굴뚝의 우수유입방지 특성

창원대학교 환경공학과

김종철‡· 김태형

- Abstract-

Characteristics of Rainfall Protection for Stacks

Jong-Chul Kim‡· Tae-Hyeung Kim

Department of Environmental Engineering, Changwon National University

A stack must be designed to 1) reduce or eliminate rainfall or snowfall into a industrial exhaust system, 2) minimize a resistance to flow, 3) maximize the vertical dispersion of the contaminated air and 4) minimize maintenance. The weather cone stacks and the elbow-type stacks are very popular in Korea. But they add some resistance to the exhaust system resulting in reduction of air flow rate, but also deflect the noxious contaminants downward in undiluted form. To solve these problems, ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) suggested the vertical discharge stack with concentric space between the upper stack with larger diameter and the lower stack with smaller diameter. The preliminary test showed that the vertical discharge stacks did not have the good rainfall protection. The reversed cone were newly devised to satisfy the requirements for the good stack. Subsequently, the amount of rain being penetrated through the stacks was measured while the stacks were simultaneously and naturally exposed to rain in the same area outside. Test results indicate that none of the stacks tested completely exclude rain. The efficiency of rainfall protection and the pressure loss coefficient were compared. The temporary conclusion was reached to the point that the reversed cone stack is the best one. Further research is underway.

Key Words : Weather cone stack, Elbow stack, Vertical discharge stack, Reversed cone stack, Rainfall protection, Pressure loss coefficient, Dispersion of the contaminated air

접수일 : 1999년 7월 8일, **채택일 :** 1999년 10월 1일

• 이 논문은 1999년 한국학술진흥재단 자유공모과제 연구비에 의하여 지원되었음

‡ 교신저자: 경상남도 창원시 사림동 9번지 국립창원대학교 환경공학과

Tel) 0551-279-7945, Fax) 0551-281-3011, E-mail) jh828227@hanmail.net

Ⅰ. 서 론

대기오염방지시설은 후드, 덕트, 공기정화기, 송풍기 및 굴뚝으로 연결되는 시스템을 일컫는다. 대기오염방지시설의 목적은 공정에서 발생되는 공기오염물질을 포집하여 공기정화기에서 배출허용기준 이하로 정화한 후 대기 중으로 배출시키는 것이다. 굴뚝의 역할은 배출가스의 농도가 허용기준 이내일지라도 제거되지 않고 남아 있는 오염물질이 어느 정도 함유되어 있기 때문에 가능한 한 지상으로부터 멀리 배출시켜 확산시킬 수 있어야 하며 그러기 위해서는 가능한 한 높게 배출시킴으로써 오염물질이 지상으로 내려와 공장으로 재유입되는 것을 막아야 한다(ACGIH, 1998). 그러나 굴뚝높이나 배기가스의 배출속도를 무한정 높인다는 것은 경제적인 관점이나 안전 측면에서 볼 때 적절한 대안은 아니다.

우수한 굴뚝은 환기시스템의 가동 여부에 관계없이 강우나 강설에 대해서 굴뚝 내로 유입되는 양을 현저하게 감소시킬 수 있도록 설계해야 하고, 배출된 오염 공기가 작업장 내로 재유입되는 것을 막기 위해 Down-wash 현상이 발생되지 않도록 충분히 높게 배기시킬 수 있어야 하며, 구조가 간단하여 제작이 용이하고 제작비가 저렴해야 할 것이다.

우리 나라의 공장에서 백하우스 및 흡착탑의 굴뚝은 대부분 삿갓을 씌워 두었거나, "ㄱ"자로 구부려 놓았다. 이렇게 함으로써 배출된 오염공기가 높이 확산되지 못하고 공장건물의 틈새로 재유입(Re-entry) 되거나 주변의 공장이나 주거지역에 피해를 유발시키는 경우를 종종 볼 수 있다. 그림 1은 산업현장에 설치되어 있는 삿갓형(Weather cone) 및 "ㄱ"자형(Elbow) 굴뚝이다.

삿갓이나 "ㄱ"자형 굴뚝을 사용하는 이유는 굴뚝을 통하여 우수가 유입되어 송풍기나 공기정화기에 피해를 일으킬 수도 있다는 우려 때문이다. 하지만 이러한 굴뚝을 설치하더라도 우수가 유입될 가능성이 높다고 기존의 국외 연구에서 보고된 바 있다

Fig. 1 Stacks installed in industry.

(Clarke, 1965 ; Hama, 1963). 왜냐하면 비는 일반적으로 연직방향으로 떨어지는 경우는 매우 드물고 외기의 풍속에 의해 비스듬히 떨어지기 때문이다. 또한 삿갓이나 "ㄱ"자형 굴뚝은 송풍기로부터 배출되는 공기흐름에 방해를 일으켜 배출저항을 증가시켜 기류 흐름에 힘을 제공하는 송풍기의 동력비를 상승시키는 요인이 된다.

표 1은 마산, 창원, 김해 일대에서 업종 특성상 굴뚝을 많이 설치하는 중공업 및 철강공장을 방문하여 굴뚝 모양에 따른 설치비율을 조사한 결과이다. 표 1을 참조하면 삿갓형과 "ㄱ"자형 굴뚝의 설치 비율이 절반 이상을 차지하고 있음을 알 수 있다.

