

주택환기시스템의 덕트 Layout에 따른 T-Method의 풍량 예측 및 실험

주성용[†], 이정재^{*}

(주)우원M&E 부설연구소, ^{*}동아대학교 건축학부

Air Flow Prediction and Experiment by T-Method According to Duct Layout on House Ventilation System

Sung-Yong Joo[†], Jurng-Jae Yee^{*}

ABSTRACT: The accurate distribution of flow rate has been a very important part to control the air change rate since introduction of house ventilation system. An inappropriate selection of fan due to incorrect prediction of pressure loss in duct brings energy loss. In the previous study the pressure loss of general spiral duct was measured and database was constructed for finding correct loss factors in fitting upper stream. The purpose of this study is to compare and investigate the error range of flow rate by applying T-Method to bilateral symmetry and asymmetry layout of duct. The results of this study are as following. It is demanded to decide accurate size under duct design for house ventilation system. Because the small amount of Flow rate was considered at that time. The error range was 3.17% on case1 and 3.52% on case2. The error range difference was 0.35%.

Key words: Duct Design(덕트 설계), T-Method(T-Method법), Equal Friction Loss Method(등압법), Ventilation System(환기시스템)

1. 서론

21세기는 환경에 대한 고려 없이는 쾌적한 삶과 지속가능한 경제발전이 불가능한 시대이다. 특히 최근 건축물에서는 고기밀, 고단열을 강조하고 있으며, 근래 건축기술의 발달과 토지이용의 효율화에 따라 20층 이상의 초고층 공동주택의 건설이 늘어나고 있는⁽¹⁾ 반면, 고층부에서는 환기의 어려움이 발생 하는 실정이다. 반면 새 건축물의 자재나 도료에서 발생되어 호흡계 증상 및 신체의 부조화를 일으키는 새집증후군의 원인물질인 포름알데히드, 휘발성유기화합물질 등에 대해서는

대책이 미비한 실정이다. 때문에 국내 건축법의 환기기준이 강화되어 기존의 자연환기에만 의존했던 것과는 달리 2006년 1월부터 건축법령에서 정한 신축되는 100세대 이상 공동주택의 필요 환기횟수는 0.7회이며, 이 기준을 충족하지 못할 경우 기계환기설비의 설치가 필요하게 되었다. 또한 기존의 공동주택에서 환기시스템이 적극적으로 도입되기 어려웠던 이유 중의 하나인 천장부분의 공간 부족은 2005년 1월부터 시행되어진 소방법에 의해 11층 이상의 공동주택에서는 전 층에 스프링클러를 설치해야함에 따라 천장공간이 확보되어 덕트 설치가 가능하게 되었다.

각 실에 정확한 풍량의 조절과 분배가 덕트 설계에 있어 목적이 되는 부분이라고 할 수 있는데, 압력손실의 부정확한 예측으로 최적화 되지 못한

[†] Corresponding author
Tel.: +82-2-860-9747
E-mail address: moses3892@hanmail.net

덕트 설계는 곧바로 과다설계 시 에너지의 낭비, 과소설계 시 환기횟수 부족으로 인한 실내공기 환경문제로 이어진다. 주택환기시스템 덕트설계의 경우, 소풍량으로 운전되므로 정확한 치수의 덕트 설계가 요구되며 주택환기시스템은 24시간 가동을 전제로 하기 때문에 덕트내의 압력손실을 줄이는 것과 적절한 팬의 선정은 에너지 손실방지를 위해 반드시 고려되어야 할 부분이다. 한 예로, 최근 시공된 고급주상복합 아파트에서 TAB를 실시한 결과, 실제 공급풍량은 설계풍량보다 현저하게 낮게 나타나 덕트내 압력손실 문제가 매우 심각한 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 덕트 내부의 효율적 유량분배 방안은 주택용 환기시스템의 효율 향상을 위하여 중요한 사항이라고 할 수 있다.⁽²⁾

최적의 덕트 설계나 유량의 조절을 위해 관련된 연구로서, Kim et al⁽³⁾은 T-Method에 의해 최적화된 시스템을 대상으로 생애비용 측면에서 경제성을 분석한 결과 T-Method에 의해 설계된 시스템이 36~37% 유리하다는 결론이 나왔다. Moon et al⁽⁴⁾은 고층 아파트 옥실 배기시스템의 층별 유량 분배를 T-Method에 의해 해석하여 적절한 유량의 분배와 팬의 선정에 있어서 충분한 적용가능성이 있다는 것을 파악하였다.

