

장대터널의 설계 및 운영관리기술

Design and maintenance art of long tunnel

윤 철 욱
C. W. Yoon
한국도로공사 시설처



- 1960년생
- 환경공학을 전공하였으며 터널환기에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

사회기반시설의 확충을 통한 물류비용 절감을 위해 최근 국내 고속도로 및 국도, 도시교통망의 신·증설이 가속화되고 있는데 특히 1969년 2개 노선 75 km로 시작하여 1998년 말 현재 20개 노선 1996.3 km인 고속도로는 앞으로 3년 후인 2002년까지 2,800 km, 2004년 3,700 km의 도로망을 갖추게 되는 눈부신 발전을 이루게 된다. 이와 더불어 국내 터널 시공기술의 향상과 환경피해 최소화 노력에 따라 긴 터널이 급속히 증가하고 있는데, 현재 운영중인 1,000 m 이상의 고속도로 터널이 3개소에 불과한데 비해 2003년 개통을 목표로 하고 있는 1,000 m 이상 터널은 44개소에 이르고 있다.

터널의 장대화에 따라 차량의 터널내 안전운행을 위한 환기시설과 교통관련시설, 재해발생시 신속대처를 위한 방재시설 그리고 터널내 속도유지와 수전을 위한 전기시설등 관련시설의 규모도 다양해지고 고도화하고 있다. 본 원고에서는 1999년 12월 준공예정인 영동고속도로 새말-월정간 확장공사구간의 터널을 중심으로 장대터널 설계현황과 터널관리시스템을 통한 운영관리방안에 대해 소개하고자 한다.

2. 터널설계현황

2.1 일반현황

영동고속도로 새말-월정간 확장공사는 급증하는 강원권의 교통수요에 대처하여 수도권과 영동권을 연계하는 간선도로로서의 기능강화를 목적으로 1995년 8월에 착공하여 1999년 12월에 구간 4차로로 준공할 예정이다. 이 구간에는 3,300 m로 국내최장대인 둔내터널의 4개터널(표 1)이 시공중에 있는데, 환기방식은 교통환기력을 유효하게 이용할 수 있는 수직갱 및 전기집진기 종류환기방식을 국내 처음으로 도입하여 시공중으로 앞으로 국내 터널환기분야에 좋은 시공사례가 될 것이다.

최근 프랑스와 이탈리아를 알프스 산맥으로 관통하는 세계최장터널중 하나인 몽블랑터널(11,400 m)에서 발생된 화재로 인하여 41명이 사망한 사고사례에 비추어 장대터널에서의 방재시설과 구난시스템에 많은 관심을 기울이고 있는데, 한국도로공사는 1997년 9월 개정 시행된 소방법시행령의 터널 연장별 소방설비 설치뿐 아니라 터널내 재해발생시 대고객 안전확보를 위해 필요한 신속한 상황감지와 전파를 위한 필수시설(비상전화, 전광안내판, CCTV, 라디오재방송설비등)을 반영

표 1 터널현황 (새말-월정구간)

터널명		둔내터널	봉평터널	진부1,2터널	진부3터널
위치	시점	황성 둔내 삼교리	평창 봉평 면은리	평창 용평 속사리	평창 용평 속사리
	종점	" 진조리	" 백목포리	" 하진부리	" 하진부리
터널연장 (m)	상행	3,300	1,420	2,317	604
	하행	3,300	1,445	2,316	599
관리동(평)		318	117	195	-

표 2 터널 방재시설기준(한국도로공사)

방재시설		터널연장(m)	4,000 이상	2,000 이상	1,000 이상	800 이상	500 이상	200 이상	200 미만	
		소 방 설 비	소화 설비	소 화 기 구	●	●	●	●	●	●
옥내소화전설비	●			●	●					
물분무설비	●									
경보 설비	비상경보설비		●	●	●	●	●			
	화재감지기		●	●						
	비상방송설비		●	●	●					
피난 설비	비상조명등		●	●	●	●	●	●		
	유도표시판		●	●	●					
비 활 동 설 비	소화 활동 설비		제 연 설 비	●	●	●				
			무선통신보조설비	●	●	●	●	●		
			연결송수관설비	●	●					
			비상콘센트설비	●	●	●	●	●		
기 타 설 비	통보 경보 설비	비 상 전 화	●	●	●	●	●			
		정보표시판 (터널입구)	●	●	●	●				
기 타 설 비	기 타 설 비	비상전원설비	●	●	●	●	●	●		
		라디오재방송설비	●	●	●	●	●	●		
		CCTV	●	●	●					
		피난연락경	●	●	●					
		비상주차대	●	●	●					

