

도로터널 환기 및 방재시설 T.A.B의 필요성에 관한 연구

강병호[†], 여인철

(주)범창종합기술

Study on the Necessity of T.A.B for Ventilation and Safety facilities of Road Tunnel

Byung-Ho Kang[†], In-Chul Yeo

Bumchang Engineering Co. Ltd., Gangnam-gu, Seoul-si

ABSTRACT : The Necessity of TAB for the facilities of Ventilation and Safety system in a road tunnel is studied. TAB is to test, adjust and balance a system. The study is to investigate the advantage which results from carrying out TAB, with the measurement of temperature, velocity and pressure. The method of measurement of these factors and TAB procedure are also explained.

Key words : TAB(시험, 조정, 균형), Testing(시험), Adjusting(조정), Balancing(균형), Road Tunnel(도로터널)

1. 도로터널 TAB의 필요성

건물 TAB(Testing, Adjusting and Balancing)란 공기조화설비에 대한 종합시험조정으로 시험, 조정 및 균형이라는 뜻으로 ASHRAE System Handbook, SMACNA, AABC, NEBB 등 미국의 협회, 학술단체들이 발표한내용을 기초로 하며, 국내의 TAB 기술기준은 1988년 발행한 (사)공기조화냉동공학회(현재 대한설비공학회로 변경)의 “공기조화설비의 TAB 기술기준”에 준하고 있다.

건축설비 TAB의 최종 목적은 건물의 냉난방 등 설비에 대한 에너지 사용실태와 기능을 정밀하게 측정하여 에너지의 흐름을 효율적으로 유도하고, 성능을 발휘토록 함으로써 거주공간 등에 쾌적한 환경을 조성하는데 목적을 둔 설비의 한 분야이며, 그간 기술축적 등 많은 발전을 위해 노력해왔다. 그러나 도로터널의 TAB는 중요성에 비해 아직은 너무 낮은 관심으로 대형사고의 잠재적 내용을 내포하고 있다. 그래서 향후 집중적

인 검토와 보완책을 강구하여 기준마련의 기회를 준비해야할 것이다.

1999년 알프스 산맥의 몽블랑터널 화재, 최근 우리나라 홍지문터널 화재사고 등 국내외의 정황에 입각하여 사고분석 및 안전을 확보하기 위한 기술, 설계기준 방재시설의 운영현황에 대한 파악으로 터널화재를 예방하고 화재로 인한 인명 및 재산상의 피해를 최소화하기 위한 조치로서 2004년 12월 건설교통부의 『도로터널 방재시설 설치지침』을 고시 시행하고 있고, 한국도로공사에서는 2005년 4월 『고속도로터널 방재시설 설치기준 개정(안)』을 준비하였으며, 감사에서 지적된 터널 내 화재초기 피난환경의 신속한 확보를 위해 『터널 자동화재 배연시스템 개선』도 진행중이나 이는 반드시 TAB가 필요한 것이다.

특히, 최적의 상태로 운전되도록 하여 안전성 확보, 에너지 절감, 장비수명 연장, 유지비 절감, 효율의 극대화를 기대할 수 있으며, 준공개통 후 문제점 도출과 개선의 시행은 상당한 어려운 문제점을 갖고 있으며 이런 여러 가지 정황으로 볼 때 단순 시운전개념이 아닌 절대적으로 필요한 TAB라 하겠고, 이런 점들이 건축설비의 TAB와

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-570-1500; fax: +82-2-570-1588