이에 본 연구에서는 각 실에 필요 환기량을 정확히 공급하기 위한 방법으로써 미리 검증된 덕트 설계시스템 방법인 T-Method를 활용하여 덕트 layout에 따른 풍량 오차율을 비교 검토하고자 한다.

2. 실험개요 및 방법

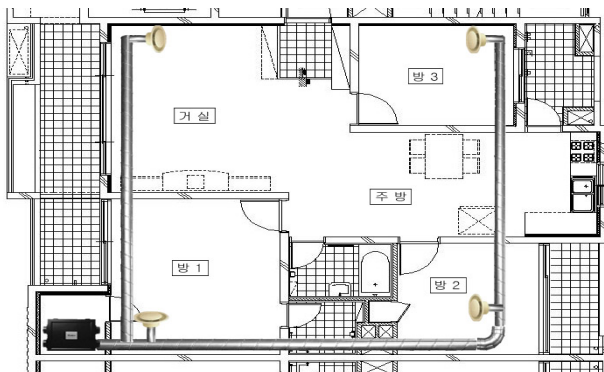
본 실험에는 기성품의 스파이럴 덕트를 이용하였고, 덕트 layout을 2가지 형태 즉, 대칭형과 비대칭형으로 나누어 각각 등압법으로 풍속과 덕트

의 크기를 산정한 후, 개량등압법으로 분기부의 덕트 치수를 수정하는 방법으로 설계 하였다. 등압법에 의한 덕트치수를 이용해 T-Method로 다시 풍량을 예측하여, T-Method에 의해 측정된 값과 실제 실험에서 얻는 값을 비교해 봄으로써 덕트의 layout에 따른 오차율을 비교 검토해 보았다.

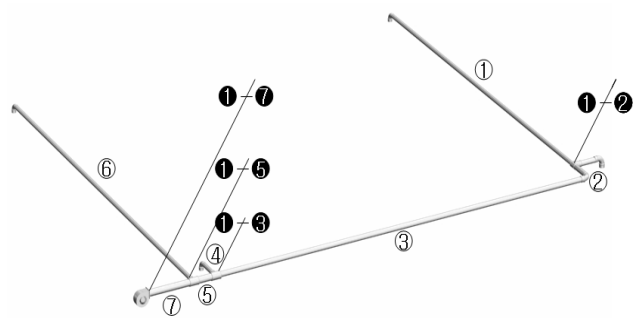
이번 실험의 덕트 설계는 환기시스템의 도입 외기량만 고려하여 설계하였으며, 전열교환 환기시스템의 사용시 배기덕트 설계도 고려되어야 할 것이다.

덕트 설계에 앞서 압력 손실값을 측정하기 위한 실험이 선행되었는데, ASHRAE Handbook에 통용되고 있는 손실계수가 명시되어 있지만 일반적인 덕트에 관한 내용이어서 본 실험에 사용되는 스파이럴 덕트의 특성을 알아보기 위해 직관부에서 직경별, 길이별, 풍량별에 따른 마찰손실과 형상변화에 따른 직경별, 풍량별 국부저항손실의 측정을 통해 마찰저항계수와 형상변화에 따른 국부저항손실계수를 도출하였다.

덕트 설계에 앞서 체적에 따른 각실의 환기횟수를 맞춰주기 위한 풍량을 산출해 낸후, 실마다 알맞은 취출구의 위치를 선정하고 개량등압법을 이용하여 덕트의 크기와 분기부의 크기를 결정하게 되고 덕트 전체의 정압을 산출한 후 팬의 크기를 선정하게 된다. 덕트의 치수를 결정하고 난 뒤 T-Method에 의해 각 구간의 풍량과 압력 손실 값을 예측하였다. 그런 뒤 미리 예측한 풍속을 중앙 팬에서 공급하고 풍속, 정압을 측정하게 된다. Fig. 3의 (a)는 전압과 정압의 차를 이용하여 풍속을 측정할 수 있는 고정도 피토포닉 마노미터이고, (b)는 가열한 열선에 바람을 닿게 해 냉각되는 정도로 풍속을 측정하는 열선 풍속계를 나타내며 각 덕트의 취출구에서 풍속을 측정하였다.

