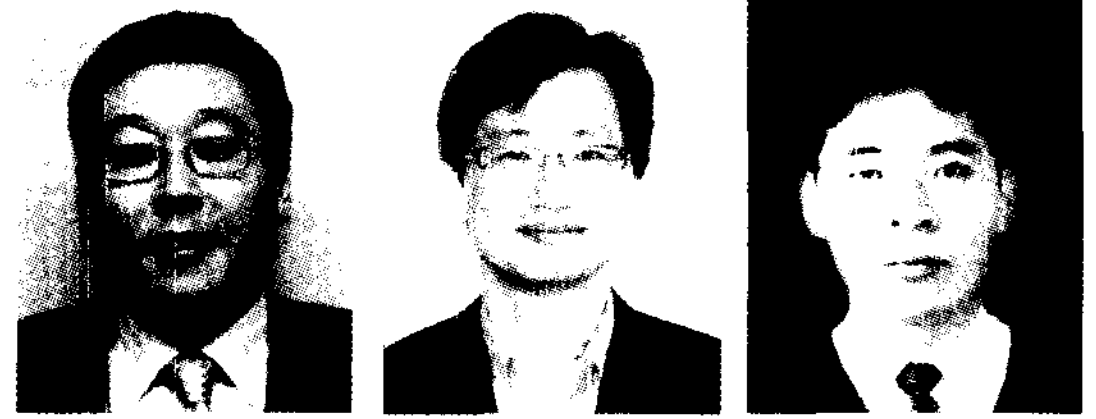


기능성과 경제성을 겸비한 세종지하차도 설계

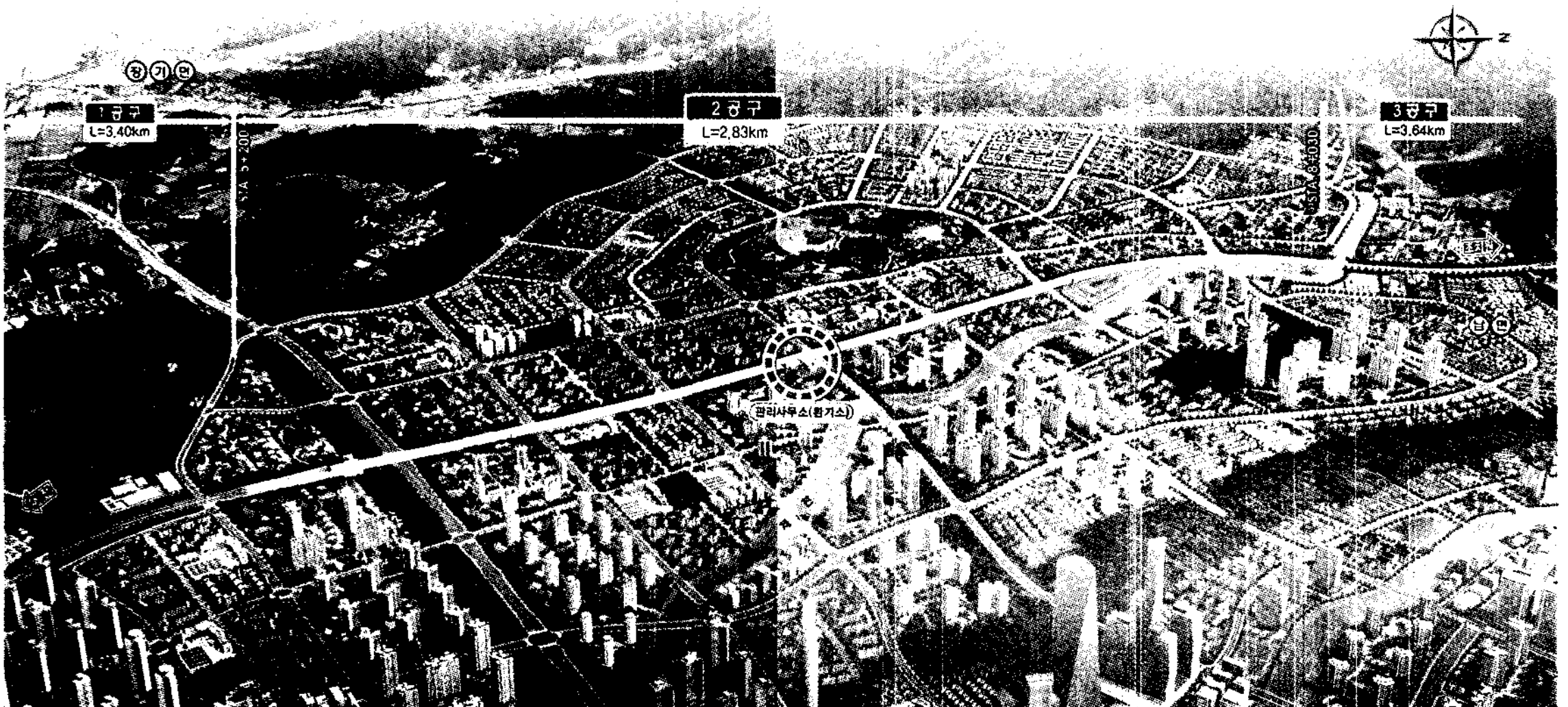


조 성 태 | 정회원 · 삼성물산 주식회사 건설부문
송 국 환 | 정회원 · 삼성물산 주식회사 건설부문
이 희 건 | 진우엔지니어링 도로사업부

1. 서 론

최근 신도시를 개발하며 도심지 교통정체 해소를 위한 간선도로 건설은 교통소통에 기여하지만 도로변 교통소음으로 인해 도로주변 주민의 민원을 유발한

다. 또한 주변 가로망과 접속을 위해 평면교차로를 설치할 경우에는 교차로 구간에서 간선도로의 교통흐름이 끊기는 등의 문제점이 발생 된다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해 최근 택지 개발 지구 내에는 장대지하차도 건설이 증가되는 추세이다. 그러나 장대지하



〈그림 1〉 국도1호선 우회도로 건설공사 2공구 위치도

차도 건설시 소요되는 과도한 공사비와 지하차도 내 화재 등 유고시 이용자 안전측면에서 문제점이 대두되어 공사비용 측면과 안전측면을 동시에 만족할 수 있는 지하차도 건설 방안이 필요하다.

최근 한국토지공사에서는 행정중심복합도시를 통과하는 국도1호선 우회도로 건설공사를 4개 공구(금강1교, 1공구, 2공구, 3공구)로 나누어 설계·시공 일괄입찰 방식으로 발주하였으며 이중 당사가 참여한 2공구에는 총연장 2,803m의 국내 최장 지하차도가 계획되어 있다. 본 기술기사에서는 경제성과 안전성을 만족할 수 있는 신개념의 세종지하차도에 대해 설명하고자 한다.