E-mail address: bhkang@bumchang.co.kr

Table 1 국내 터널화재 사고현황

터널명	터널 연장	Tube ×Lane	사고일자	사고상황	사고원인	피해현황
남산3호터널	1260	2×2	99.10.07 05:20	승용차가 매표소에 충돌	빗길 과속	1명 사망
둔내터널	3300	2×2	00.06.24	둔내터널 상행성 출구부 소형차 화재	-	3시간여 동안 차량 정체
장지터널	587.4	2×2	01.2.4 04:20	승용차가 입구 옹벽에 충돌	과속	1명 사망, 4명 중상
다부터널	1041	2×2	01.03.11 10:00	승용차 화재 20분여 동안 차량통제	엔진부분의 합선	-
금화터널	555	2×2	01.12.23 7:40	택시와 승용차 3대 추돌	차선변경 추돌	-
무안3터널	280	2×2	02.12.05 23:50	승용차가 입구 측벽 충돌 화재발생	추돌	2명 사망
남산1호터널	1530	2×2	02.12.15 05:20	좌석버스의 자연발화 차량 후미부 화재 20분간 지속	자연발화	인명피해 없음
옥천4터널	874	2×2	03.2.10 01:00	화물트럭이 터널진입후 화재, 연기에 의해 후속차량 10대 연쇄충돌	자연발화	차량 10대
홍지문터널	1890	2×3	03.06.06 09:10	25인승 미니버스가 승용차 추돌 화재, 2분후 전력공급 차단	추돌	2시간40분 통제
안영2터널	600	2×2	03.07.11 05:30	1톤 화물차에서 매트리스가 떨어져 정차, 승용차와 관광버스 추돌	추돌	학생 5명 부상
월드컵터널	-	-	03.08.10 05:30	승용차가 갱구부 중앙분리대 벽과 충돌	충돌	1명
반포대교 지하차도	-	-	03.11.02 05:00	25톤 트럭이 지하차도 교각 정면충돌	졸음운전	3시간동안 극심한 정체

도로터널 TAB와의 확연히 다른 점인 것이다.

참고로 국내 터널화재 사고현황을 살펴보면 Table 1과 같다.

2. 기대 효과

1) 공사과정의 품질향상, 즉 점검, 개선 등을 거쳐 향후 시스템의 합리적 운영관리에 큰 효과를 얻을 수 있다.

2) 적절한 용량조정, 소음진동 개선 등 쾌적한 환경유지, 이용자에 만족도를 높일 수 있다.

3) 개통전 미리 측정, 조사하여 설계치와 비교, 분석으로 손실을 배제하며, 과분배로 인한 손실을 예방, 제거할 수 있다.

4) 균형있는 상태유지로 관리비를 절감할 수

있다.

5) 적정상태로 운전 및 유지가 되어 장비수명 연장 등 유지보수비용을 최소화할 수 있다.

6) 종합적인 시스템 용량, 효율, 성능, 작동상태, 운전 및 관리의 종합보고서가 작성되므로 경제성, 합리적인 시설관리가 가능하다.

7) 터널의 환기 및 방재시설 설계기준과 설계준공된 터널과의 차이점 분석을 통해 국내에서 환기 및 제연설비 선정시 정의된 각종 파라미터(자연환기력, 벽면마찰계수, 제트팬 승압효율, 집진기 및 수직갱 승압효율 등)에 대한 검증을 통해 Feed back으로 국내터널 조건을 충분히 반영된 설계기법을 수립하고, 혼합방식이 적용된 터널은 제트팬 종류식 방식보다 기계환기량이 커서

터널내 오염상태에 따라 효과적으로 운영이 되지 않을 경우 전력비가 크게 증가하게 되므로 실제 측정된 축류팬 풍량, 토출풍속 동력을 분석하여 터널별 적합한 운전단계모드를 구축하여 유지관리비용 최적화를 찾는 특성 및 최적화가 이루어진다.

3. 터널 TAB의 수행절차

수행절차를 준비단계, 점검단계, 측정단계 그리고 정리단계별로 그 수행절차를 나열해보면 아래와 같이 볼 수 있다. 그 단계별 내용을 요약해보기로 한다.