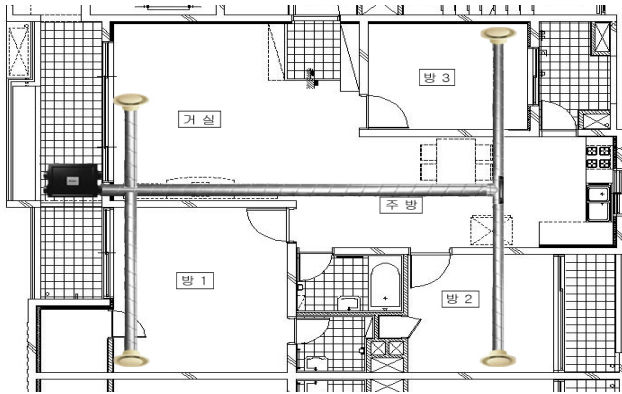


(a) Ground plan of Duct layout

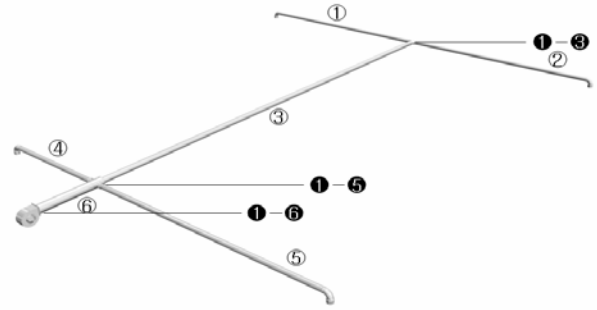


(b) Each section of Duct layout

Fig. 1 Case1 of Duct System.



(a) Ground plan of Duct layout



(b) Each section of Duct layout

Fig. 2 Case2 of Duct System.



(a) manometer (b) anemometer

Fig. 3 Measuring equipments.

3. 실험결과 및 분석

3.1 덕트설계 및 실험결과

3.1.1 case1 덕트 설계 및 실험결과

등압법과 개량등압법으로 설계하기 위한 데이터는 Table 1과 같고, 마찰저항선도를 이용하여 주관과 분기관의 관경과 풍속, 압력손실을 구한 값은 Table 2, Table 3과 같다. 설계 데이터를 바탕으로 실제 실험을 통해 구해진 풍량은 Table 4와 같고, T-Method를 이용하여 구한 덕트내의 풍량은 Table 5와 같다. 등압법을 이용하여 구해진 덕트 치수 대로 실험할 수 없었기 때문에 ⑤, ⑥번 구간은 기성품 중 가장 유사한 치수를 사용하였다. 즉, 등압법에 의한 ⑤, ⑥번덕트의 관경 130mm, 82mm는, 각각 125mm과 80mm으로 대체하여 사용하였다.



Fig. 4 View of pressure loss experiment.

3.1.2 case2 덕트 설계 및 실험결과

등압법과 개량등압법으로 설계하기 위한 데이터는 Table 6과 같고, 마찰저항선도를 이용하여 주관과 분기관의 관경과 풍속, 압력손실을 산출한 값은 Table 7, 8과 같다. 설계 데이터를 바탕으로 실제 실험을 통해 구해진 풍량은 Table 9와 같고, T-Method를 이용하여 구한 덕트내의 풍량은 Table 10과 같다. 덕트설계 case2에서도 case1과 동일한 등압법을 이용하여 기성품의 가장 유사한 치수로 대체하여 사용하였다. 즉, 구간 ③, ④, ⑤는 각각 100mm, 80mm, 80mm로 대체되었다.



Fig. 5 View of flow rate experiment.

