

등압법과 T-Method법을 이용한 주택환기시스템 덕트설계법의 비교실험

주 성 용^{†*}, 김 광 현^{*}, 최 석 용^{*}, 이 정 재^{**}

^{*}동아대학교 대학원, ^{**}동아대학교 건축학부

The Comparative Experiment of Duct Design Method with Equal Friction Loss Method and T-Method on a House Ventilation System

Sung-Yong Joo^{†*}, Kwang-Hyun Kim^{*}, Seok-Yong Choi^{*}, Jurng-Jae Yee^{**}

ABSTRACT: Accurate flow rate distribution has been become a very important part for controlling of air change rate since the introduction of house ventilation system. An inappropriate selection of fan due to incorrect prediction of friction loss makes waste energy. The purpose of this study is to recognize applicability of T-Method at house ventilation system by comparing experiment with T-method. The result of this study is as follows. Flow rate is small amount in a house, so duct size must be accurate. And duct design with Equal Friction Loss Method presented large error range. Equal friction loss method is not fit to applicate small amount air flow rate. T-Method predicts accurate flow rate comparatively in a house ventilation system. Error range was 3.5%.

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

기 호 설 명

- A : 덕트 단면적[m²]
- C : 부차손실계수
- D : 덕트 지름 [m]
- f : 마찰손실계수
- K : 덕트구간특성계수

그리스 문자

- ρ : 공기의 밀도[kg/m³]

1. 서 론

최근 건설되고 있는 주상복합 건물 등의 고급 주택에서는 개선된 주방환기시스템 및 열교환기를 활용한 세대내 환기시스템에 대한 보급이 많이 이루어지고 있는 실정이지만 일반 공동주택에서는 주방과 화장실의 국부환기 이외에는 환기시스템 설치가 아직 미비한 실정이다. 그러나 신축 공동주택의 실내에서 발생하는 오염물질들의 심각성이 대두되면서 각 건설업체에서도 이 문제의 해결방안의 일환으로 환기시스템 도입 방안을 모색 중에 있다.

기존의 공동주택에서 환기시스템이 적극적으로 도입되기 어려웠던 이유는 설치비용의 경제성 문제뿐만 아니라 천장부분의 공간 부족으로 덕트

†Corresponding author

Tel.: +82-51-200-5728

E-mail address: moyses3892@hanmail.net

설치의 어려움이 있었으나 2005년 1월부터 시행되어진 소방법에 의해 11층 이상의 공동주택에서는 전층에 스프링클러를 설치해야함에 따라 천장공간이 확보되어 덕트설치 또한 가능하게 되었다.

또한 국내 건축법의 환기기준이 강화되어 기존의 자연환기에만 의존했던 것과는 달리 2006년 1월부터 신축되는 공동주택은 건축법령에서 정한 신축공동주택 필요환기량은 환기횟수로 0.7회이며, 이 기준을 충족하지 못할 경우 기계환기설비의 설치가 필요하게 되었다. 이에 따라 현재 신축 공동주택 내 덕트형 환기시스템의 적용 가능성이 활발히 검토되고 있는 실정이다.

주택환기시스템이 도입되면서 환기횟수 조절을 위해 정확한 풍량의 조절과 분배는 매우 중요한 부분이라고 할 수 있는데, 정확하지 못한 압력손실의 예측으로 인한 부적절한 팬의 선정은 곧바로 에너지의 낭비로 이어지거나 필요 환기횟수에 못미치게 된다.

최적의 덕트 설계나 유량의 조절을 위해 관련된 연구로서, Kim et al⁽⁴⁾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⁽⁵⁾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 각실에 필요환기량을 정확히 공급하기 위한 방법으로써 T-Method를 활용하고 실험을 통하여 비교함으로써, 주택의 환기시스템을 위한 덕트설계에 있어서 T-Method의 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 덕트의 설계

2.1 등압법

덕트의 설계방법에는 등속법(Equal Velocity Method), 등압법(Equal Friction Loss Method), 개량등압법(Improved Equal Friction Loss Method), 정압재취득법(Static Pressure Regain Method) 등이 있고, 이중 등압법이 가장 널리 쓰이는데, 등압법이란 덕트의 단위 길이 당 압력손실이 같다고 가정하고, 주 덕트 내의 최대풍속을 먼저 정한