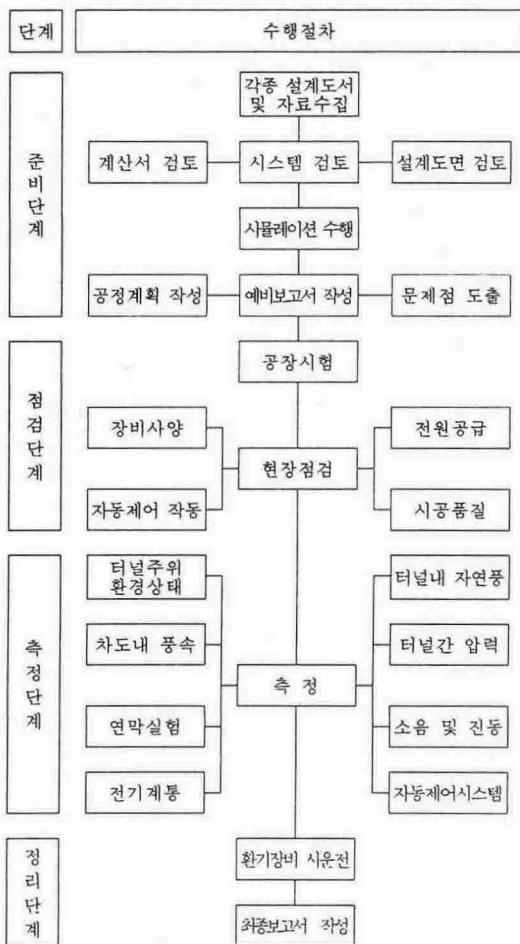


Fig. 1 터널 TAB의 수행절차

4. 단계별 내용 요약

4.1 준비단계

준비단계에서의 수행할 내용은 설계자료의 수집 및 검토로서 용량확인, 환기량 선정, 환기방식 및 배치계획, 자동제어 계통도 및 제어방식, 사양서, 성능곡선, 모터의 제원, 수전일정, 시운전 일정 등을 확인

1) 시스템 검토로 추정교통량, 터널연장, 단면적, 중단경사, 마찰손실의 적합성, 기준적용 적합성, 매연, CO, NOx의 차량속도별 벽면마찰손실, 자연환기력, 교통환기력, 필요승압력, 환기설비(제트팬, 전기집진기 등) 승압력, 터널내 오염농도의 적정성, 물분배계통 등 장비류의 용량, 전압, 동력, 수량, 압력손실, 제연설비의 풍속 등 3차원 시뮬레이션, 전기집진설비의 집진성능 검토로 시험성적서, 통과풍속 정압손실 적합성, Cell 수량, 효율, 용량, 세척수처리시설의 적합성에 따른 유량, 양정, 동력, 배관재질, 구경, 이음방법 등의 검토와

2) 시뮬레이션 수행으로 실제상황을 예측하고 대안을 제시함으로써 비용과 시간을 최소화 한다. 터널내 매연, CO, NOx, 압력, 기류분포 해석, 또한 제연설비계통의 화재시 연기거동 해석, 연기분포 및 임계속도 검증, 화재주변지역의 온도 분포 해석, 가압운전시 압력분포 해석, 집진설비계통의 공기유동 적정성, 집진기 전후 갱도의 기류거동 해석, 프리필터 및 집진기의 기류거동 해석, 집진구간의 오염농도 해석 등의 과정을 거쳐

3) 공정계획 수립(인원투입계획 포함)

4) 예비보고서 작성이 이루어져야 함.

4.2 점검단계

점검단계에서는 장비류의 제품 검수가 공장시험과정을 거쳐 용량, 동압, 정압, 양정, 전류, 전압, 회전수, 주파수 등이 포함된 시험성적서 사양을 검토하며 설계도서와 일치하는지의 확인을 하여야 한다.

아울러, 전원공급문제, 소음진동, 회전방향에 대한 적정성, 자동제어의 운전모드별 상태와 원격제어에 의한 정상가동여부는 기동, 정지, 역회전운전을 점검한다.

또한, 시공품질의 상태를 면밀히 점검 만일에 대비한 준비가 철저해야 하며, 그에 따른 모든 사항은 점검보고서로서 작성되어야 하며, 정상사항이 아닐 경우 별도의 시정조치요구서를 작성되

어야 하며, 점검표는 보고서에 첨부되어야 한다.