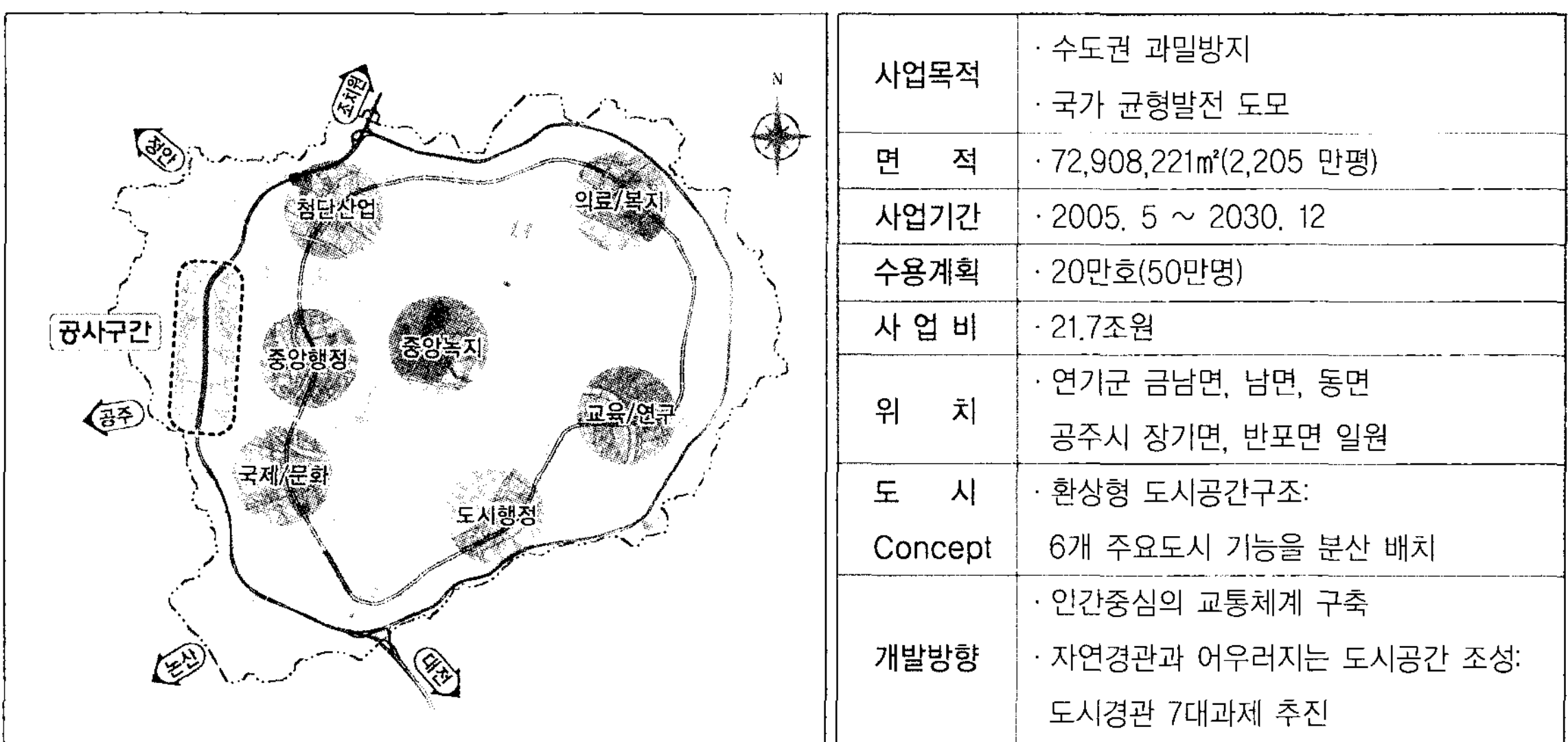
2. 행정중심복합도시 개요

행정중심 복합도시는 「신행정수도 후속대책을 위한 연기·공주지역 행정중심복합도시 건설을 위한 특별법」에 의해 국가균형발전을 선도하는 행정기능 중심의 자족도시로서 2007. 7. 20 첫 마을 조성 사업을 시