한편, 삿갓모양이나 "ㄱ"자 모양 굴뚝의 단점을 보완하기 위하여 그림 2와 같이 윗 부분이 이중관으로 된 연직방향 굴뚝(Vertical Discharge Stack)(이하 이중 굴뚝으로 명명)이 제안된 바 있다(Clarke, 1965 ;

Table 1. Ratio of stacks installed in industry

Company	Number of stacks	Weather cone stack		Elbow stack		Offset stack	
		Number	%	Number	%	Number	%
A	70	25	36	10	14	35	50
B	57	40	70	7	12	10	18
C	77	24	31	21	27	32	42

Hama, 1963 ; ACGIH, 1998 ; ASHRAE, 1993). 이러한 모양의 굴뚝은 미국의 기상조건에서 테스트했을 때 우수 유입량이 적고, 오염물질 확산에도 도움이 되며, 불필요한 배기저항이 발생하지 않아 송풍기의 동력비를 줄일 수 있었다고 한다. 하지만 미국과 우리 나라의 우천 시 기상조건의 차이를 감안해 볼 때 우리의 기상조건에서 이중 굴뚝의 사용 가능성을 검증해 볼 필요가 있다.

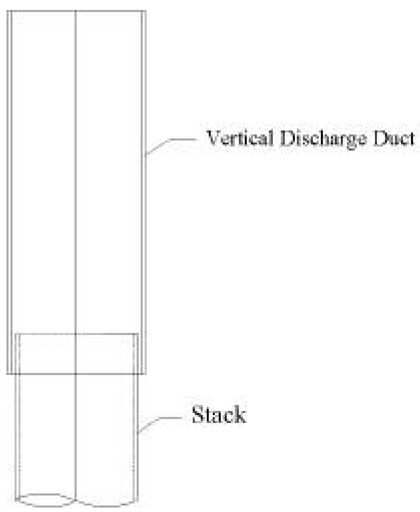


Fig. 2 Vertical discharge stack.

따라서, 본 연구에서는 미국 IV 매뉴얼(Industrial Ventilation Manual)에서 우수를 가장 효과적으로 방지하는 굴뚝으로 권장하고 있는 이중 굴뚝을 우리의 기상조건에서 검증하여 그 사용가능성을 검토하고 기존에 우리 나라에서 가장 많이 사용되고 있는 삿갓 모양과 "ㄱ"자 모양 굴뚝의 불합리성을 지적할 뿐만 아니라 아울러 우수유입방지나 배기저항을 최소화하고 배기확산에도 효과적인 새로운 모양의 굴뚝을 연구해 보고자 한다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 논문에서 연구되는 굴뚝의 설계기준과 일반적인 특성을 간략하게 소개해 보면 다음과 같다.

1) 삿갓형 굴뚝(Weather Cone Stack)

굴뚝 배출구 위에 삿갓을 설치하여 우수 유입을 방지하는 방법이다(Clarke, 1965 ; Hama, 1963 ; ACGIH, 1998 ; ASHRAE, 1993). 그러나 굴뚝을 통하여 배출되는 배기가스가 삿갓에 부딪혀 멀리 확산되지 못하고 주위를 오염시키기 때문에 미국 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)에서는 권장하지 않는 방법이지만, 국내에서는 시공이 간편하고 우수가 연직방향으로 떨어진다는 생각 때문에 작업장에 가장 많이 설치되어 있는 굴뚝 중의 하나다. 그림 3은 ACGIH에서 제시하는 삿갓형 굴뚝의 설계지침이다. 우수가 유입될 수 있는 영향인자는 빗물의 연직방향에 대한 낙하각도 θ이다. 본 연구에서는 삿갓의 설치 높이(H)를 0.5D, 0.75D, 1D로 조절하여 유입각 θ를 변화시키고, 그

외의 설계자료는 미국 ACGIH의 기준에 근거하여 굴뚝 모형을 제작하였다.

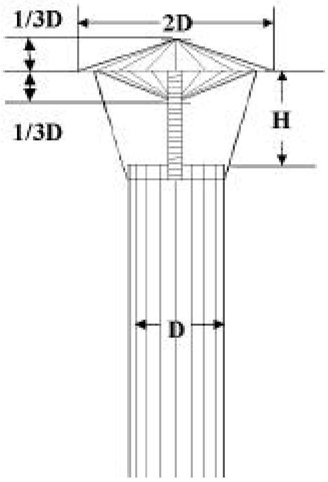


Fig. 3 Design criteria of weather cone stack.

2) “ㄱ” 자형 굴뚝(Elbow Stack)

“ㄱ” 자형 굴뚝은 우리 나라에서 가장 많이 사용되는 굴뚝이기는 하나 그 설계자료의 정확한 근거는 없다. 단지 환기시스템 설치업체에서 임의로 사용하는 방법의 하나이다. 그림 4는 시공업체에서 설치하는 일반적인 시공 관행으로써 실험용 굴뚝은 이 시공 관행에 따라 제작되었다.

이 굴뚝은 출구가 한쪽 방향으로 휘어져 있으므로 방향성을 지닌다. 즉 바람이 출구 방향 쪽으로 불 때 우수 유입량이 증가하며 배기가스의 확산에 방해가 되고 오히려 굴뚝 내로 역류할 가능성이 있다. 따라서 우수 유입량을 측정하기 위해서 굴뚝 출구를 4방위에 대해 설치하였다.

3) 이중 굴뚝(Vertical Discharge Stack)

굴뚝 출구에 이중관을 설치하여 바람에 의해 비스듬히 떨어지는 빗방울이 이중관에 먼저 부딪혀 제거되고 굴뚝내부로 유입되지 않도록 한 굴뚝이다. 그림 5는 ACGIH에서 제시하는 설계기준이다.

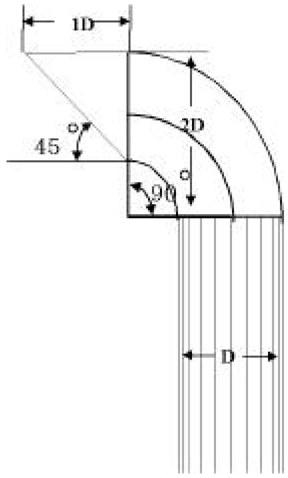


Fig. 4 Design criteria of elbow stack.