다음 분기되는 구간의 풍속과 덕트경을 결정해 나가는 방법이다. 이 방법은 간단하게 풍속과 덕트경을 구해낼 수 있어서 현장에서 많이 사용되고 있다. 하지만 풍속의 변화에 따라 정압의 변화를 고려하지 않기 때문에 실제 풍량이 설계시 풍량보다 많아진다는 단점이 있다. 등압법을 개량한 것으로서 개량등압법이 있는데 이 방법은 등압법에 의해 결정된 풍속과 덕트경을 이용해 풍량분포의 균형을 맞추기 위해 덕트경을 줄이고 압력손실을 크게 해서 균형을 유지하게 하는 방법이다.

2.2 T-Method 소개

T-Method는 덕트설계를 최적화 하기 위한 방법으로써 1988년 Tsal, R. J.와 Behls, H. F.가 제안하였다⁽⁴⁾. 기존 덕트 설계법의 단점인 풍량분배의 불균형, 압력평형 문제 등을 보완하고 보다 정확한 풍량, 정압손실의 예측을 가능하게 함으로써 적절한 팬의 선정이 가능하게 한다. 또한 초기 투자비와 운전비, 유지비 등을 고려해 덕트의 전 생애에 있어 LCC(Life Cycle Cost)를 줄이는데 가장 효과적인 덕트 설계법이라고 할 수 있겠다.

T-Method는 경제성 평가에 있어서도 다른 덕트설계법과 비교해서 월등한 우위를 보일뿐만 아니라 풍량 분배와 팬의 선정에 있어서 보다 정확한 예측을 가능하게 한다. 국내의 몇몇 연구기관에 의해 T-Method 설계법의 우수성이 이미 검증된 바 있다.

본 연구에서는 덕트설계의 경제성 평가에 관한 부분보다 덕트내 압력손실과 풍량의 예측에 초점을 두었고 Darcy-Weisbach 방정식에 의해 구해진 압력손실과 풍량을 각 구간 특성계수를 이용해 반복계산 함으로써 수렴하는 방법인 기본 T-Method법을 이용한다.

2.2.1 T-Method 이론고찰

본 연구에 사용된 T-method 이론은 ASHRAE Transactions^{(2), (3)}에서 발췌한 것이며 손실계수는 본 연구 이전의 압력손실 실험에 의해 산출된 값을 사용하였고, 기본 방정식으로 Darcy-Weisbach 방정식이 사용되었고, 식(1)과 같다.

$$\Delta P = \left(\frac{fL}{D} + \Sigma C \right) \left(\frac{\rho V^2}{2} \right) \quad (1)$$

T-Method는 다음의 주요한 3가지 계산 절차에 따른다.

· 시스템 압축(system condensing)

이 과정은 복잡한 덕트 시스템을 하나의 가상 덕트구간으로 압축하는 과정이다.

· 팬 선정(fan selection)

압축된 시스템에서 최적의 전압이 결정되고 이것으로 적절한 팬을 선정한다.

· 시스템 확장(system expansion)

확장 과정은 시스템을 통하여 최적의 팬 압력을 분배하는데 압축과정과 반대로 확장 과정은 루트섹션에서 시작한다.

(1) 시스템의 압축(system condensing)

덕트의 전 구간을 하나의 직관 덕트로 압축하는 과정이다. 식(1)에 계수 μ 를 도입하고 $Q=A/V$ 의 식을 이용해 Q 로 치환하여 정리하면, 식(3)⁽⁵⁾으로 나타낼 수 있다.

