지하공간 시공중 덕트를 포함한 환기망 모델링 및 적용

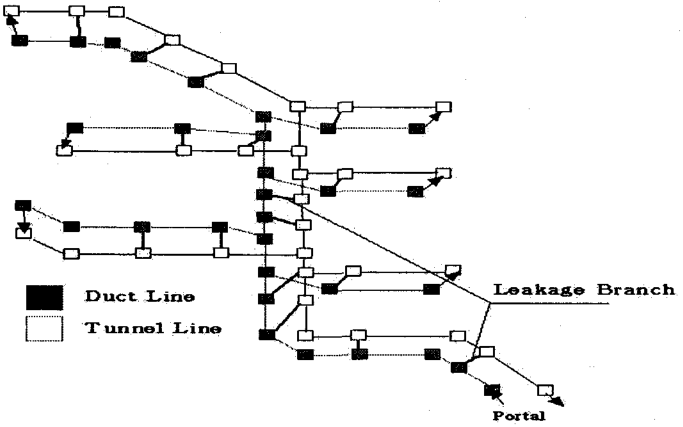
이원준[1) · 김 진[2)

1. 서 론

지하공간의 개발은 일반적으로 대규모, 대심도에서 건설되고 있으며, 이에 따른 시공중 환기설비의 설치는 필수적인 것이다. 일반적으로 배기식 방식이 환기효율 면에서는 우수한 것으로 알려져 있지만, 시공비의 증가로 인하여 현장적용은 쉽지 않은 상태에서 현재 대부분의 현장에서는 경제성이 상대적으로 우수한 송기식 방식을 선호한다. 대규모, 대심도의 지하공간 개발은 환기네트워크가 복잡하여 이에 따른 환기류의 편중현상이 두드러진다. 이러한 문제점 파악 및 대안을 제시하기 위하여 지하공간 시공중 덕트를 포함한 환기시스템을 모델화한 3D 환기네트워크를 구성하였으며, 이러한 덕트를 이용한 환기방식은 기존의 갱도를 이용한 환기와는 달리 하나의 갱도에 공기의 흐름이 발생하는 독립적인 두 개의 통풍로가 존재하므로 통풍로 상호간의 영향을 파악하여 환기해석을 하고자 한다.

2. Modeling과 이론적 배경

일반적인 환기 네트워크 분석은 지하 공간에서의 소요환기량을 선정한 후 설계상의 통풍로 단면적, 길이, 표면 거칠기등 관련되어지는 인자들을 고려하여 적재적소에 신선한 공기를 공급하기 위한 팬(Fan)을 선정함으로써 최적 환기네트워크가 완성되어진다. 본 연구에서는 환기네트워크 모델을 구성함에 있어서 하나의 갱도에 두 개의 서로 다른 통풍로가 존재하는 것을 그림 1과 같이 모델화 하였다.



[Fig.1] Net Diagram For Both Duct Line & Tunnel Line

---

1) 인하대학교 토목환경공학부
2) 인하대학교 토목환경공학부 교수

모델화에서 주의할 점은 기존의 갱도환기법의 경우 입기와 배기가 분리된 두 개의 터널 갱구가 필요하며, 갱도가 바로 통풍로의 역할을 담당하므로 갱도가 하나의 통풍로(이후 Branch라 칭함)로서 모델화가 가능하나, 덕트를 이용할 경우 하나의 갱도에 공기의 흐름이 발생하는 독립적인 두 개의 통풍로가 존재하므로 갱도 하나에 두 개의 Branch를 형성 시켜야 한다. 또한 Branch 간의 압력 손실을 고려하여 적당한 Leakage Branch를 삽입하여 통풍로 상호간의 균형을 맞추어야 한다. 기존의 연구에서는 이러한 압력손실을 고려하여 15~25%의 Leakage Branch를 적용하는 것으로 알려져 있으나, 현장의 다양한 조건에 따라 그 적용범위가 변화하므로 설계자의 지식과 다년간의 경험에 의존하게 된다. 압력구배가 큰 팬(Fan) 주변에서 50%이상의 Leaking이 발생하므로, Leakage Branch를 전 연장에 걸쳐 균등하게 100m마다 1개씩 설정하면 압력구배가 적은 부분에서는 압력의 손실로 인하여 환기류가 역류하는 현상이 발생한다. 이와 같은 이유로 Leakage Branch는 균등분배를 원칙으로 하되 최대한 압력구배가 큰 쪽으로 가깝게 삽입하여야만 원활한 결과를 얻을 수 있다. 두 개의 통풍로가 하나의 갱도안에 존재함으로 터널 단면적에서 덕트의 단면적을 빼고 통풍로의 면적을 계산하여 최종적인 모델을 구성한다. 또한 현장의 특성상 굴착후 쇼크리트(Shotcrete)와 락볼트(Rock Bolt)로만 지지를 하기 때문에 굴착 벽면의 굴곡에 대해서도 이에 대한 모델에의 적용을 고려하여야 한다. 구성된 모델의 해석은 V-net PC를 이용하였다.

또한, 이러한 한기 네트워크에서 손실은 마찰손실(Friction Loss)과 충격손실(Shock Loss)로 나누어진다. 환기시스템에서 공기의 흐름은 거의 정상 난류로 간주되어지며 마찰손실은 거칠기 등의 덕트 내적 표면의 특징, 그리고 덕트 면적에 의한 압력의 감소이며, 충격손실은 흐름방향의 변화나 단면적이 감소되는 효과에 의하여 발생한다. 또한 굴착이 12% ~ 13%의 경사로 굴착되는 구간에 대한 적절한 마찰계수를 고려하여야 하며, 굴착공정의 진행에 따라 모델에서는 덕트가 갱도의 방향에 따라 분기가 이루어지며, 팬에서 덕트로 입기하는 곳과 덕트에서 작업막장으로 공급되는 부분에서 충격손실의 고려가 필요하다.