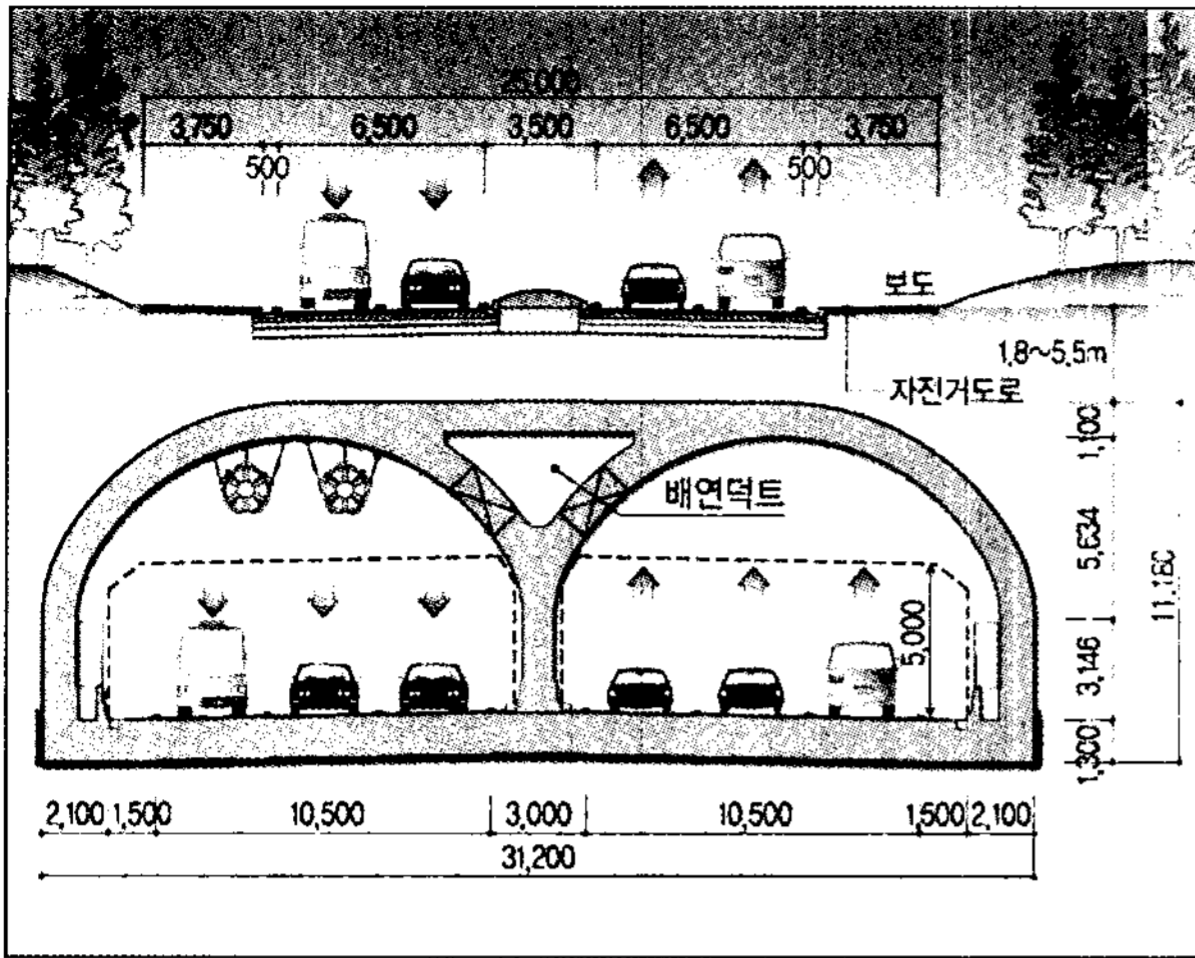
작으로 공사가 진행 중에 있으며 행정중심복합도시는 도시기능을 6개로 구분하여 환상형 도시구조를 배치하며 도시전체가 균등하고 특색있게 발전할 수 있도록 6개 공간기능을 분산배치하고 있다.