이중 굴뚝의 우수유입에 관한 영향 인자는 이중관의 길이(H) 이다. 즉 이중관의 길이 H가 길수록 우수 유입량은 감소하지만 직경과의 비(H/D)가 4 이상에서는 거의 일정한 유입량을 나타내는 것으로 연구된바 있다((Clarke, 1965 ; Hama, 1963). 본 연구에서는 이중관의 길이(H)를 2D, 3D, 4D, 5D, 6D로 제작하였고 그 외 설계기준은 ACGIH의 기준에 따라 제작하였다.

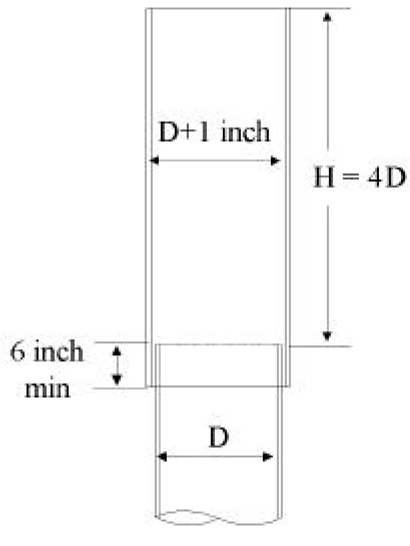


Fig. 5 Vertical discharge stack.

4) 역삿갓형 굴뚝(Reversed Cone Stack)

본 연구에서 우수유입과 배기저항을 최소화하고 배기가스를 효과적으로 확산시킬 수 있는 새로운 모양의 굴뚝으로 제시하였다. 그림 6은 역삿갓형 굴뚝의 모식도이다. 여기서 설계변수로는 역삿갓의 폭(W)과 역삿갓의 설치높이(H)이다. 역삿갓의 폭이 클수록 우수 유입 방지 효과는 뛰어나나 배기저항은 증가하고, 설치높이가 높을수록 배기저항은 감소하나 우수유입량은 증가할 것이다. 본 실험에서 설계 변수를 줄이기 위해 역삿갓의 모서리 각을 90°로 고정하였고, 1.5D, 2D의 역삿갓 폭에 대해 설치높이를 0D, 0.25D로 조절하여 실험하였다.

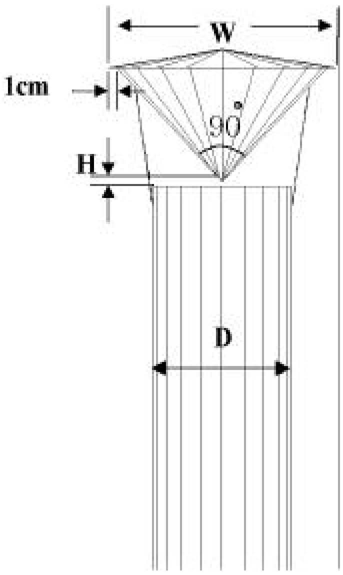


Fig. 6 Schematic diagram of reversed cone stack.

2. 연구방법

1) 우수 유입량 측정

실험용 굴뚝의 하부에 설치되어 있는 밸브를 이용하여 굴뚝내 유입된 빗물을 수집하였다. 그림 7은 우수 유입량 측정에 사용된 굴뚝의 모습이다.

Fig. 7 Experimental stacks.

수집 시기는 비가 완전히 그친 후로 하였으며, 굴뚝별 풍속에 따른 우수유입특성을 뚜렷이 파악하기 위해 비오는 동안 풍속이 급격히 변화하는 시기 전후로 수집하기도 하였다. 이때 굴뚝 내로 유입되는 누적 유입량을 굴뚝내의 우수 유입량으로 하였다. 굴뚝내의 우수 유입량에 대한 기준값으로 사용하기 위하여 직경 300mm 원통형 우량계를 사용하여 강우량을 측정하였고 삼배형 풍향·풍속계를 사용하여 풍속과 풍향을 측정하였다. 그림 8은 건물 옥상에 설치되어 있는 굴뚝의 모습이다.

2) 배기저항 측정

그림 9는 배기저항 측정용 장치의 모식도이다. 여기서 유량측정을 위해 오리피스(Sharp-edged orifice)를 설치하였으며 송풍기에 연결된 관으로 입구측 관의 내경은 400mm, 출구측 관의 내경은 200mm로 설치하였다. 오리피스의 앞 뒤 차압은 0.01mmAq

Fig. 8 View of experimental stacks.

까지 측정이 가능한 Digital micro- manometer로 측정하였다. 사용된 송풍기는 송풍량이 $100m^3/min$, 정압이 150mmAq인 터보형 송풍기를 사용하였으며 0.01Hz까지 조절이 가능한 교류 조정기(AC motor controller)와 연결하여 유량을 조절하였다. 배기저항을 측정하기 위한 측정구는 관 이음부로부터 10D이상, 굴뚝 출구로부터 6D이하의 지점에 설치하여 와류발생을 최소화시켰다. 배기저항은 관내 속도압을 변화시켜 굴뚝을 설치한 경우와 설치하지 않은 경우의 정압차로 하였으며 단위 속도압에 대한 압력손실계수(K)로 나타내었다. 이 때 닥트내 유속은 3 22m/s로 조정하였다.