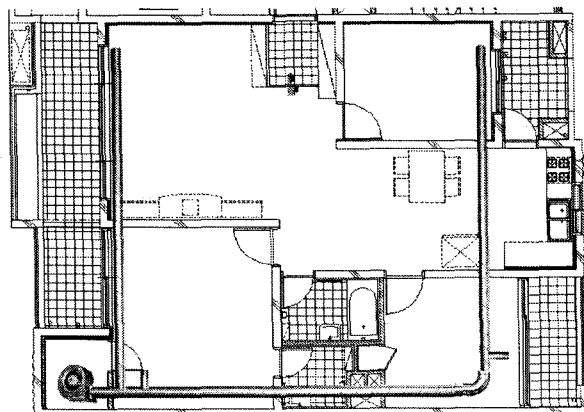
$$\mu = fL + \Sigma CD \quad (2)$$

$$Q = 1.11(\mu\rho)^{-0.5} D^{2.5} \Delta P^{0.5} \quad (3)$$

덕트구간특성계수 K 를 사용하여 식(4)⁽⁵⁾로 표시하고 이것을 정리하면, 식(5)로 나타낼 수 있다.

$$K = 1.11(\mu\rho)^{-0.5} D^{2.5} \quad (4)$$

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (5)$$



(a) Ground plan on 30py

병렬로 연결된 덕트 구간을 가상 덕트구간으로 압축할 때 식(6)과 식(7)을 만족해야 하고 이 식을 각각 식(5)에 대입하면 식(8)로 나타낼 수 있다. Fig. 1 Duct system을 참고로 하여 아래와 같은 수식을 나타낸다. K 는 덕트구간특성을 나타내는 압축과 확장의 과정에서 도입한계수이다.

$$Q_{1-2} = Q_1 + Q_2 \quad (6)$$

$$\Delta P_{1-2} = \Delta P_1 = \Delta P_2 \quad (7)$$

$$K_{1-2} = K_1 + K_2 \quad (8)$$

직렬로 연결된 각 덕트 구간사이의 풍량은 같고 압력손실은 각 구간의 합과 같다는 조건으로 식(9)와 식(10)을 식(5)에 대입하면 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{1-3} = Q_{1-2} = Q_3 \quad (9)$$

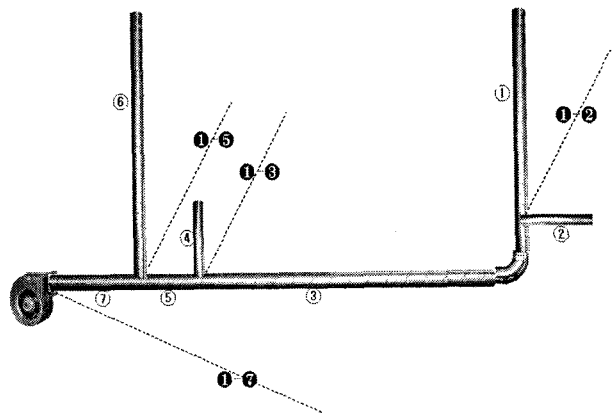
$$\Delta P_{1-3} = \Delta P_{1-2} + \Delta P_2 \quad (10)$$

$$K_{1-3} = (K_{1-2}^{-2} + K_2^{-2})^{-0.5} \quad (11)$$

다음과 같은 방법으로 각 직렬, 병렬로 연결된 덕트의 전 구간을 압축하고 구간특성계수 K 를 구할 수 있다.

(2) 팬 선정(fan selection)

구해진 구간특성계수 K 를 식(5)에 대입하여 나타나는 그래프가 덕트에 걸리는 저항 값이며 이 저항 그래프와 팬의 성능곡선이 만나는 점이 팬



(b) Duct system

Fig. 1 Duct design.

의 작동점(operating point)이 된다.

(3) 시스템 확장(system expansion)

가상구간으로 압축했던 덕트를 다시 펼침으로써 압축을 해제하는 과정이다. 이과정은 압축과정과 반대로 이루어지므로 팬을 중심으로 압축을 해제하게 된다. 압축을 해제 하면서 각 구간의 풍량과 압력손실을 결정짓게 된다.