3. 행정중심복합도시 국도1호선 우회도로 건설공사 2공구 현황

행정중심복합도시 국도1호선 우회도로 건설공사 2공구는 충남 연기군 남면 고정리에서 공주시 장기면 당암리에 이르는 총 연장 2.803km의 지하차도로서 설계속도는 80km/h의 도시지역 주간선 도로이다. 세종지하차도'라고 명명된 이 지하차도는 왕복 6차로로 계획된 장대 지하차도로 상부에는 행정중심복합도시 내 도시계획 도로가 위치하고 있으며 약 41개월의 공사기간이 소요되는 대규모 건설 사업이라고 할 수 있다.



〈그림 2〉 행정중심복합도시 도시구조 배치



구 분	개 요
도로의 구분	· 도시지역 주간선도로(외곽순환도로)
설 계 속 도	· V=80 Km/h (국도 II)
차로수및 폭원	· 왕복 6차로(B=30.0 m)
주요 구조물	· 세종 지하차도 1개소 (2,803m)
공 사 기 간	· 41 개월(2008.06 ~ 2011.11)

〈그림 3〉 국도1호선 우회도로 건설공사 2공구 현황

4. 신개념의 지하차도 단면설계

세종지하차도 단면 설계를 위하여 <표 1>에서와 같이 2-Arch 제트팬 형식 및 횡류식, Duct Arch 제트팬+집중배연 덕트 형식 3가지의 단면을 비교하였다.

2-Arch 제트팬 형식은 시공성과 주행성, 경제성 측면에서는 다소 유리하나 화재시 발생하는 연기제어가

곤란하여 방재기능이 취약한 단점이 있다. 2-Arch 횡류형식은 화재시 연기가 출구와 환기소로 분산 배출이 가능하여 제연 및 방재측면에서는 유리한 반면, 상부에 덕트 설치에 따른 운전자의 폐쇄감 발생과 유지관리비용이 고가인 단점이 있다. 반면, Duct Arch 제트팬+ 집중배연 덕트 형식의 단면은 앞서 언급한 방재기능과 경제성, 두 가지 단면의 장점을 겸비한 신개

〈표 1〉 단면형식별 비교

구 분	기본계획(2-Arch)	기본설계(Duct Arch)	비교안(2-Arch)
	제트팬	제트팬+집중배연 덕트식	횡류식
단 면 도			
특 징	환기계획	· 출구로 오염물질 집중 배출	· 출구와 환기소로 분산 배출
	방재계획	· 화재차량 전방 위험노출	· 화재차량 전방 안전
	시 공 성	· 시공성 양호	· 시공성 양호(상부덕트 일체시공)
	주 행 성	· 개방감 확보로 주행성 양호	· 개방감 확보로 주행성 양호
	유지관리	· 아치 오목부 배수 및 방수불리	· 상부의 배수 및 방수양호

념의 지하차도 단면으로 주행성, 시공성, 경제성이 우수하다고 할 수 있다. 따라서 본 지하차도에서는 사용자의 쾌적성과 화재 등 유고시 방재기능, 경제성 등을 종합적으로 고려하여 Duct Arch 제트팬+집중배연 덕트식 단면을 적용하였다.