3) 배기 흐름의 가시화

삿갓형 굴뚝과 역삿갓형 굴뚝의 배기확산효과를 비교하기 위하여 상용 전산유체 소프트웨어인 CFD- ACE(Computational Fluid Dynamics- ACE), Version 5.0을 이용하여 배기확산을 가시화 하였다. 오염물질이 어떻게 확산되는가를 평가하려면 굴뚝에서 배출되는 오염물질이 어떻게 확산되는지를 가시화해야 되겠지만 공기 흐름만 비교해도 쉽게 판단가능하기 때문에 본 연구에서는 공기 흐름만을 비교해 보았다. 상용 전산유체 소프트웨어는 사용자가 유체유동에 대한 물리적인 특성을 파악하고 있다면 쉽게 수치해석을 할 수 있고, 직접 언어를 코딩하는 것보다 시간적으로 매우 유리한 장점이 있다.

본 연구에 사용된 CFD- ACE(Ver 5.0)는 유체유동을 지배하는 방정식의 형태인 편미분방정식을 대수방정식으로 만드는 이산화방법으로 유한체적법을 사

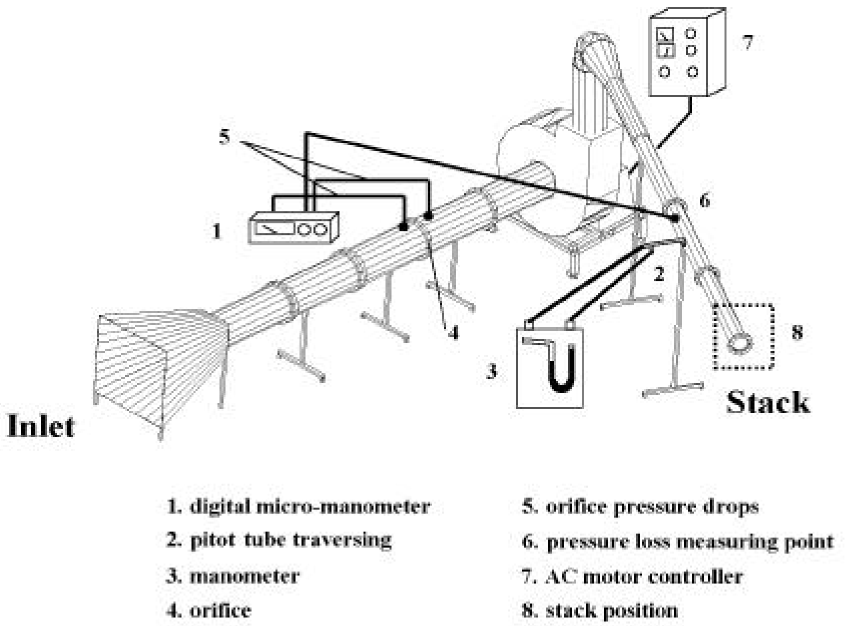


Fig. 9 Schematic diagram of the experimental facility for the estimation of K- factor.

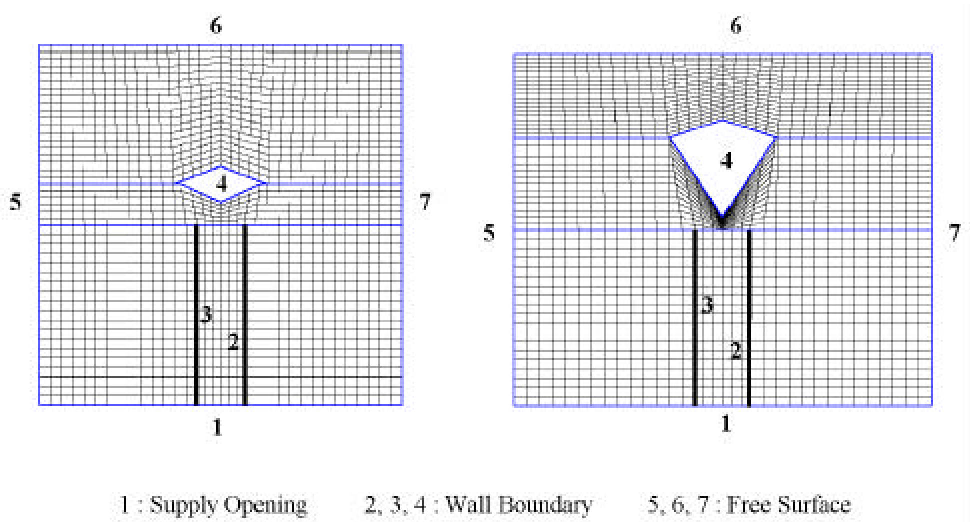
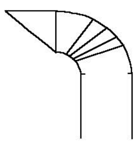
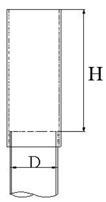
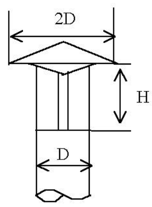
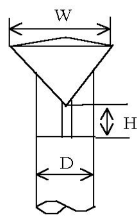


Fig. 10 Computational domain and boundary conditions.

용하고(CFD-ACE1998 ; 명현국, 1997), 압력을 풀기 위해 Patankar에 의해 제안된 SIMPLE-C 알고리즘을 이용하였다(Patankar, 1980 ; 이재헌, 1997).

굴뚝 출구의 난류 유동장을 해석하기 위해 본 연구에서는 1974년 Launder와 Spalding에 의해 제안된 k-ε 모델을 사용하였다. 그림 10은 유체 유동을 정확하게 해석하기 위한 경계조건과 격자체계를 나타내고 있다.