팬을 중심으로 했을 때 구간 ⑦에서부터 풀어나가면,

$$\begin{aligned}
 Q_{⑦} &= Q_{①-⑦} \\
 Q_{⑥} &= \frac{K_{⑥}}{K_{①-⑤} + K_{⑥}} \cdot Q_{①-⑦} \\
 Q_{⑤} &= Q_{①-⑤} \\
 &\vdots \\
 Q_{②} &= \frac{K_{②}}{K_{①} + K_{②}} \cdot Q_{①-②} \\
 Q_{①} &= \frac{K_{①}}{K_{①} + K_{②}} \cdot Q_{①-②}
 \end{aligned} \tag{12}$$

식(12)과 같이 각각의 풍량을 구한 식을 이용해 다시 식(1)로 압력손실을 구하는 과정을 반복하여 압력평형을 맞추어 수렴하는 값을 찾고 그 값이 풍량과 압력손실 값이 된다.

3. 실험 방법

본 실험은 기성품의 스파이럴 덕트가 사용되었고, 기존의 등압법에 의해 각 구간의 풍속과 덕트의 치수를 정하고, 개량등압법으로 분기부의 덕트 치수를 수정하는 방법으로 설계하였다.

등압법에 의해 정해진 치수를 이용해 덕트를 설계하고 실험을 실시했다. 등압법에 의해 설계된 치수를 이용해 T-Method simulation으로 다시 풍량을 예측하게 된다. 이렇게 각각의 등압법과 T-Method에 의해 예측된 값과 실제 실험에 의해 구해진 풍량을 정리하고 비교하였다. 특히 T-Method에 의한 결과가 실제 풍량과 근접할 것으로 예상되지만 그 정도의 차이를 검토하였다.

본 실험의 덕트 설계는 환기시스템의 도입외기량만 고려하여 설계하였으며, 전열교환 환기시스템의 사용시 배기덕트 설계도 고려되어야 할 것이다. 덕트 설계에 앞서 압력손실 측정을 위한 실험

이 선행되었고, 직관부에서 직경별, 길이별, 풍량별에 따른 마찰손실, 형상변화(90°elbow, 45°elbow, reducer, tee)에 따른 직경별, 풍량별 국부저항손실 측정을 통해 직관부의 마찰저항계수 λ와 형상변화에 따른 국부저항손실계수 ζ를 도출해 냈다. Fig. 2는 스파이럴 덕트의 압력손실을 실험하는 장면을 나타낸다.

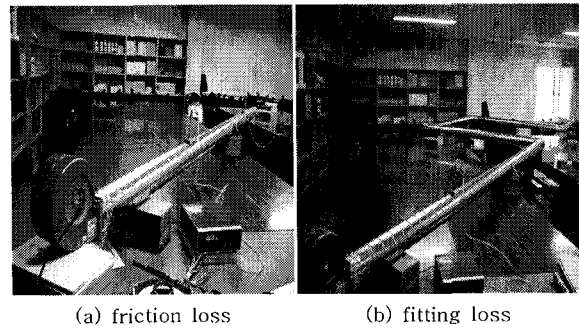


Fig. 2 View of pressure loss experiment.

등압법 설계 시 필요한 단위 압력강하 값은 이 실험의 직관부 압력손실을 이용하여 계산하였다.

통용되고 있는 손실계수가 ASHRAE Handbook⁽¹⁾에 명시되어 있지만 스파이럴 덕트 만이 가지고 있는 특성을 알아보기 위해 길이, 관경, 형상의 변화에 따라 각 case별로 실험을 통해 마찰손실계수를 산출해 내었다. 본 연구에 사용된 단위압력 값과 마찰손실계수는 선행된 실험에 의해 측정된 값을 사용하였다.

개략적인 덕트설계의 순서는 Fig. 3과 같다.

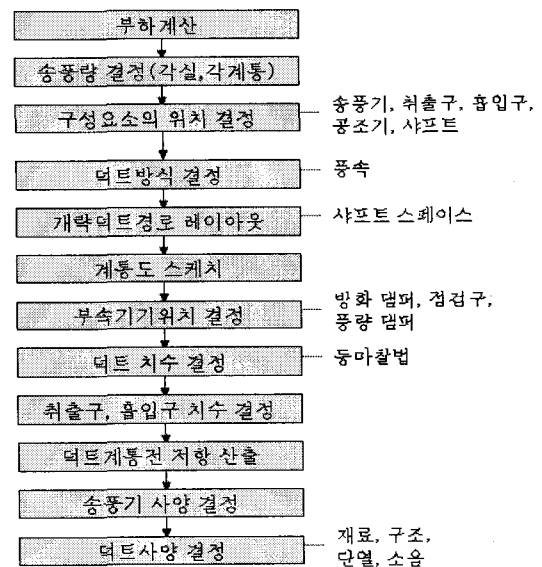


Fig. 3 Sequence of duct design.