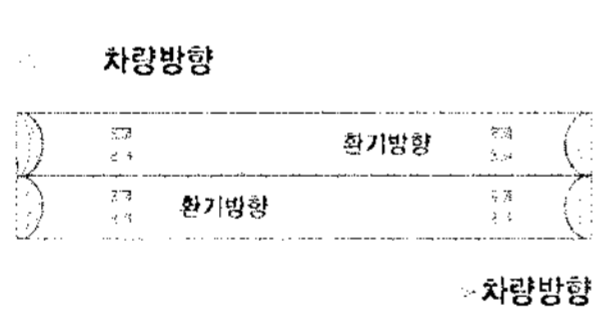
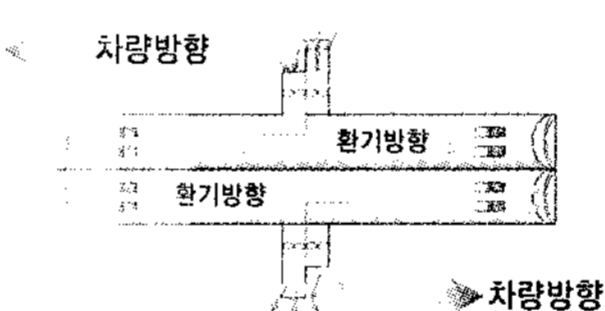
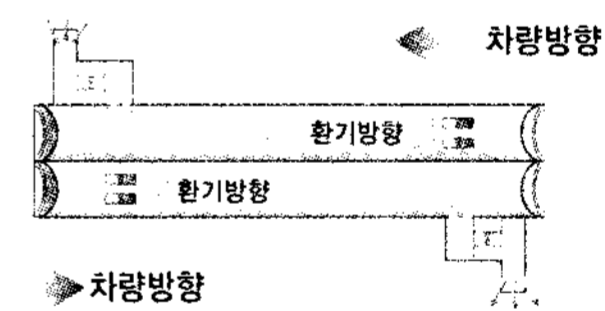
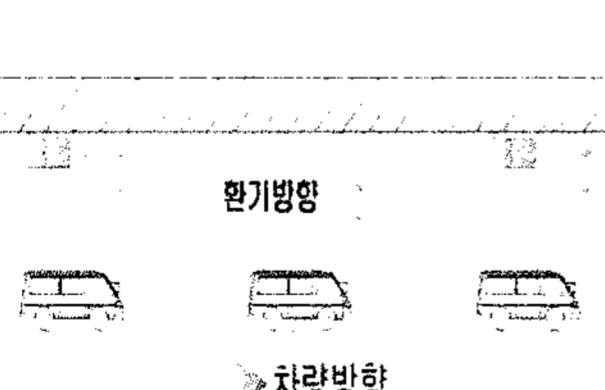
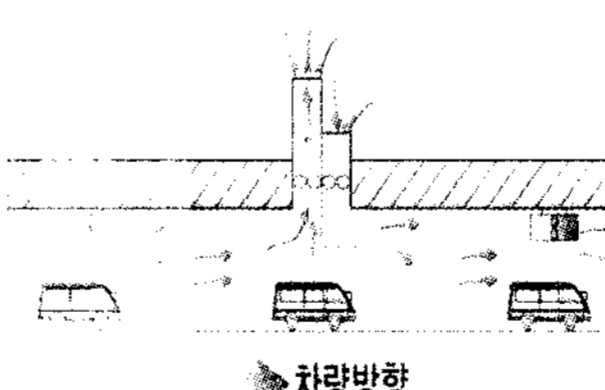
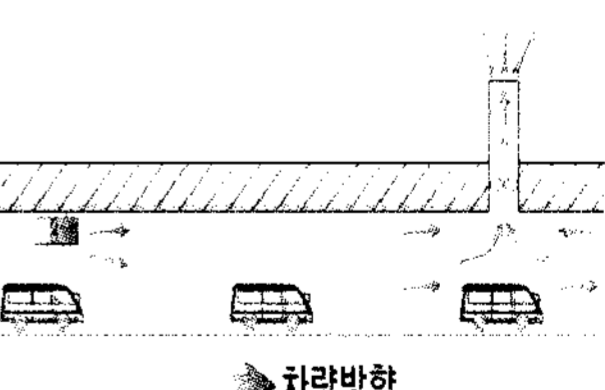

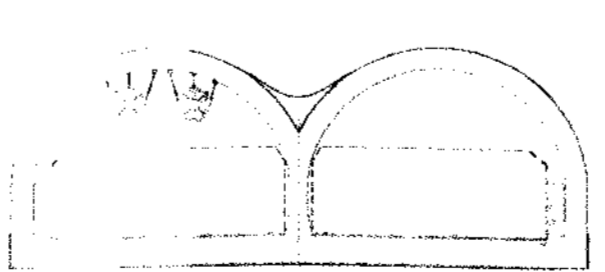
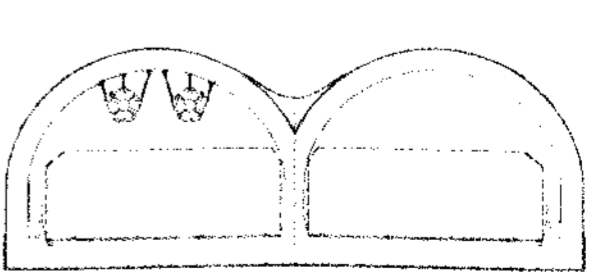
5. 최장 지하차도에 적합한 환기방식 선정

세종지하차도는 총연장 2,803m로서 국내최장 지하차도 이므로 환기방식 선정시 차량에서 발생하는 오염물질 처리뿐만 아니라 지하차도 내부에서 화재발생시

연기배출능력 및 주행성 등을 종합적으로 고려하여 가장 적합한 환기방식이 적용되어야 한다.