Table 2. Rainfall penetration for experimental stacks

	Elbow				Vertical discharge					Weather cone			Reversed cone			
Stack type																
Design factor	Exit direction				H					H			W=1.5D		W=2D	
													H		H	
	E	W	S	N	2D	3D	4D	5D	6D	0.5D	0.75D	1D	0D	0.25D	0D	0.25D
Rain penetration (%)	4	1	3	2	50	39	32	22	19	1	2	6	4	8	3	6

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 우수 유입량 측정

표 2는 우수 유입량을 분석한 결과이다. 이 결과값은 1998년 7월에서 1999년 5월에 걸쳐 31회의 측정자료를 분석하여 그 평균값을 나타낸 것이다.

표 2를 보면 이중 굴뚝에 가장 많은 우수가 유입되었고, 그 외 굴뚝은 8% 이하의 유입량을 보였다. 이러한 결과는 이중 굴뚝이 삿갓형 굴뚝에 비해 우수유입 방지효과가 뛰어난 것으로 연구되었던 기존의 미국 연구(Clarke, 1965 ; Hama, 1963)와 반대되는 결과이다.

그림 11과 그림 12는 이중 굴뚝과 삿갓형 굴뚝의 우수유입특성을 파악하기 위하여 측정기간 중 풍속이 가장 높은 경우와 낮은 경우에 대해 우수 유입량을 나타내었다. 이를 참고하면 측정기간 중 풍속이 3m/s로 가장 높았던 경우가 0.4m/s로 가장 낮았던 경우에 비해 이중 굴뚝의 우수 유입량은 적고 삿갓형 굴뚝의 우수 유입량은 상대적으로 많았다. 따라서 풍속이 강할수록 이중 굴뚝의 우수유입 방지효과는 증가하고, 삿갓형 굴뚝은 감소하는 특징을 보여준다.

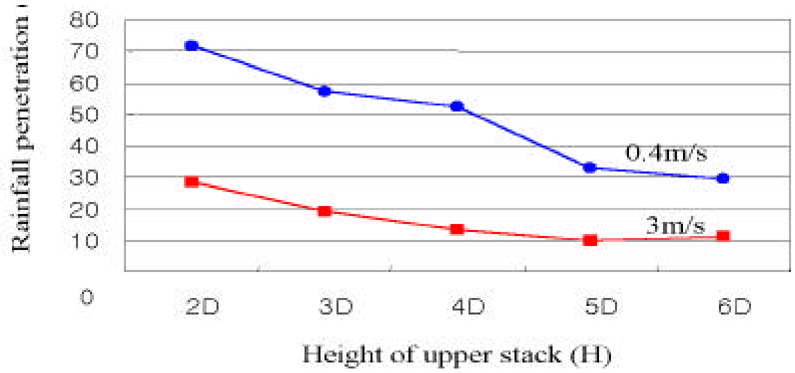


Fig. 11 Effect of wind velocity and upper stack height on rainfall penetration for vertical discharge stacks.

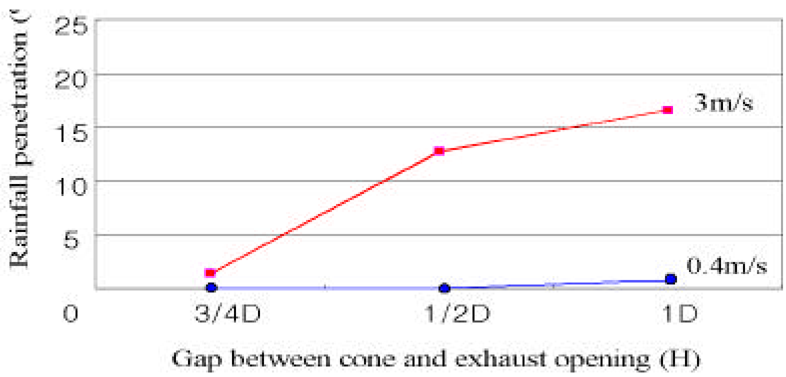


Fig. 12 Effect of wind velocity and weather cone distance on rainfall penetration for weather cone stacks.

Table 3. Two-way analysis of variance for factors affecting the rainfall penetration of vertical discharge stacks

Factor	Sum-of-Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-ratio	P	F-critical value2)
Wind velocity	18319.68	30	610.66	16.99	1.57E-30	1.55
USH1)	19450.84	4	4862.71	135.33	1.68E-43	2.45
Error	4311.92	120	35.93			
Total	42082.45	154				

1) USH : Upper stack height
2) Significance level α=0.05

Table 4. Two-way analysis of variance for factors affecting the rainfall penetration of weather cone stack

Factor	Sum-of-Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F-ratio	P	F-critical value2)
Wind velocity	1116.57	30	37.22	2.33	2.72E-03	1.65
DIST1)	457.47	2	228.73	14.29	8.38E-06	3.15
Error	960.14	60	16.00			
Total	2534.18	92				

1) DIST : Distance between weather cone and exhaust opening
2) Significance level α=0.05

이중 굴뚝과 삿갓형 굴뚝의 우수유입 방지특성을 Excel을 이용하여 분산분석법(Analysis of variance: ANOVA)의 이원배치법(Two-way ANOVA)으로 검증해 보았다. 표 3은 이중 굴뚝의 우수 유입에 있어서 이중관의 길이와 풍속에 대한 영향을 총 31회의 자료를 이용하여 분석한 결과이고, 표 4는 삿갓형 굴뚝에 있어서 삿갓의 설치 높이와 풍속에 대한 영향을 분석한 결과이다. 그 결과, 풍속이 이중 굴뚝과 삿갓형 굴뚝의 우수 유입량에 크게 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

이중 굴뚝이 우수유입 방지효과가 뛰어난 것으로 보고되었던 미국에서의 연구는 1960년대 겨울철을 제외한 3월부터 10월 사이 Michigan주 Detroit 지역에서 수행되었는데, 표 5는 이 기간동안의 평균풍속에 대한 빈도(%)를 조사한 결과이다.