할 수 있는 터널방재시설기준(표 2)을 수립하였고, 상기 둔내터널등에 방재시설기준을 적용하고 있다.

2.2 둔내터널

둔내령을 관통하는 연장 3,300 m의 국내최장터널로서 Jet-fan과 수직갱을 조합한 종류환기방식

으로 시공하고 있으며, 수직갱은 높이가 204 m에 이르고 있다. 오르막경사인 원주방향 터널은 Jet-fan 32대와 수직갱 급·배기 환기시설이 내리막 경사인 강릉방향 터널은 Jet-fan 26대의 환기시설이 설치(그림 1, 2)되고 있다.

이 환기시설은 터널내 설치된 환기계측기인 가시거리 및 CO측정계, 풍향풍속계 그리고 차종차

속계에 의해 자동운전을 하게되어 차량의 쾌적한 주행과 운전자의 건강보호를 기할 수 있다.

또한 터널과 터널을 연결하는 피난연락갱에는 자동방화문을 설치하고 있는데, 이 방화문은 터널내 화재시 피난연락갱을 통하여 피난하는 사람과

대향차선 터널을 화염으로부터 보호할 뿐 아니라 평시에는 상·하행터널의 압력차이에 따른 환기 효과 저하를 방지할 수 있다. 둔내터널의 주요 시설물 현황 및 기능은 표 3과 같다.

표 3 시설물 현황 및 기능

구 분	현 황	기 능
환기시설	<ul style="list-style-type: none"> ◦ (상행) J·F 32대, 수직갱 1개소 ◦ (하행) J·F 26대 	터널내 매연, CO농도 가중치에 따라 환기시설 단계가동 ※ 화재시에는 배연운전 실시
터널조명등	저압나트륨등 5,352등	상황에 따라 5단계 제어 ※ 맑음, 흐림, 일몰/일출, 야간, 심야
소방시설	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 소화전 148셀(소화기 296개) ◦ 화재감지기 (선형화재감지기) 	물 또는 소화약제 방출로 화재초기진화 화재발생시 열을 감지하여 화재자동경보
	◦ 비상방송설비 144개소	비상시 터널내에 방송을 통하여 긴급메시지 송출
	◦ 유도표시등 32개, 비상구표시등 20개	터널내 위치와 방향, 거리, 비상구를 표시하여 피난 유도
	◦ 무선통신보조설비(라디오재방송설비와 병설)	소방대원간 무선통신과 터널통과 차량에 라디오 수신 지원
비상발전기	제1발전실 800 kw, 제2발전실 600 kw	한전전원차단시 필요 시설에 전원 공급
CCTV	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 터널입출구 : 4대 (회전형) ◦ 터널내 : 32대 (고정형) 	터널 내외부 상황(교통상황, 사고등)을 모니터로 확인하여 긴급상황에 대처
비상전화	36대 (200 m 간격)	비상시 연락용(터널통합관리센터수신)
전광안내판	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 터널입출구 : 2대 ◦ 비상주차대 : 10대 	터널 내외부 또는 인접구간의 교통 정보 및 사고상황을 신속전파
가변차선 표시등	(터널외부) 2개소(터널내) 10개소	터널내 작업 또는 사고시 차선 차단 표시
도로결빙방지설비	◦ 전기전열선 포설방식 : 터널 입,출구	도로결빙과 적설을 방지하여 동계 차량주행의 안전성 향상

