269	449
600	221	206	233	204	234	281	472
620	229	218	246	215	245	338	505
640	256	236	261	228	260	364	537
660	277	250	268	251	280	413	575
680	293	273	287	275	301	452	622
700	306	280	320	296	344	483	654
720	319	311	349	331	379	521	697
740	365	326	358	350	398	570	735
760	381	347	379	305	404	597	795
780	404	369	397	328	500	653	835
800	443	410	407	429	525	700	883
820	500	449	460	500	568	791	
840	538	487	497	552	600	909	
860	589	522	548	588	656		
880	684	589	626	844	714		
900	813	654	748		844		
920		793					

이로부터 공기가 유입되는 경우가 많으므로 가장 실제적인 조건으로 급기구 위치가 바닥에 면한 조건에서

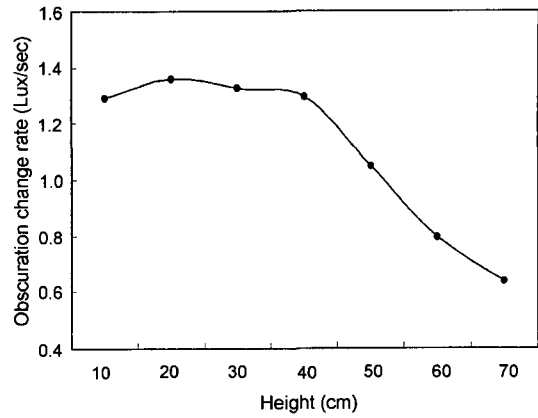


Fig. 6. Variation of obscuration change rate with height in [Exp. 3].

[실험 3]을 실시하여 Table 6의 결과를 얻었다.

[실험 3]에서도 [실험 1], [실험 2]와 마찬가지로 260 Lux에서 800 Lux까지 540 Lux 공통구간에 대해 각 높이별 조도의 변화속도를 Table 7과 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 급기구와 제일 가까운 10 cm 지점에서는 오히려 암흑화도 감소속도가 떨어지는 변이가 역시 일어났다. [실험 3]에서도 역시 10 cm 높이 실험 중 조도계의 눈금이 흔들리는 현상이 발생하였다.

5. 결 론

대부분의 건물에서 연기이동을 일으키는 요인은 굴뚝효과, 외부압력의 영향, 건물내부의 강제적인 공기이동 등이다. 이 중 굴뚝효과는 정상상태의 건물에서의 공기이동에 가장 명확하게 적용된다. 굴뚝효과는 건물에서의 연기와 유독가스의 확산 원인이 되고 지상에서 지붕까지의 강한 상승기류가 특징이다. 따라서 화재진압이나 피난시 자세가 낮을수록 안전하다고, 즉 낮은 곳이 높은 곳보다 항상 암흑화도와 유독성 연소가스 체류정도가 덜하다고 이해되었고, 실제로 많은 교육이 이를 내용으로 하고 있다. 그러나 본 연구에서 보았듯이 급기구 역할을 하는 개구부 높이에서는 변이가 일

Table 7. Variation of obscuration change rate with height in [Exp. 3]

Height(cm)	10	20	30	40	50	60	70
Time(sec)	419	398	407	417	515	678	849
Lux(560)/sec	1.289	1.357	1.327	1.295	1.049	0.796	0.636

어나므로 급기구 높이에서는 그 상층부보다 오히려 더 위험할 수 있다는 것이 증명되었다. 물론 암흑화의 정도가 유독성 연소가스 체류정도와 반드시 일치하지는 않지만 비슷한 거동을 보일 것으로 추측되어지고, 암흑화만으로도 시야차단에 의한 극도의 공포감이 조성되어 폐닉을 유발하므로 진압이나 대피에서 유리한 높이를 선택할 때 본 연구의 결과를 고려한다면 효과적일 것이다.

옥내화재에서의 높이별 암흑화도를 유추하기 위하여 스모크박스에서 암흑화도의 감소속도를 높이별로 측정 한 본 실험으로 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 화재시 연기에 의한 옥내 암흑화의 정도는 허부로 내려갈수록 덜하다.
2. 급기구 역할을 하는 개구부 높이 부분은 그 상부보다 오히려 암흑화가 심한 변이가 일어난다.

참고문헌

1. R. Mc Ilhagger, B. J. Hill and A. J. Brown, "Fire and Materials", Vol. 12, p. 19(1988).
2. National Fire Protection Association, "Fire Protection Hand Book", Seventeenth Edition, p. 3-10(1992).
3. Fire Insurance Association of Korea, "Prevention of Disaster and Insurance", Autumn, p. 6(1992).
4. Fire Research Institute of Japan, "Report of Fire Research Institute of Japan", No. 33, p. 31(1971).
5. Dougal Drysdale, "An Introduction to Fire Dynamics", pp. 356-357(1996).
6. Warren L. Mc Cabe, Julian C. Smith and Peter Harriott, "Unit Operation of Chemical Engineering", p. 44(1985).