Table 1 Data for Duct Design (case1)

Branch duct		Main duct	
Section/ [m ³ /h]	Length [m]	Section/ [m ³ /h]	Length [m]
① / 50	8.3	③ / 100	8.9
② / 50	0.5	⑤ / 170	0.5
④ / 70	0.5	⑦ / 250	1.0
⑥ / 80	7.8	-	-

Table 2 Main duct size and flow rate(case1)

Section	Flow rate [m ³ /h]	ΔP [mmAq]	Diameter [m]	Velocity [m/s]
③	100	0.18	0.10	3.5
⑤	170	0.09	0.13	3.8
⑦	250	1.60	0.15	4.0

Table 3 Branch duct size and flow rate(case1)

Section	First computation				Second computation	
	Flow rate [m ³ /h]	ΔP [mmAq]	Duct size [m]	Velocity [m/s]	Adjust- ment Diameter [m]	Adjust- ment Velocity [m/s]
①	50	1.40	0.08	3.2	-	-
②	50	1.40	0.045	8.6	0.08	3.0
④	70	3.01	0.045	14.2	0.08	4.0
⑥	80	3.10	0.082	4.3	-	-

Table 4 Flow rate by Experiment(case1)

Section	Flow rate [m ³ /h]	Diameter [m]	Velocity [m/s]
①	59	0.08	3.27
②	53	0.08	2.93
③	112	0.10	3.96
④	75	0.08	4.17
⑤	183	0.125	4.14
⑥	67	0.08	3.72
⑦	250	0.15	3.93

Table 5 Flow rate by T-Method(case1)

Section	Flow rate [m ³ /h]	Diameter [m]	Velocity [m/s]
①	60	0.08	3.33
②	52	0.08	2.88
③	112	0.10	3.96
④	77	0.08	4.26
⑤	189	0.125	4.28
⑥	73	0.08	4.03
⑦	262	0.15	4.12

Table 6 Data for Duct Design (case2)

Branch duct		Main duct	
Section/ [m ³ /h]	Length [m]	Section/ [m ³ /h]	Length [m]
① / 50	4.0	③ / 100	8.9
② / 50	4.0	⑥ / 250	1.0
④ / 80	2.0	-	-
⑤ / 70	4.0	-	-

Table 7 Main duct size and flow rate(case2)

Section	Flow rate [m ³ /h]	ΔP [mmAq]	Diameter [m]	Velocity [m/s]
③	100	1.602	0.102	3.4
⑥	250	0.180	0.146	4.1

Table 8 Branch duct size and flow rate(case2)

Section	Computation			
	Flow rate [m ³ /h]	ΔP [mmAq]	Diameter [m]	Velocity [m/s]
①	50	0.720	0.076	2.8
②	50	0.720	0.076	2.8
④	80	2.322	0.096	3.2
⑤	70	2.322	0.089	3.0

Table 9 Flow rate by Experiment(case2)

Section	Flow rate [m ³ /h]	Diameter [m]	Velocity [m/s]
①	55	0.08	3.04
②	54	0.08	2.99
③	109	0.10	3.86
④	76	0.08	4.23
⑤	71	0.08	3.90
⑥	256	0.15	3.93

Table 10 Flow rate by T-Method(case2)

Section	Flow rate [m ³ /h]	Diameter [m]	Velocity [m/s]
①	58	0.08	3.21
②	58	0.08	3.21
③	116	0.10	4.12
④	78	0.08	4.31
⑤	68	0.08	3.77
⑥	263	0.15	4.13

3.2 결과 비교

비대칭형 덕트설계시스템(case1), 대칭형 덕트 시스템(case2)에 대한 구간별 풍량값과 관경, 풍속의 실험치와 T-Method의 예측치를 비교하여 Table 11, 12에 나타낸다. 표 11에서의 평균오차는 3.17%, Table 12에서 평균오차는 3.52%를 나타내, T-Method에 의한 풍량 예측치는 실험치와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

case1과 case2의 실험 풍량과 T-Method를 통한 풍량을 비교하여 Fig. 5, 6에 그래프로 나타냈다. 비대칭형 덕트시스템을 나타내는 그림 5와 대칭형 덕트시스템을 나타내는 Fig. 6을 비교해 보면 두 case 모두 실험치와 T-Method에 의한 예측치가 비슷한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

case1과 case2의 구간별 오차율을 Fig. 7, 8에 나타낸다. Fig. 7에서 구간⑤, ⑥, ⑦의 오차율이 높게 나타났으며, Fig. 8에서는 구간①, ②, ③의 오차율이 높게 나타났다.