4.3 측정단계

측정단계에서의 먼저 고려될 사항은 우선 측정 기준에 대한 정립이다. 요구된 측정기기를 보유해야 한다.

진동, 충격, 습기 등으로부터 보호되고 운송, 보관되어야 하며, 1년이내 보정, 보정증명보유로서 신뢰성 확보가 필수이다.

정확도, 보정, 변위량오차, 인위적오차, 정밀도, 변위, 신뢰성, 계기오차 등 용어의 이해가 중요하며 허용오차의 판정과 해독회수로서 평균값의 $\pm 5\%$ 오차 반복성 또한 중요한 대목이다.

4.3.1 측정항목

터널주위의 풍향, 풍속, 기압, 온도, 습도 등 외기상태의 측정과 터널의 입구, 출구, 터널내 자연환기측정점 위치에서 동시에 측정하며, 터널습압력, 제트팬 대수 및 풍량별 정회전시, 역회전시 각각 측정하고 풍속계는 다접점(18 points 이상) 계측기를사용 동시에 측정한다.

자연환기 측정은 평균풍속지점에서 자동측정기록되어야 하며 그 값은 종합분석시 보정계수로 활용한다.

방재 및 제연풍속 측정은 역류지연시간, 터널외부로의 연기배출시간 등을 측정 분석하여 자동 제어 제연프로그램 구성시 자료로 활용한다.

도달시간 측정은 터널시점과 종점에서 측정한다.

압력차 측정은 풍속변화와 피난연락갱 위치에서의 차를 측정 전후 대피환경을 확인한다.

전류, 전압, 효율 등 측정되어야 하며 상간의 변위량, 역률은 필요시 측정하며 $\pm 2\%$ 정확도를 가져야 한다.

소음 및 진동은 정지중, 운전중 각각 측정하며 규정 준수로서 정확도가 밀박침이 되어야 한다.

자동제어 계측기 측정 확인하고 터널내 상태와 비교 확인으로 그 값을 보정계수로 활용한다.

연막발생 모의실험은 개통후 미래에 발생가능한 재해로부터 인명과 재산을 보호하기 위한 중요한 단계로 터널의 구배상태를 감안하여 측정하며, 풍속, 풍량, 온도, 제연시간, 피난연락갱 작동 및 상태, 화재감지기의 감지시간, 제연모드 운전 테스트, 연기확산경로, 가압지점과 피난연락갱 지점의 압력차 등을 측정하여 가상현황을 파악한

다.

전기실, 제어실의 공조설비계통의 장비검사, 닥트계통 검사, 천장구조물의 견고성, 실내 건축구조물의 공기흐름 방해요소 확인 등 이상과 같은 내용을 정성들여 측정한다.

4.3.2 측정방법

온습도 측정에 영향을 미치는 사항은 배제한 후 측정하며, 측정기의 오차를 방지하기 위한 측정기 조치가 중요하다. 자동으로 연속 기록되어야 한다.

압력측정은 대기압계의 대기압측정으로 터널 입구, 출구 양쪽에서 측정하며, 자동 기록되어야 한다.

차압계로서 경사형 마노미터 또는 디지털차압계로 측정하며 영점조절장치, 수평잡기장치 활용 등 유의할 사항과 흡입측 방화문을 통하여 측정하며 토출측은 방화문을 통하여 방화문 개소마다 측정한다.

풍량측정은 제트팬 토출구에서부터 160m 이상 거리에서 와류없는 장소에서 25분이상 평균풍속까지 측정한다.

$$\text{풍량(m}^3\text{/h)} = \text{평균풍속(m/s)} \times \text{터널횡단면적(m}^2\text{)} \times 3600\text{초}$$

이때, 자연환기 영향은 제거되어야 한다.