표 5를 참고하면 무풍상태는 전체의 2%에 불과하고, 85% 이상이 1.8 8.5m/s 의 풍속을 보였으며, 빈도로 보아 평균풍속은 4 4.5m/s 임을 알 수 있

Table 5. Percent frequency of wind velocity in Detroit, Michigan

Wind velocity (m/s)	Percent frequency of wind velocity							
	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.
Calm 0	-	1	1	2	2	2	1	1
0 - 1.8	4	5	9	7	13	13	10	10
1.8 - 3.6	24	22	32	31	37	40	33	33
3.6 - 5.8	33	35	36	40	35	36	36	34
5.8 - 8.5	27	31	18	19	14	10	17	20
8.5 - 11.2	8	6	4	2	1	1	3	2
11.2 - 13.8	3	1	1	-	-	-	1	-

Table 6. Percent frequency of wind velocity for 10 minutes

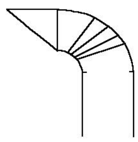
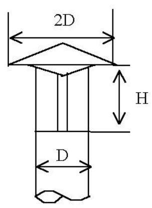
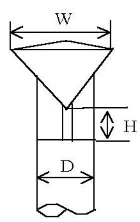
Wind velocity (m/s)	Percent frequency of wind velocity									
	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
Calm 0	7	10	43	15	15	10	9	6	8	10
0 - 1.8	68	76	52	75	68	75	78	80	72	72
1.8 - 3.6	23	13	4	8	14	13	11	13	26	15
3.6 - 5.8	1	1	1	1	3	1	1	1	3	1
5.8 - 8.5	1	-	-	1	-	1	1	-	1	1
8.5 - 11.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
11.2 - 13.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

다. 이에 대해 표 6은 본 연구의 측정기간인 1998년 7월에서 1999년 4월까지의 평균풍속에 대한 빈도(%)를 조사한 결과이다. 이를 참고하면 본 연구기간동안의 풍속이 미국의 경우에 비해 아주 낮으며 그 평균풍속이 1.4m/s에 불과함을 알 수 있다. 따라서 본 연구결과와 미국에서 수행되었던 연구결과의 차이는 우천시 풍속의 차이 때문이었음을 확인할 수 있었다.

2. 배기저항 측정

표 7은 굴뚝별 배기저항을 측정한 결과이다.

Table 7. Pressure loss coefficients for the experimental stacks

	Elbow				Weather cone			Reversed cone			
Stack type											
Design factor	Exit direction				H			W=1.5D		W=2D	
								H		H	
	E	W	S	N	0.5 D	0.75 D	1 D	0 D	0.25D	0 D	0.25D
Pressure loss coefficient (K-factor)	0.54				0.63	0.14	0.03	0.53	0.18	1.97	0.19

1) “ㄱ"자형 굴뚝

그림 13은 “ㄱ"자형 굴뚝의 압력손실 측정결과이다. 이를 참고하면 배기속도압에 대한 압력손실 관계는 일차함수를 이루며 그 기울기인 압력손실계수는 0.54로 높게 나타났다.

2) 삿갓형 굴뚝

굴뚝 출구로부터 삿갓의 설치높이를 조절하면서 압력손실을 측정하였다. 삿갓의 설치높이가 동일한 경우에 있어서 공기배출 속도압과 압력손실은 일차함수로 나타났다. 이때 일차함수의 기울기는 단위 속도압에 대한 압력손실계수(K-factor)가 된다. 그림 14는 삿갓 설치높이에 따른 압력손실계수를 도식화 한 결과이다. 이를 참조하면 삿갓의 설치높이가 0.6D 이하에서는 급격하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

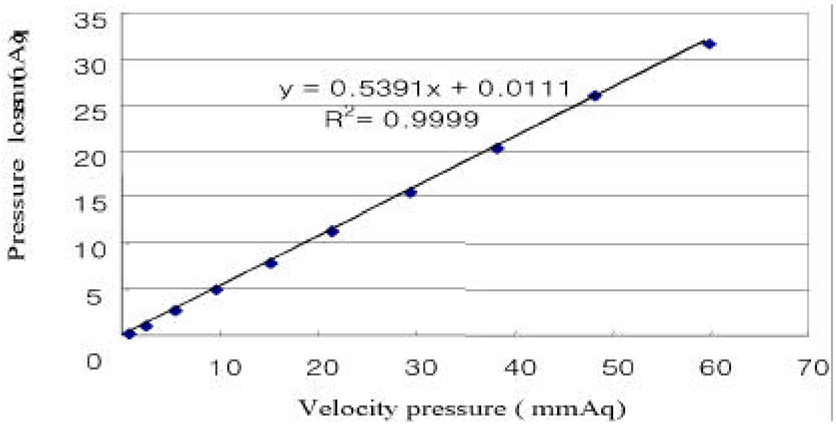


Fig. 13 Pressure loss for elbow stack.