[Table.1] Applied Equivalent Length(L_e)

Source	Equivalent Length ft (m)	Source	Equivalent Length ft (m)
Bend, acute, sharp	150 (45)	Outlet	65 (20)
Bend, right, sharp	70 (20)	Expansion, abrupt	20 (6)
Inlet	20 (6)	Splitting, deflected branch	200 (60)

기존의 갱도환기법과는 달리 덕트를 사용하면서 이에 따른 연결부위, 재료의 특징에 따른 압력의 손실이 발생하게 된다. 덕트의 직선부에서의 압력손실은 식(1)와 같이 표현된다. 또한 곡선부와 입·출구에서의 압력손실도 기본적으로 형상에 따른 계수변화(곡부저항계수: ζ, 흡·배기구 저항계수: $\zeta' + \zeta''$)가 있을 뿐 기본식은 동일하다.

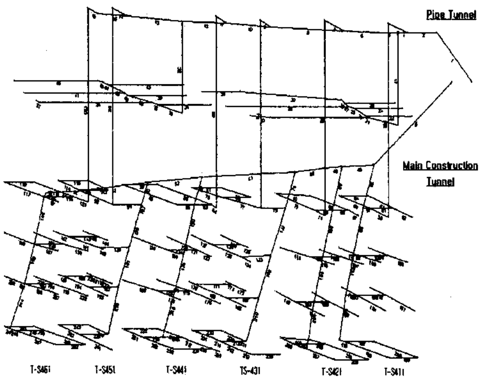
$$hs = (\lambda \frac{l}{d})\gamma \frac{V_a^2}{2g} \quad ....(1)$$

직선부 마찰손실 계수(λ)는 시공상태가 양호한 것으로 판단하여 스파이럴 덕트의 경우 0.02, 비닐계 덕트(타포린)의 경우 0.03을 이용했다. 또한 흡입구 저항계수(ζ')는 벨마우스를 적용하여 (r/d = 20 이상일 경우) 0.03, 배기구 저항계수(ζ'')는 덕트 출구에 단관 있을 경우 1.0을 사용했다.[공기조화위생공학편람 (송풍기의 설계)], 이러한 압력의 손실을 고려하여 총합적으로 덕트에 의한 압력손실이라 하며, 이를 송풍기의 선정에 반영하여야 효율적인 환

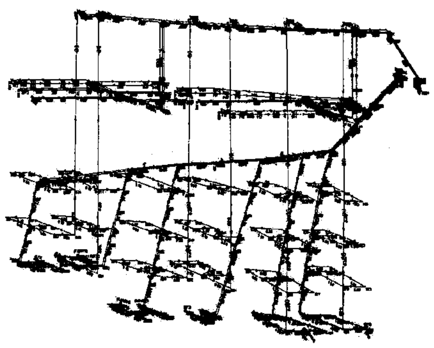
기시스템을 유지할 수 있다.

3. 적용사례

2004년 완공예정인 OO지하공간 시공현장에서 적용된 환기방식은 송기식 집중 방식을 적용하였으며, 이에 따라 공정의 진행에 따라 덕트연장의 증가로 환기네트워크의 균형에 영향을 준다. 따라서 지속적인 모니터링으로 신선한 환기류의 적정 공급을 유지하여야 하며, 또한 배기류의 입구 적체 현상에 대해서도 관심을 가져야 할 것이다. 시뮬레이션 결과 효율적인 환기를 위해서는 환기류를 임의로 제어하는 방식(controlled ventilation)이 필요하였으며, 이러한 제어방식은 환기류가 과도하게 공급되는 구역의 덕트 단면적을 조절하는 장치(Regulator, R)를 부착하여 환기류의 공급을 조절하는 방식으로 작업장에 필요한 만큼의 환기량을 충족시키는데 매우 효율적인 방법이다.

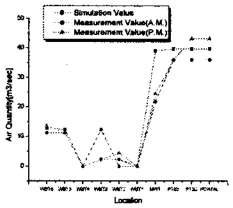


[Fig.2] Ventilation Network 3D Modeling

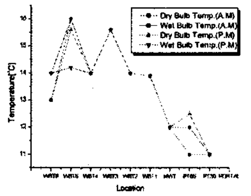


[Fig.3] Air Flow Simulation

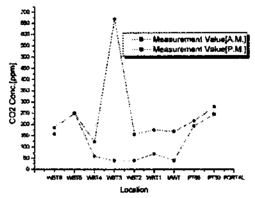
현장측정 데이터(2002년 2월말)를 살펴보면 환기량은 11.29m^3/sec와 13.55m^3/sec로 기준치(12.38m^3/sec)에 근접하고, 천공 및 버력처리 구간에서는 장비운행에 따라 발생되는 열 때문에 온도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 CO_2농도는 기준치(5000ppm)를 초과하지 않으므로 환기네트워크 모델의 현장 적용은 타당하다고 할 수 있다.



[Fig.4] Air Flow



[Fig.5] Temperature



[Fig.6] CO_2 Conc.

4. 결 론

덕트를 이용한 환기방식은 독립적인 두 개의 공기로가 존재하므로 통풍로 상호간의 영향을 파악하고 이에 따라 Leakage Branch를 삽입하여 모델을 설정하여야하며, 현장실측결과 환기모델의 적용이 타당한 것으로 판단된다. 현장의 다양한 조건에 따라 그 적용범위가 변화하므로 환기시스템을 최적화시키기 위한 지속적인 연구가 필요하겠다.