본 연구에서는 주덕트를 중심으로 좌우 대칭인 형태와 비대칭인 덕트설계를 T-Method를 이용하여 각각 구한 예측치와 실제의 실험치를 비교하여 오차율을 계산하였다. 두 실험에 대한 오차율의 차이는 0.35%로써 아주 작은 오차율을 보이고 있다.

일반 기성제품인 스파이럴 덕트의 경우, Ø25의 관경별로 제품이 생산되므로 덕트설계시 계산된 적정 풍량을 각 실에 정확히 공급하는 경우 어느 정도의 오차는 허용해야 할 것이다. 또한 주택내

의 각 실에 공급되는 풍량은 필요환기량을 충족시킬 수 있는 정도의 소풍량이므로 정확한 풍량을 위한 최적의 덕트 설계를 위해서는 정확한 치수의 덕트 시공이 요구될 것으로 판단되었다.

덕트 layout에 따른 T-Method의 예측 풍량을 실험치와 비교한 결과, 오차율이 0.35%정도로 매우 근접한 예측결과를 나타내어, 주택용 환기시스템의 덕트설계에 있어 T-Method는 덕트 layout에 따른 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 덕트설계 방식인 등압법의 문제를 고찰하고 T-Method를 소풍량의 주택 환기시스템 덕트설계에 적용하여, 덕트의 최적 풍량 분배방안 및 설계방안을 검토하였다. 구체적으로 대칭형 덕트시스템과 비대칭형 덕트시스템을 제작하여 실험과 T-Method를 활용한 시뮬레이션결과를 비교함으로써, 주택용 환기시스템을 위한 덕트설계에 있어서 T-Method 활용방안을 검토 하였다.

본 연구에서 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

주택환기시스템은 24시간 가동을 전제로 하기 때문에 덕트내의 압력손실을 줄이는 것과 적절한 팬의 선정은 에너지 손실을 막기 위해 반드시 고려되어야 할 부분이다. T-Method에 의해 예측된 풍량값에 대한 오차는, 비대칭형 덕트설계일 경우 3.17%고, 좌우 대칭형 덕트설계일 경우 3.52%로 비교적 비슷했으며 그 차이는 0.35%정도로 작게 나타났다.

Table 11 Comparison between Experiment and T-Method(case1)

Section	Flow Rate[m ³ /h]		Diameter[m]		Velocity[m/s]		Error rate according to Flow Rate[%]
	Experiment	T-Method	Experiment	T-Method	Experiment	T-Method	
①	59	60	0.08	0.08	3.27	3.33	1.7
②	53	52	0.08	0.08	2.93	2.88	1.9
③	112	112	0.10	0.10	3.96	3.96	0
④	75	77	0.08	0.08	4.17	4.26	2.6
⑤	183	189	0.125	0.125	4.14	4.28	3.2
⑥	67	73	0.08	0.08	3.72	4.03	8.2
⑦	250	262	0.15	0.15	3.93	4.12	4.6

Table 12 Comparison between Experiment and T-Method(case2)

Section	Flow Rate[m ³ /h]		Diameter[m]		Velocity[m/s]		Error rate according to Flow Rate[%]
	Experiment	T-Method	Experiment	T-Method	Experiment	T-Method	
①	55	58	80	80	3.04	3.21	5.2
②	54	58	80	80	2.99	3.21	6.9
③	109	116	100	100	3.86	4.12	6.0
④	77	78	80	80	4.23	4.31	1.3
⑤	71	68	80	80	3.90	3.77	4.4
⑥	256	263	150	150	3.93	4.13	2.7

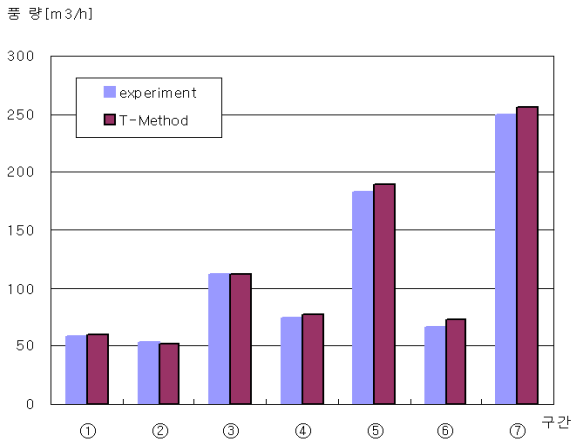


Fig. 5 Comparison between Experiment and T-Method(case1)