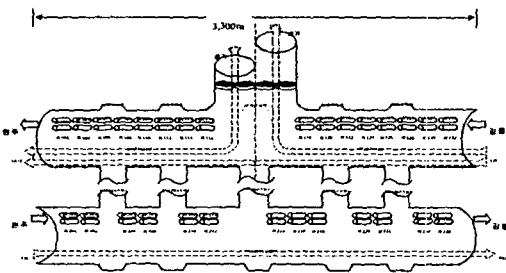


그림 1 둔내터널 환기 평면도

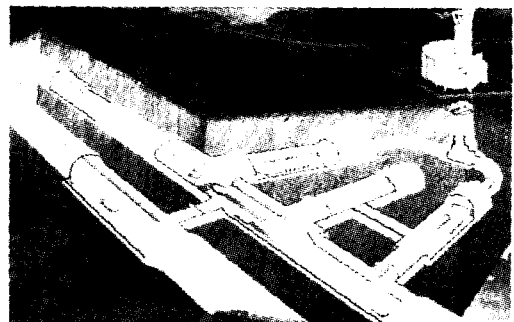


그림 2 수직갱 조감도

2.3 봉평터널

강원도 면은과 장평을 연결하는 연장 1,440 m의 터널로 Jet-fan 종류환기방식으로 시공하여 기 개통하였다. 상·하행 각각 6대씩의 Jet-fan이 설치되어 있으며 환기와 화재시 배연을 겸하고 있다. 주요 시설물 현황은 표 4와 같다.

2.4 진부1터널

강원도 속사와 진부를 연결하는 연장 2,095 m의 터널로 국내 최초의 전기집진기 환기방식으로 시공하고 있다. 오르막 경사인 원주방향 터널은 Jet-fan 8대와 전기집진기 환기시설이 내리막경사인 강릉방향 터널은 Jet-fan 8대의 환기시설

표 4 시설물 현황

구분	조명설비		환기설비	방재설비			교통설비				방송설비		
	터널 조명 (등)	가로등		터널개 (J·F)	화재 감지기	소화기 (개)	소화전 (조)	전광 안내판 (개소)	가변 표시등	CCTV (대)	비상 전화	라디오 재방송 장치	스피커 (대)
수량	2,314	상:17 하:16	-	상:6 하:6	상:6 하:6	상:64 하:64	상:33 하:33	상:1 하:1	상:4 하:4	상:10 하:10	상:8 하:8	1식	상:29 하:29

표 5 시설물 현황

구분	조명설비		환기설비		방재설비			교통설비				방송설비	
	터널 조명 (등)	가로등 (터널 외)	집진개 (축류팬)	터널개 (J·F)	화재 감지기	소화기 (조)	소화전 (조)	전광 안내판 (개소)	가변 표시등	CCTV (대)	비상 전화	라디오 재방송 장치	스피커 (대)
1, 2터널 (1,2T/N)	4,728	상:43 하:36	급기 2기	상:8 하:8	상:47 하:47	상:85 하:85	상:43 하:42	상:1 하:1	상:5 하:5	상:14 하:16	상:11 하:10	1식	상:43 하:47
3터널 (3T/N)	838	27	-	-	-	상:13 하:13	-	상:1 하:1	상:1 하:1	상:5 하:5	상:3 하:3	1식	-