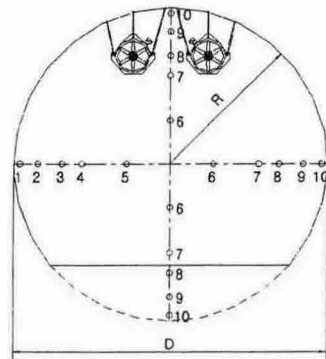


Fig. 2 상세측정 2분원법

자연환기 즉, 외기측정은 터널의 입출구 와류 발생 없는 장소로(보통 50m) 풍향풍속은 외부지면+2.5m, 온습도는 +1.5m, 기압계는 +0.5m의 위치에 두며, 참고로 고속도로 환기시설기준(2002.10)이나 일반적으로 정량적인 자연환기의 크기를 일방향 교통터널에서 2.5m s(건교부 환기

설계기준)로 적용하고 있다.

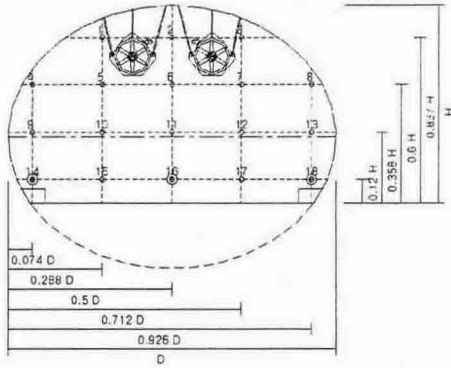


Fig. 3 2차선 터널(횡단면적 65m² 이하의 터널) 18 points(자연환기 측정점 포함, ◎)

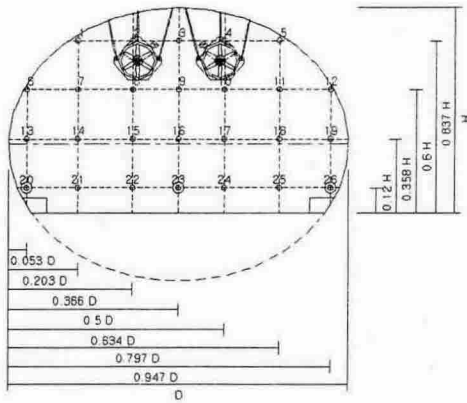


Fig. 4 4차선 터널(횡단면적 125m² 이하의 터널) 26 points(자연환기 측정점 포함, ◎)

그러나 터널의 위치 주변지형 등의 조건에 따라 그 값을 상회하는 경우도 있어 준공후 단계별 건설에 제연설비를 추가 증설하여야 하는 상황이 발생할 수도 있다. 준공전 계측하여 적합한 환기, 방재설비를 계획할 수 있도록 하며 이 측정값은 터널설계의 이론값 검증과 추후 설계시의 중요한 값을 제공한다.

소음측정은 공장에서의 시험성적서 상황과의 비교로서 현장에서의 측정(모드별)이 실질적으로 중요하다. 바닥높이 +1.5m. 계측기 보정 =2⁰db

마이크로폰 20kHz까지의 능력 보유

진동측정은 공해진동으로 인간에 불편감을 주는 진동으로 때에 따라 생활환경을 파괴하고 건물에 피해를 주는 진동으로 안전성 확보가 중요하다.

Table 2 장비회전수에 따른 최대 변위진폭 허용치 (ASHRAE 기준)

장비회전수 [rpm]	변위진폭허용치 (P-P)	
	mil	mm
펌 프	1,800	2
	3,600	1
원심 콤프레샤	1	0.025
송풍기	600 이하	4
	601~1000	3
	1001~2000	2
	2001 이상	1

※ 1mil = 0.001inch = 0.025 mm

- 변위진폭(Displacement) : 변위는 최대진폭을 말하며, 표기기호는 D 또는 AO 단위는 m 또는 mm, μ m
- 진동속도(Velocity) : 단위시간당 변위량으로 표기기호는 V, 단위는 m/s, $V=A\omega$ [m/s]
- 진동가속도(Acceleration) : 단위시간당의 속도 변위량으로 표기기호는 A, 단위는 m/s^2 ($gal=cm/s^2$, $g=9.8m/s^2$, $V=A\omega^2$ [m/s^2])

3Hz~1kHz 주파수 범위에서 속도모드는 0.1in/s의 민감도와 진폭모드는 3Hz~850Hz 주파수 범위에서 0.001in/s의 민감도를 가질 것, 진동 보정을 사용하여 정확도를 높인다.