따라서 <표 2> ~ <표 3>와 같이 국내외에서 적용되고 있는 환기방식을 종합적으로 고려하였다. 환기방식 비교분석결과 종류식 방식(제트팬, 제트팬+수직갱, 제트팬+집중배기방식)은 공사비 측면에서는 저렴하나 덕트가 없고, 지하차도내 화재발생시 화재연기가 차량전방으로 기류가 형성되어 화재전방 이용자의 안전한 대피가 곤란하다. 반면 반횡류식(송기식)과 횡류식(송·배기식) 및 조합식(제트팬+집중배연덕트)은 화재발생시 발생지점에서 배연이 가능한 장점이 있다. 그러나 반횡류식과 횡류식의 경우 운전자의 폐쇄감을 유발할

<표 2> 종류식 환기방식

구 분		종 류 식		
방 식		제트팬 방식	제트팬+수직갱 송·배기	제트팬+집중배기
사용장비		제트팬	제트팬+축류팬	제트팬+축류팬
환기 방식	평면도			
	종단면도			
	단면도			

〈표 3〉 횡류식, 조합식 환기방식

구분	반 횡류식	횡류식	조합식
방식	송기식	송·배기식	제트팬+집중배연덕트식
사용장비	축류팬	축류팬	제트팬+축류팬
환기 방식	<p>평면도</p>	<p>평면도</p>	<p>평면도</p>
	<p>중단면도</p>	<p>중단면도</p>	<p>중단면도</p>
	<p>단면도</p>	<p>단면도</p>	<p>단면도</p>

〈표 4〉 환기방식 비교

구분	종류식			반 횡류식	횡류식	조합식
	제트팬 방식	제트팬+수직갱 송·배기	제트팬+집중배기	송기식	송·배기식	제트팬+집중배연덕트식
사용장비	제트팬	제트팬+축류팬	제트팬+축류팬	축류팬	축류팬	제트팬+축류팬
덕트 유무	×	×	×	○	○	○
특징	방재계획	· 화재차량 전방위험노출		· 화재차량 전방 안전		
	환기계획	· 출구부로 오염물질 집중배출		· 출구와 환기소로 분산배출		
	주행성	· 개방감 확보로 주행성 양호		· 폐쇄감 유발로 주행성 불리		· 개방감 확보로 주행성 양호
사례	· 센텀지하차도 등	· 둔내터널 등	· 분당지하차도	· 창원터널	· 남산1호 터널	· 해외다수 · 거가대교 침매터널(유사)

수가 있어 주행성에서 불리한 단점이 있다.

따라서 화재발생시 발생지점에서 배연이 가능하며 안전한 개방감으로 주행성이 우수한 조합식(제트팬+집중배연덕트)의 환기방식을 적용하였다. 이 방식은 평상시에는 제트팬에 의해 환기운전이 가능하고 화재 발생 시에는 지하차도 상부의 배연덕트를 개방하여 신속한 배연이 가능하다. 또한 유지관리 비용이 저렴한 장점이 있어 홍콩, 중국 등에서 유사한 형태로 운영되고 있으며 국내에서는 현재 시공중인 거가대교의 침매터널에 비슷한 방법으로 적용된 사례가 있는 환기방식이다.

6. 내화성을 고려한 세종지하차도 포장형식

지하차도 포장은 일반 토공부와는 달리 화재에 대비한 포장형식 선정이 필요하다. 즉, 지하차도 내부처럼 밀폐된 공간에서 화재발생시 아스팔트포장의 경우 다량의 유독가스가 발생되어 큰 인명피해를 야기할 수 있다. 따라서 <표 5>와 같이 내구성, 내화성, 유지관리, 생애주기비용(LCC) 등을 종합적으로 고려하여 고성능 콘크리트(HPC) 포장공법을 세종지하차도 포장형식으로 선정하였다.