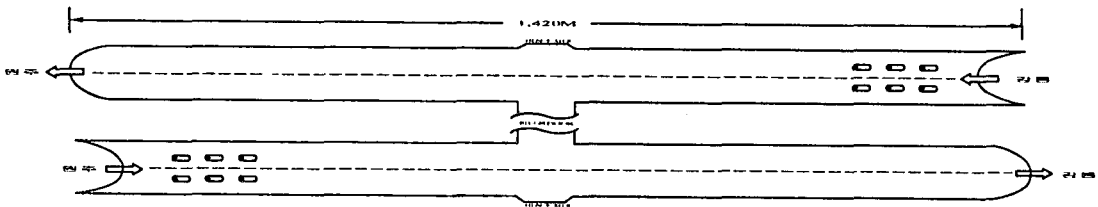


그림 3 봉평터널 환기평면도

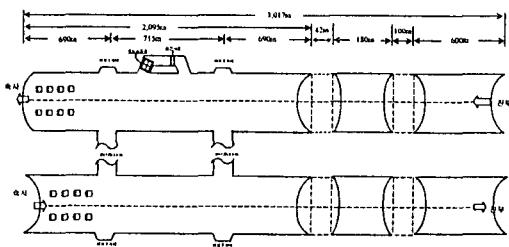


그림 4 진부터널 평면도

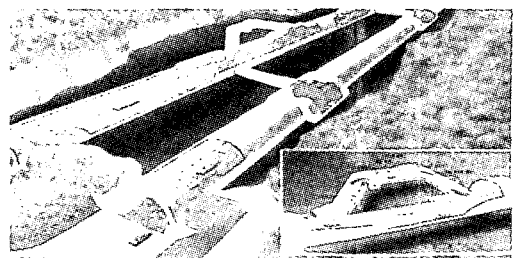


그림 5 진부터널 조감도

이 설치(그림 4, 5)되고 있다. 전기집진시설은 터널내 바이패스형 터널을 굴착하여 공기흡입용 Axial-fan과 함께 설치되며 터널내 공기중 매연 및 먼지입자를 제거하여 다시 차도내로 공급함으로써 가시도를 양호하게 유지할 목적으로 설치하는데, 노르웨이 제품이 설치되고 있다.

본 터널에서는 강설 및 결빙에 대비하여 터널 입·출구에 액체용설 액분사방식의 도로결빙 방지설비가 설치되고 있는데, 이 설비는 저장탱크에 용설액을 저장한 후 기상관측장비와 도로온·습도 및 결빙점센서에 의해 도로결빙시간을 예측하여 도로면에 설치된 노즐로 용설액을 자동분사하는 시스템이다.(그림 6)

기타 진부1터널과 바로 연결하여 있는 길이가

짧은 진부2·3터널은 자연환기터널이므로 세부내용은 생략하기로 한다.

3. 터널 운영관리 체제

3.1 터널통합관리시스템

영동고속도로의 터널통합관리시스템은 1999년 12월 준공되는 둔내, 봉평, 진부1·2·3터널과 2001년 12월 개통예정인 대관령1·2·3·4터널 등 총9개터널을 대관령지사에 위치한 터널통합관리센터에서 일괄 관리하는 체제(그림 7)이다. 터널통합관리센터는 2000년 1월부터 정상운영될 예정이며, 지금까지 터널별로 운영관리하던 체제에서 여러 터널을 원격군관리하는 체제로 전환하는