회전속도는 정밀도 \pm 1% 정확도

전기계측에서 전압전류측정은 \pm 2% 정확도

계기의 정확도는 \pm 3% 이하로 표준메타로 보정 역률계는 \pm 2% 정확도

Table 3 연막발생실험 장치의 사양

항목	사양
연막 발생량	0~29 m ³ /min
연막 발생시간	85 min
열변환기	2.2 kW
크 기	410W×180D×540H
전 원	110V×60Hz
중 량	17 kg

생성된 연기는 180~200℃에서의 저항온도로 능력이 우수한 전용의 Smoke Oil을 사용, 추진가스로 질소 또는 이산화탄소도 사용하나 안전사고에 대비하여야 한다.

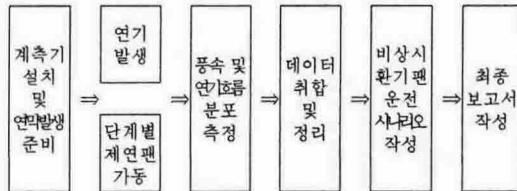


Fig.5 연막발생 흐름도

4.3.3 TAB 수행장비의 검교정

TAB 수행장비는 공인교정기관 또는 (사)대한설비공학회에서 인정하는 기관에서 주기적으로 교정되어야 한다.

1) 공통장비

장비	측정범위	허용오차	교정주기
회전수 측정장비	0~5000rpm	0±2%	12개월
온도 측정장비(물)	-40~50℃ -20~105℃	최소눈금의 1/2범위	12개월
온도 측정장비(공기)	-40~50℃ -20~105℃		12개월
전기 계측장비	0~600VAC 0~100VAC 0~30VDC	전체눈금의 3%	6개월
소음 측정계	25~130db	±2db	12개월

2) 공기계통장비

장비	측정범위	허용오차	교정주기
공기압력 측정장비	0~125Pa 0~250Pa 0~1250Pa 0~4500Pa	0±2%	24개월
피토투브	1200mm 1500mm	해당없음	해당없음
풍속 측정장비	0.5~15m/s	±10%	12개월
습도 측정장비	10~90%RH	2%고	12개월
직독식 측정장비	0~2300m ³ /h	±5%	12개월

3) 물계통 장비

장비	측정범위	허용오차	교정주기
온도 측정장비	-20~120℃	전체눈금의 ±1%	12개월
압력 측정장비	0~200kPa 0~400kPa 0~1400kPa -760mmHg~240kPa -760mmHg~400kPa	전체눈금의 ±1%	12개월
차압 측정장비	0~9kPa	전체눈금의 ±1%	12개월
초음파 유량계	0~6m/s	전체눈금의 ±1%	12개월

4.4 정리단계

종합시운전으로 정상 작동하는 지의 검토사항으로 프로그램상의 자동상태를 확인 점검한다.

- 1) 각 운전모드별 운전상태 전환 확인
- 2) 터널내 감지기의 정상 작동 확인
- 3) 자동제어기기의 작동상태 확인
- 4) 각종 시설의 연동 작동상태 확인
- 5) 터널 풍속계 위치에서 평균풍속 측정
- 6) 풍속 제로화 운전연동 작동 확인
- 7) 화재지점과 연동하여 제연팬 가동위치 전환 확인

위 같은 내용을 근거로 최종보고서 작성에 여러정확과 정보입력 등 분석결과를 설계와의 차이점을 표출하고 비교분석한다.

이때, TAB 측정 Data를 활용방안으로서 최대한 찾아 산입한다.