각 순서를 통해 얻어진 값은 어떤것도 확정된 것은 아니므로 서로 피드백해서 검토 후 설계를 완료한다.

순서에 따라 먼저 부하계산에 의해 각 실에 필요한 풍량을 산정한 후 취출구의 위치를 결정한다. 다음 덕트 방식을 결정하고 덕트 경로를 스케치하게 된다. 그런 다음 등압법에 의해 덕트의 치수를 결정하게 되고 덕트 전체의 정압을 산출한 후 팬을 결정하게 된다.

덕트 치수를 결정하고 난 뒤 T-Method에 의해 각 구간의 풍량과 압력손실 값을 예측한다.

설계단계가 끝나고 기존의 30평형 아파트의 단위세대를 기준으로 한 실험실에서 덕트시공을 하고 실험을 실시하였다. Fig. 4는 덕트시공 후 풍량 테스트를 하는 장면이다.

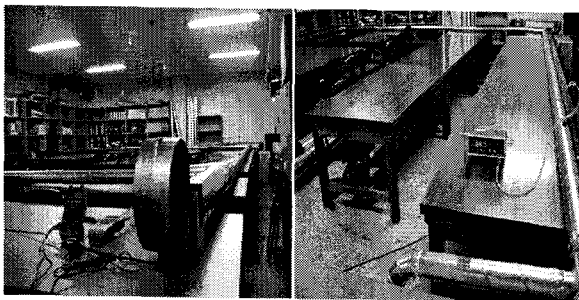
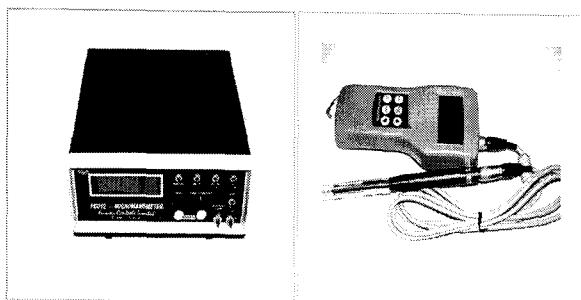


Fig. 4 View of flow rate experiment.

풍량 테스트에 사용된 기기는 차압에 의해 풍속을 측정하는 고정도 피드관식 마노메타(manometer)와 가열한 열선에 바람을 닿게 해 냉각된 정도로 풍속측정을 하는 열선 풍속계가 사용되었다. Fig. 5는 각각 마노메타와 열선 풍속계를 나타낸다.



(a) manometer

(b) anemometer

Fig. 5 View of measuring equipments.

4. 실험결과

등압법으로 설계하기 위한 데이터는 Table 1과 같고, 마찰저항선도를 이용해 구한 덕트치수, 풍속, 압력강하는 Table 2, Table 3과 같다.

Table 1 Data for duct design

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

Table 2 Main duct size and flow rate

Section	Flow rate [m ³ /h]	ΔP [mmAq]	Duct size [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

Section	First computation				Second computation	
	Flow rate [m ³ /h]	ΔP [mmAq]	Duct size [m]	Velocity [m/s]	Adjust- ment duct size [m]	Adjust- ment Velocity [m/s]
①	50	1.40	0.08	3	-	-
②	50	1.40	0.045	8	0.08	3.0
④	70	3.01	0.045	14	0.08	4.0
⑥	80	3.10	0.082	4	-	-

등압법으로 구해진 덕트 치수대로 시공하기 어려우므로 구간 ⑤, ⑥은 근사치의 기성품 덕트를 사용하였는데, 구간 ⑤는 125mm, ⑥은 80mm를 사용하였다. 본 연구에서 등압법에 의해 예측된 풍량은 정확한 비교가 되지 못하며 그 이유는 실험에 사용된 덕트 치수가 등압법에 의해 결정된 덕트경과 일치시키지 못하는 어려움이 있기 때문이다.