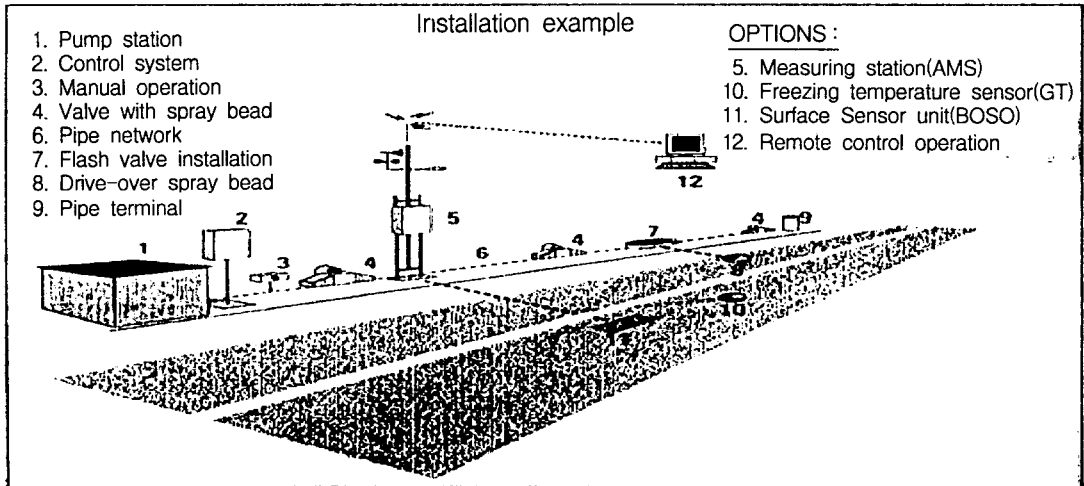


그림 6 도로결빙방지설비

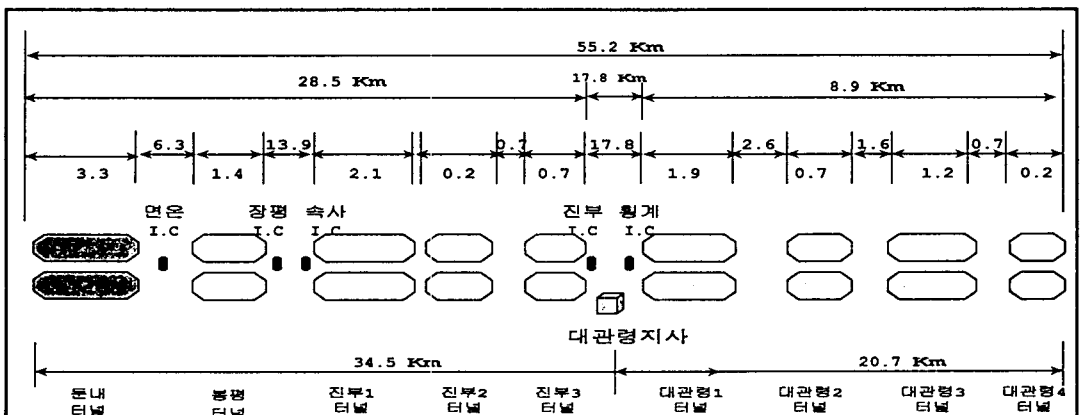


그림 7 통합관리 노선도

시발점이 된다. 통합관리의 목적은 고객에 안전한 터널 환경 및 교통정보의 제공, 시설물의 각종 고장 및 장애발생의 최소화 그리고 비상시(화재, 교통사고등) 신속대처하는 것으로 터널의 효율적·체계적 관리를 할 수 있게 된다.

통합관리센터는 각 터널의 제반 시설물을 통합 관리하기 위해서, 각 터널로부터 전송되어지는 정보를 감시 및 관리하고 자동 또는 운영자의 명령에 따라 각 터널의 설비들을 제어하는 시스템으로 구축되어야 한다.(그림 8) 따라서 각 터널 자동제어 시스템에서 감시 및 제어되는 주요 포인트는

통합관리센터의 원격감시제어 시스템에서 감시 및 제어되어야 하며, 원활한 운영을 위해 main server와 standby용 back up server를 설치하여 운영한다. main server는 터널 내에서 발생하는 주요 감시, 제어대상 data를 저장할 수 있어야 하며 터널 시설물의 효율적 관리를 위하여 FMS (facility management system)server를 설치하고 시설물들을 통합 관리한다. 또한 터널별 관리동의 operation station이 정지되었을 경우에도 통합관리센터에서 주요 포인트를 감시할 수 있도록 통합server는 터널내 RTU를 직접 감시