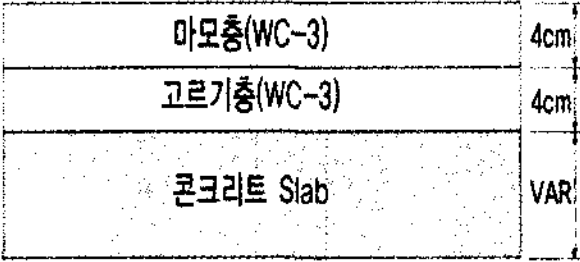
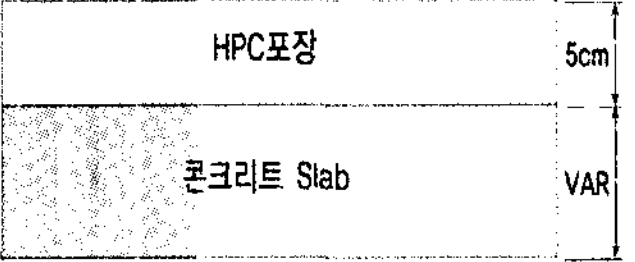
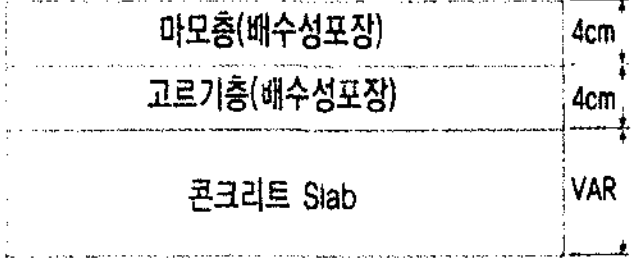
HPC 포장공법은 초고층 빌딩 건설 시 사용되고 있는 실리카 폼, 플라이애쉬, 고로슬래그미분말과 같은 미세 입자들을 콘크리트에 혼합하여 시멘트 입자사이의 내부 미세공극을 충전함으로써 고강도, 고밀도, 고내구성을 추구한 재료이다. 또한 범용 합성섬유 중에서 강도와 탄성률이 가장 높고 친수성, 내후성, 내열성, 내약품성 등이 우수한 친수성 폴리비닐알콜(PVA) 섬유를 첨가하여 소성수축균열 발생을 최소화하였다. 또한 포장층 시공 시 워터젯 표면처리 공법을 적용하여 포장체와 콘크리트 모체 사이의 부착을 완벽하게 하여 바닥판과 일체화 거동을 유지시켜 우수한 공용수명과 구조적 안정성

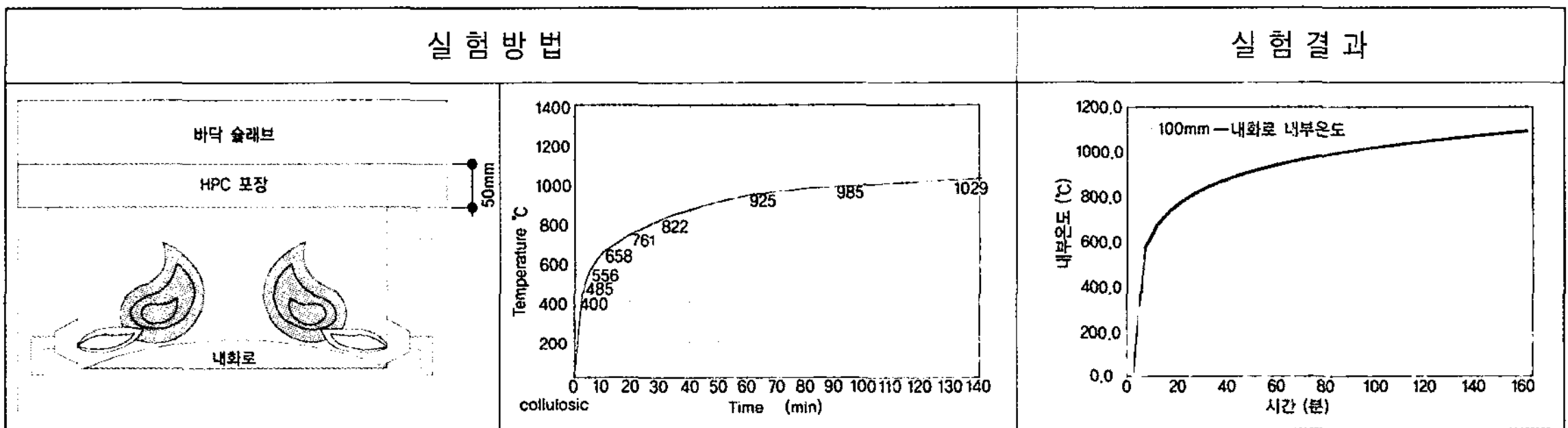
을 발현한다. 워터젯 공법은 습식으로 바닥판의 레이턴스를 제거하여 분진발생이 전혀 없으며 슬러지 정화장치를 이용하여 작업수를 완벽하게 회수하고 슬러지는 압축장비를 이용하여 폐기하고 작업수는 정화하여 재 활용하는 친환경 공법이다.

내화성과 관련하여 최근유럽에서 수행된 연구결과를 살펴보면, 아스팔트는 화재발생 8분후(내부온도 428~530℃)부터 연소되어 인체에 치명적인 유독가스가 발생하는 것으로 분석되었다(Cergy Pontoise 대학, 프랑스, 2003년). 또한 벨기에에서 아스팔트와 콘크리트 포장의 화재모사시험 결과에서도 아스팔트 포장은 750℃ 온도에서 유독가스 발생 및 포장의 구조체가 파손되었으나 콘크리트 포장은 유독가스 발생이 없으며 구조적으로 안전한 것으로 연구되었다. 따라서, 벨기에 등 유럽국가에서는 내화성 및 유지관리 등을 고려하여 콘크리트 포장을 확대하는 추세에 있으며 국내의 “터널내 포장설계 지침”에서도 500m 이상의 터널 등은 콘크리트 포장을 원칙으로 하고 있다. <그림 4>의 3시간 가열의 ISO 곡선을 이용한 HPC포장의 내화 실험결과 역시, 지하차도내 화재로 인해 지하차도 내부의 온도가 1,100~1,200℃까지 상승할 경우에도 폭열이 발생하지 않아 내화성능이 우수한 것으로 분석되었으며 하부슬래브의 주철근 위치에서 최대온도는 200℃ 미만으로 분석되어 화재발생 시에도 지하차도 구조물의 안전성을 확보할 수 있었다.