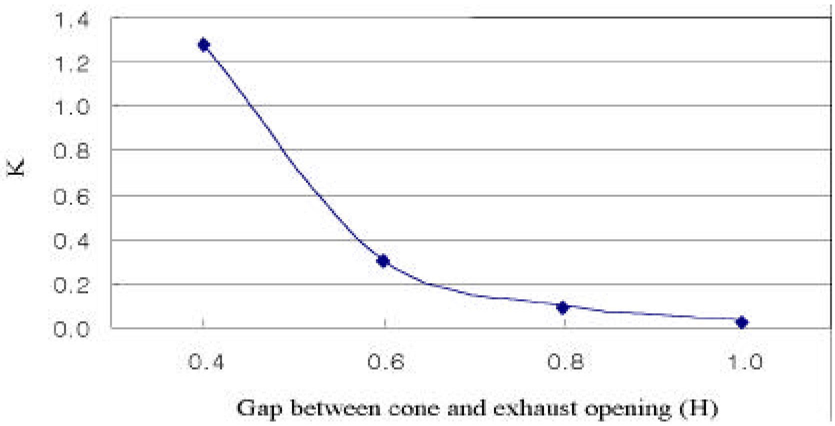


Fig. 14 K-factor for weather cone stacks.

3) 역삿갓형 굴뚝

역삿갓형 굴뚝의 압력손실 측정은 삿갓형 굴뚝과 마찬가지로 역삿갓의 설치높이를 조절하여 배출공기의 단위속도압에 대한 압력손실계수로 나타내었다. 그림 15는 역삿갓의 폭이 2D인 굴뚝에 대한 측정결과로서 역삿갓의 설치높이가 0.2D이하에서 급격한 압력손실을 보이고 있었고, 0.8D이상에서는 뚜렷한 압력손실은 보이지 않았다. 본 연구의 우수유입실험에 사용된 굴뚝은 설치높이가 0D, 0.25D 였는데 이들에 대한 압력손실계수는 각각 1.97, 0.19였다. 그림 16은 역삿갓의 폭이 1.5D인 굴뚝에 대한 측정결과로서 전체적으로 급격한 변화는 보이지 않았다. 본 연구의 우수유입실험에 사용된 굴뚝으로 높이 0D, 0.25D에 대한 압력손실계수는 각각 0.53, 0.18이였다.

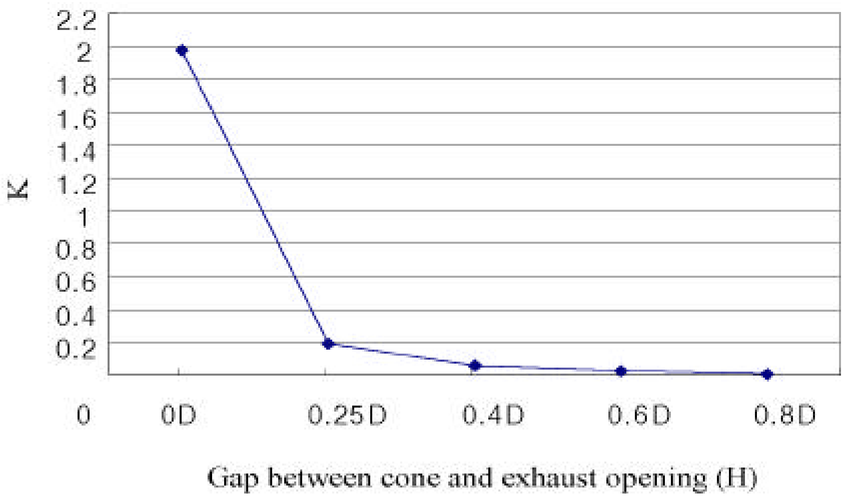


Fig. 15 K-factors for the various gaps between reversed cone (width : 2D) and exhaust opening.

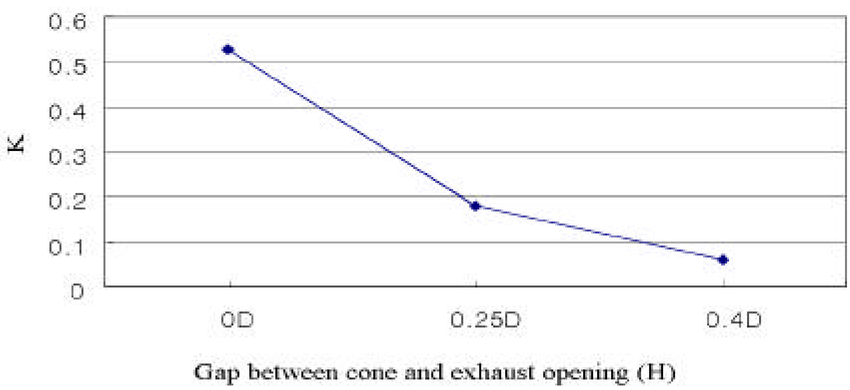


Fig. 16 K-factors for the various gaps between reversed cone (width : 1.5D) and exhaust opening.

3. 배기 흐름의 가시화

1) 삿갓형 굴뚝

그림 17은 굴뚝 출구로부터 삿갓의 설치높이(H)가 0.75D인 굴뚝의 배기 흐름을 전산유체역학을 이용하여 가시화한 결과이다. 굴뚝 내 배기 흐름은 10m/s를 유지하도록 하였다. 그림 17에서 보듯이 굴뚝 출구로부터 배출된 배기가스가 삿갓에 부딪혀 수직 흐름을 형성시키지 못하고 옆으로 퍼져나가는 것을 알 수 있다.

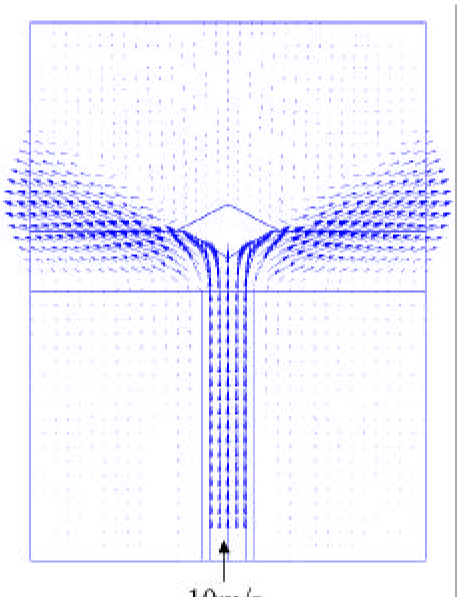


Fig. 17 Simulated air flow from weather cone stack.