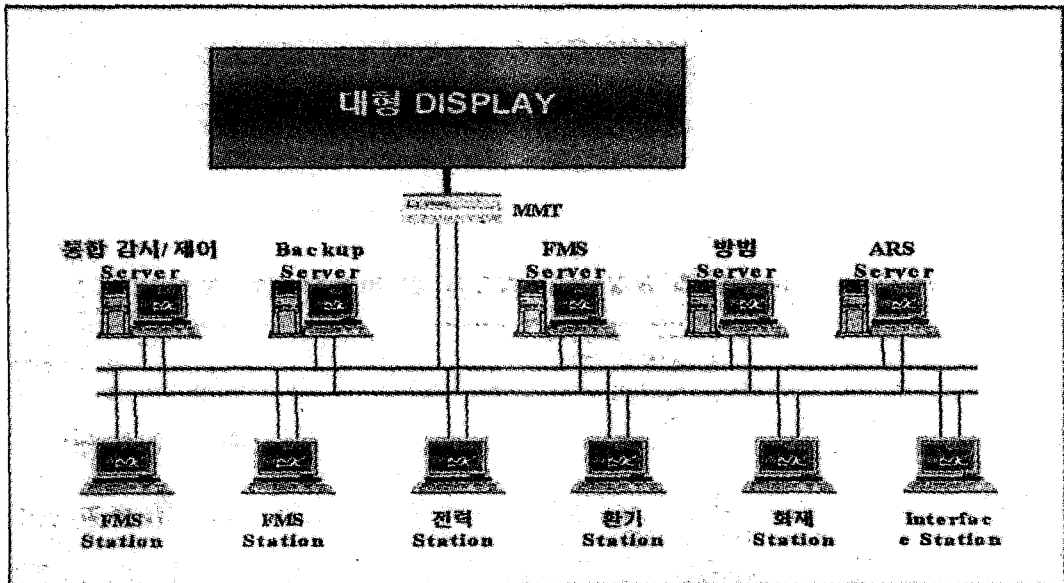


그림 8 통합관리시스템 구성

표 6 관리대상시설

분류	대상설비	비고	
터널설비	전기설비	모자이크 판넬, 변전실, 발전기, UPS, 터널조명설비(조명등, 가로등)	
	환기설비	Jet-fan, 수직갱, 전기집진기, 계측기	
	소방설비	화재탐지설비 및 소화설비, 급배수설비, 방송설비	
	교통류 관리설비	CCTV, 비상전화, 비상주차대 전광안내판, 가변차선표시등, 라디오재방송 설비, 가변정보표시판	
	기타설비	컴퓨터 및 주변장치, 소프트웨어, 네트워크장비, 방법설비, 도로결빙방지설비 (전기전열선식, 음설액분사식)	
통합관리센터	컴퓨터 및 주변장치, 소프트웨어, Display 설비, 통신설비, 전원설비, LAN 설비, 부대설비		

표 7 통합관리센터의 운영관리업무

항 목	내 용	
센터운영 관리업무	터널설비별 감시업무	운영자의 시설물 운영상태 감시
	터널설비별 제어업무	필요시 터널시설물의 자동/수동 운전제어
	교통류관리 업무	터널내 교통관련 정보관리 및 운영방안 수립/시행
	센터운영(H/W, S/W, D/B, N/W) 관리업무	전산 시스템 운영 및 자료관리
	유지보수계획 수립	연간/분기별/월별/주별/일별 관리계획 수립 및 작업지시
	유지보수실적분석 및 통계관리	유지보수 실적집계 및 통계분석, 보고서작성
	유지보수 인력 및 예산관리	연간/분기별/월별 예산관리 및 집행
	비상시 대처	사고발생시 신속 통보 및 구난활동 지원
유지관리 업무	정기점검업무	일간/주간/월간/분기 점검(전문업체 점검이 필요한 시설물은 전문업체 외주관리)
	비 정기점검업무	사고발생후 또는 필요시 시설물 점검
	고장수리업무	고장 시설물의 수리 및 교체 (전문업체 수리 및 교체가 필요한 경우 전문업체외주관리)