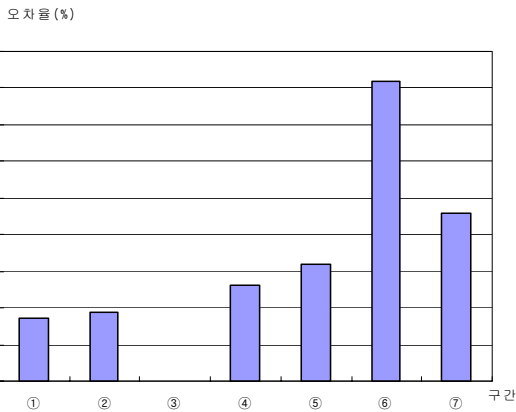


Fig. 7 Comparison of Error rate per Each Section(case1)

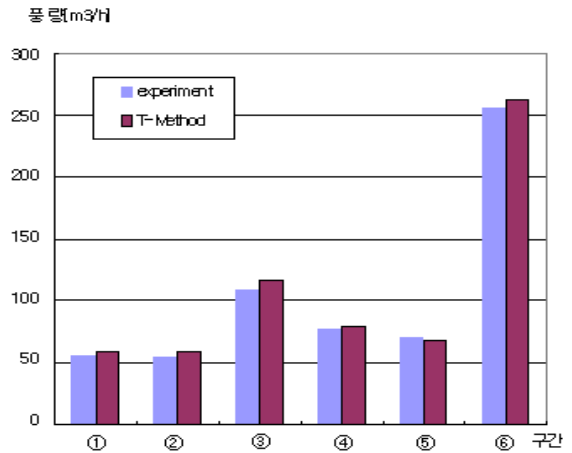


Fig. 6 Comparison between Experiment and T-Method(case2)

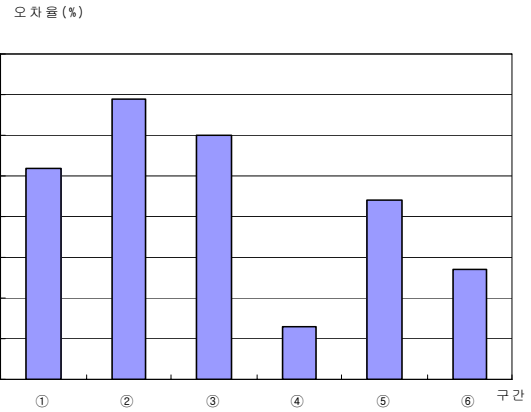


Fig. 8 Comparison of Error rate per Each Section(case2)

추후 환기시스템을 주택에 적용했을 때 외부풍압에 의한 영향과 건물의 높이에 따른 압력 차이도 고려해야 할 것이다. 외부풍압이나 건물의 높이에 따른 압력차에 따라서 환기시스템 내의 팬에서 정압손실이 발생하게 되며, 풍량분배에 영향을 미칠 수 있으므로 각 지역별 풍압계수를 산정하고 지형의 고저에 의한 압력차이를 고려한 실험이 있어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Joo, S. Y et al, 2006, The Comparative Experiment of Duct Design Method with Equal Friction Loss Method and T-Method on a House Ventilation System, Korean proceeding Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering.
2. Choi, S. Y et al, 2006, A pressure loss experiment and examination of T-Method's application propriety for duct design of house ventilation system, Architectural Institute of Korea.
3. Kim, Y. D, Kim, K.W, 1994, A Study on the Usefulness of Optimal HVAC Duct System Design with T-Method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering.
4. Moon, J. S et al, 2004, Analysis of air Flow Rate Distribution for the Bathroom Exhaust System in High-rise Buildings Using T-method, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering.
5. Tsal, R. J., H. F. Behls, and R. Mangel, 1988, "T-method duct design Part I : Optimization theory.", ASHRAE Transactions, Vol.94, part2.
6. ASHRAE 1997, ASHRAE Handbook, Fundamentals, Chapter 32. Duct Design.