실험에 의해 구해진 각 구간의 풍량과 압력손실은 Table 4와 같다. T-Method에 의해 구한 풍량, 압력손실 값은 Table 5와 같고, 덕트의 피팅손실계수(Fitting loss coefficients)는 ASHRAE Handbook⁽¹⁾을 참고하였다. 실험풍량과 T-Method에 의한 풍량을 비교하여 Fig. 6에 나타내었다. 풍량비교에 있어서 약3.5%의 오차범위를 나타냄으로써, 주택환기시스

템의 적용가능성을 충분히 보여준 실험 이었다.

Table 4 Flow rate through Experiment

Section	Flow rate [m ³ /h]	Duct size [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 through T-Method

Section	Flow rate [m ³ /h]	Duct size [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	256	0.15	4.02

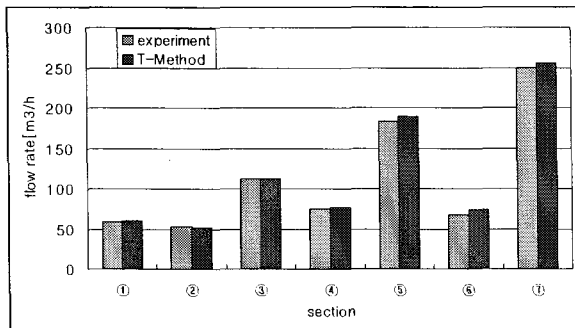


Fig. 6 Comparison between experiment and T-method.

5. 결론

덕트내의 정압차이를 이용해 원하는 곳에 정확한 풍량을 불어넣어 주는 것은 쉽지 않으며 더욱이, 설계된 덕트 직경대로 시공할 수 없고 직경별 25mm의 관경 차이가 있는 기성제품의 덕트를 사용해야 하므로 원하는 풍량을 각 실에 정확히 보내는 것은 어느 정도의 오차를 허용해야 할 것이다. 또한 주택내의 각실에 보내는 풍량은 소풍량이므로 정확한 풍량을 위한 최적의 덕트 설계를 위해서는 정확한 치수의 덕트 시공이 요구된다.

본 연구에서는 기존의 덕트설계 방식이었던 등

압법의 문제를 알아보고 T-Method에 의한 소풍량의 주택 환기시스템 덕트설계의 적용성을 검토해 보고자 했으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 주택환기 시스템의 덕트 설계는 소풍량으로 운전되므로 정확한 치수의 덕트 설계가 요구된다.

(2) 등압법에 의한 덕트설계는 계략적인 치수의 산정은 가능하지만 소풍량의 덕트를 취급하기에는 오차의 범위가 크다. 또한 주덕트를 중심으로 좌우 대칭인 형태에서는 비교적 올바른 설계가 가능하지만 그렇지 않을 때는 풍량 조절이 힘들다. 본 연구에서 설계된 덕트는 대칭형태가 아니기 때문에 개량 등압법을 적용했다.

(3) 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 풍량값은 256CMH로 실험값과 비교적 일치했으며 전체적으로 약 3.5% 정도의 오차 범위를 보였다. 적은 풍량을 취급하는 주택환기시스템의 적용에도 우수함을 보였다.

(4) 실제 건물의 적용시 신축아파트의 약 200mm 천장공간 내에 스프링클러배관, 전기배선과 함께 덕트가 시공되어야 하므로 향후 덕트시스템의 현장적용이 다시 검토되어야 할 것이다.

참고문헌

1. ASHRAE 1997, ASHRAE Handbook, Fundamentals, Chapter 32. Duct Design.
2. Tsal, R. J., H. F. Behls, and R. Mangel, 1988, "T-method duct design Part I : Optimization theory.", ASHRAE Transactions, Vol.94, part2.
3. Tsal, R. J., H. F. Behls, and R. Mangel, 1988, "T-method duct design Part III : Simulation," ASHRAE Transactions, Vol.94, part2.
4. 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.
5. 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.