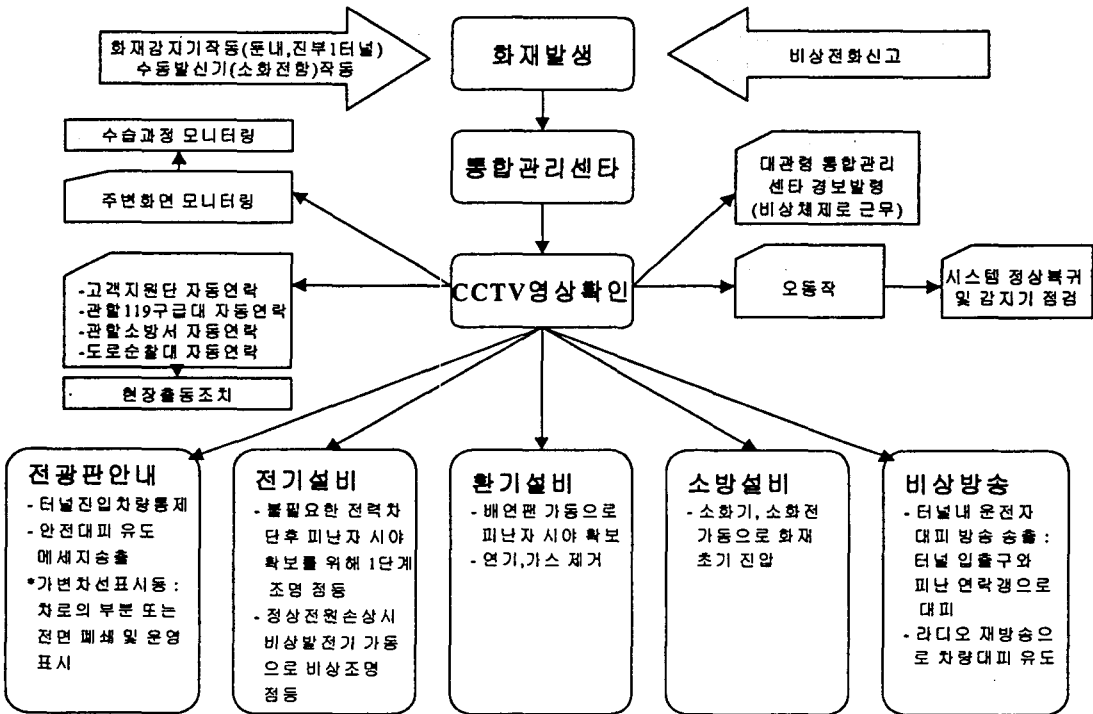


그림 9 화재발생에 따른 대응전략

할 수 있어야 한다. 그러나 이러한 고려사항 보다도 우선되어야 할 것이 있는데, 터널별 시스템 운영체계의 확립이 그것이다. 따라서 국내실정에 맞는 각 시설별 운전기준 수립에 의한 설비의 표준화가 가장 절실하며 이를 위해서는 기존 터널 설비에 대한 설계자료 및 운영실태등에 대한 기초자료를 축적하여야 하고 시스템 관리운영 및 설치기준에 대한 표준화 작업이 필요하다 하겠다.

3.2 비상시 제어운영 방안

터널통합관리시스템의 상황별 운영은 아래와 같다.

- 평상시 : 각 개별터널에서 자동운전 프로그램에 따라 운영
- 비상시 : 화재, 터널 교통 사고 발생과 같은 상황에 따른 대처 시나리오에 따라 운영
- 개별터널 관리동은 평상시에는 무인화 운전 (현장관리자에 의해 1일 순회점검)되며 비상시에는 현장 방재지휘본부로 운영

아래 그림 9는 화재발생시 대응전략을 기술한 것으로 최근의 대형화재사고에 대비하여 터널내 모의실험등을 통한 체계적 훈련이 더불어 시행되어야 할 것이다.

4. 맺음말

향후 건설되어질 우리나라 장대터널은 외국의

선진 터널의 시공 및 관리기법을 우리실정에 맞게 적용하고, 새로운 환기기술의 개발(전기집진기의 국내개발등)에 박차를 가하여야 하겠다. 또한 터널내 비상사태에 대비한 방재시설의 효율적 설치와 적응훈련이 체계적으로 이루어져야 하며, 무엇보다도 기 시설된 좋은 시설물을 효과적으로 운영하고 관리할 수 있는 운영관리기법의 개선에 매진하여야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 한국도로공사, 1999, 업무통계, pp. 7.
2. 윤철욱, 1999, 고속도로 터널의 최적환기량 산정에 관한 연구, 석사학위논문, 연세대학교 산업대학원.
3. 한국도로공사, 1995, 영동고속도로 원주-강릉간 4차선 확장공사(제6공구)터널보고서, pp. 210~247.
4. 한국도로공사, 1995, 영동고속도로 원주-강릉간 4차선 확장공사(제9공구)터널보고서, pp. 227~272.
5. 윤철욱, 김종원, 정종철, 1996, 공무국의여행귀국 보고서, 한국도로공사, pp. 43~51.
6. 한국도로공사, 1998, 터널방재시설기준.
7. 김한철, 1998, 터널군관리시스템 구축의 필요성 및 방향, TGMS 구축 및 운영방안에 대한 Workshop, pp. 3~14.