2) 역삿갓형 굴뚝

그림 18은 역삿갓의 폭(W)이 2D, 설치 높이(H)가 0.25D인 역삿갓형 굴뚝에 대한 배기 흐름을 가시화한 결과이다. 굴뚝 내 기류의 흐름은 10m/s를 유지하도록 하였다. 그림 18에서 보듯이 삿갓형 굴뚝의 경우와는 달리 배출된 공기가 대부분 수직흐름을 유지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 삿갓형 굴뚝에 비해 역삿갓형 굴뚝이 배기가스를 보다 높게 배출시킬 수 있어 배기확산에 효과적임을 알 수 있다.

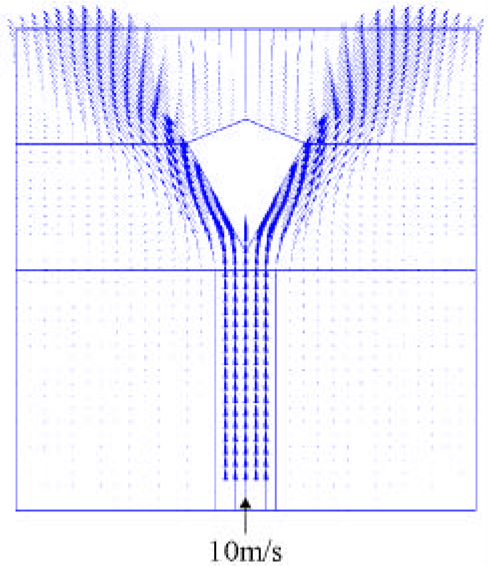


Fig. 18 Simulated air flow from reversed cone stack.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 우리 나라에서 가장 많이 사용되는 삿갓형 굴뚝과 “ㄱ"자형 굴뚝의 불합리성을 증명하고, 미국 산업환기 매뉴얼에서 권장하고 있는 이중 굴뚝이 우리 나라의 기상조건에 적합한 지를 검토하였다. 또한 우수유입방지나 배기저항을 최소화하고 배기확산에도 효과적인 새로운 모양의 굴뚝으로 역삿갓형 모양의 굴뚝을 설계하였다. 이를 위해 굴뚝별 우수 유입량과 배출저항을 측정하였고 상용 전산유체 소프트웨어를 이용하여 배기 흐름을 가시화하여 배기확산력을 평가하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

1) 본 연구에서는 이중 굴뚝이 우수 유입량이 가장

많았으며, 따라서 미국 ACGIH에서 권장하는 이중 굴뚝은 우리 기후에는 적합하지 않음을 확인할 수 있었다.

2) 삿갓형 굴뚝은 우수유입 방지효과는 우수하나, 삿갓의 설치높이가 0.6D이하에서는 급격하게 압력손실이 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한 CFD를 이용하여 배기 흐름을 가시화 해 보았을 때 배기가스가 배출되면서 삿갓에 부딪혀 수직 흐름이 형성되지 못하고 수평 흐름이 지배적으로 발생되어 배기가스의 확산에 효과적이지 못하다는 것을 알 수 있었다.

3) "ㄱ"자형 굴뚝은 우수유입 방지효과는 우수하나 배기가스의 배출저항이 높게 발생하였다. 또한 바람에 대한 영향을 많이 받기 때문에 굴뚝 출구방향으로 바람이 불 경우 우수 유입량이 증가할 뿐만 아니라 배출저항도 증가하며 풍속이 강할수록 이는 더욱 시각화될 것이다.

4) 역삿갓형 굴뚝의 우수유입 방지특성은 삿갓형 굴뚝과 유사하게 나타났으며, 배출저항을 측정해 본 결과 역삿갓의 설치높이가 0.2D 이하에서 압력손실이 급격히 증가하였으나 0.25D이상에서는 작은 값을 나타내었다. 또한 CFD를 이용한 배기 흐름의 가시화 결과 배기확산이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구의 한계점으로, 우천 시 지역마다 기상차이가 있음을 감안해 볼 때 우수 유입량에 대한 연구결과는 우리 나라 전 지역을 대변할 수 없다. 또한 빗방울 크기에 대한 자료의 부족으로 분석에 한계가 있었으며 강설에 대한 영향은 확인할 수 없었다. 따라서 향후에는 보다 오랜 기간동안 여러 지역의 다양한 기상조건에서 이러한 연구가 수행되어야 할 것이다.

REFERENCE

이승일. 공장배기가스, 서울:동화기술;1994.p.152-154

명현국. 수치유체공학, 한미출판사; 1997

이재헌. 열전달 및 유체유동 수치해석, 대한교과서; 199.

Clarke J H. The Design and Location of Building Inlets and Outlets to Minimize Wind Effect and Building Re-entry of Exhaust Fumes. Journal of The American Industrial Hygiene Society 1965; 242-248

Hama G M and Downing DA. The Characteristics of Weather caps. Air Engineering 1963;34(5):34-37

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Industrial Ventilation a Manual of Recommended Practice. ACGIN. 23nd ed. 1992. p.64-66

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook Fundamentals, 1993. p. 1-18

Burton D J. Industrial Ventilation A Self-Directed Learning Workbook, IVE. INC' 1994. P.289

CFD-ACE. Theory Manual. CFD Research corporation. 1998

Patankar S V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Hemisphere Publishing Corp. 1980