- 1) 자연환기력 측정으로 종합분석시 보정계수로 활용
- 2) 외기측정으로 환기력에 미치는 영향을 분석한다.
- 3) 종방향 기류속도 분포 및 온도측정 (마찰계수 승압력 확인)
- 4) 제연풍속 측정으로 자동제어 제연프로그램 구성에 활용
- 5) 환기설비 모드별 풍속 측정으로 CO, 가시거리 등에 의한 동력 증가요인 유무 확인
- 6) 전류, 전압 등 전동기 효율 측정(경제적 운전모드)
- 7) 진동 및 소음 측정(안전성 확보와 보건위생에 도움)
- 8) 전체적인 시스템 확인으로서 프로그램 작성에 가장 합리적인 안을 찾는다.

5. 맺는말

터널 환기 및 방재시설의 TAB라는 과정이 이렇듯 중요한 사안으로 개통전 모든 사항들을 시험하고 조정하여 최종 운전모드로 결정하는 과정으로 하나하나가 시기와 장소를 놓치면 향후 안전성 확보가 보장되지 않는다는 것과 에너지 효율적 운영의 부족상태로 가동 운영관리가 이루어질 수밖에 없는 것이다. 터널 TAB가 건축물 TAB와 특성상 다른 요인이 바로 이런 점이다.

법적 뒷받침이 필요하며 이를 의무화하여 하나 이 과정에 삽입해야 할 것이다.

또한, 터널환기 및 방재의 TAB업무는 터널의 환기방식에 따라 적용차이가 크게 필요하나 일반적으로 시스템상의 성능확인 및 보증, 에너지절감을 위한 일종의 커미셔닝 작업에 근접한 업무이다. 시스템검토, 시뮬레이션, 시운전시험, 모드별 시운전, 배연풍속 등의 특성을 정확히 확인하여 각 모드별 시운전결과에 따른 운전방법을 제시하여 터널환기의 최적 운용방안을 모색함으로써 최상의 컨디션을 유지하며 에너지절감에 이바지해야 할 것이다.

아울러, 제연모드와 연계성이 얼마나 근접되는지 최종 확인으로 마무리되어야 한다.

선진제국과 미국같은 나라에서는 일찍이 TAB의 필요성을 절감하고 1960년 이전부터 꾸준히 독자적인 TAB기술과 기준을 개발시켜 왔으며, 대부분 설계자나 시공사의 결함을 수정 및 개선에 대한 노력결핍 등의 이유로 독립적이고 자주적인 전문진단회사에 일임하고 있는 실정이다. 예를 들면, 미국의 경우 AABC, NEBB 같은 전문협회가 있어 엄격한 기준으로 보다 나은 시스템을 향한 노력이 지속되고 있다. 항상 TAB 전문기사 기술직을 보유하고 있고 영업소재지 확실한 장소와 재정상태가 양호하여 항상 연구노력으로 평가 기술정보를 전파하고 공공기관과의 지원과 협조가 잘되며 엔지니어링 및 연구개발로 신뢰성 있는 합리적 보고서를 제출하도록 그 능력을 갖추어야 한다고 하며 계속 정진하고 있다.

우리도 그 차이를 최대한 줄이고, TAB의 필요성을 강하게 인식하며, 이는 반드시 전문가 역할기대로 발전지향적인 노력이 지속적이어야 한다고 본다.

참고문헌

1. Manual of Estimation for HVAC & Utilities system, Korea Engineering Promotion Institution, 2004. 7.
2. T.A.B Manual of HVAC Systems, T.A.B division of Mechanical Engineering Institution, 2000. 12.
3. Manual of T.A.B Estimation for HVAC & Utilities, Korea Engineering Promotion Institution, 1998. 6.
4. The Standard of T.A.B for HVAC Systems, The Society of Air conditioning and Refrigeration Engineers of Korea, 2002.
5. Testing, Adjusting & Balancing of HVAC Systems, ENER-CON Engineering Inc, 1989. 4.
6. Installation Manual for Safety Facilities for Road Tunnel. Ministry of Construction and Transportation, 2004. 12.