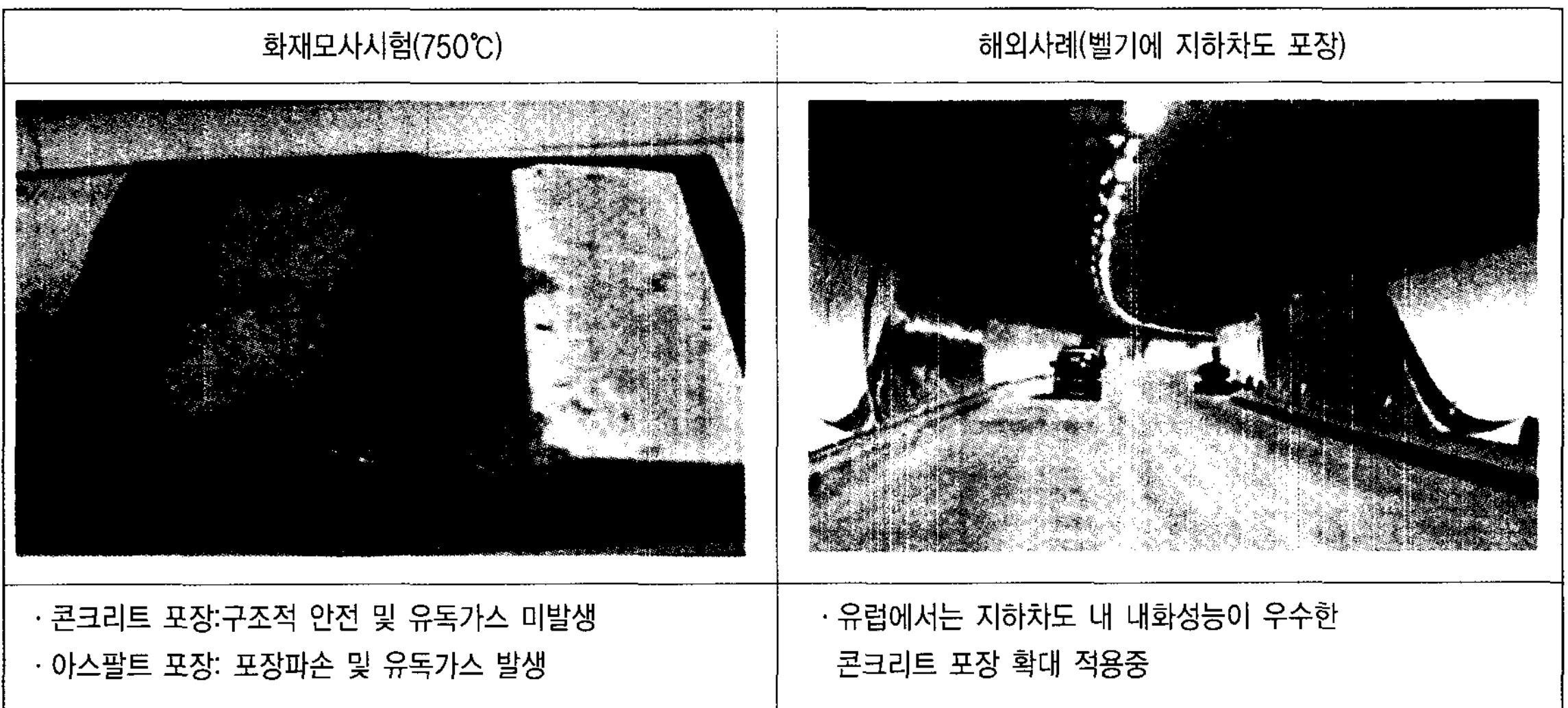
내구성 측면에서는 일반 아스팔트포장과 비교시 방수층 시공이 필요하지 않아 최근 아스팔트 포장에서 발생하는 방수층 파손과 이에 따른 2차 파손의 예방이 가능하고, 배수성 포장 적용시 발생하는 공극 막힘 현상 등이 없어 내구성등 공용수명이 우수하여 유지 보수비용의 절감이 가능하여 LCC 분석결과 가장 경제적으로 나타났다.

〈표 5〉 포장형식 비교

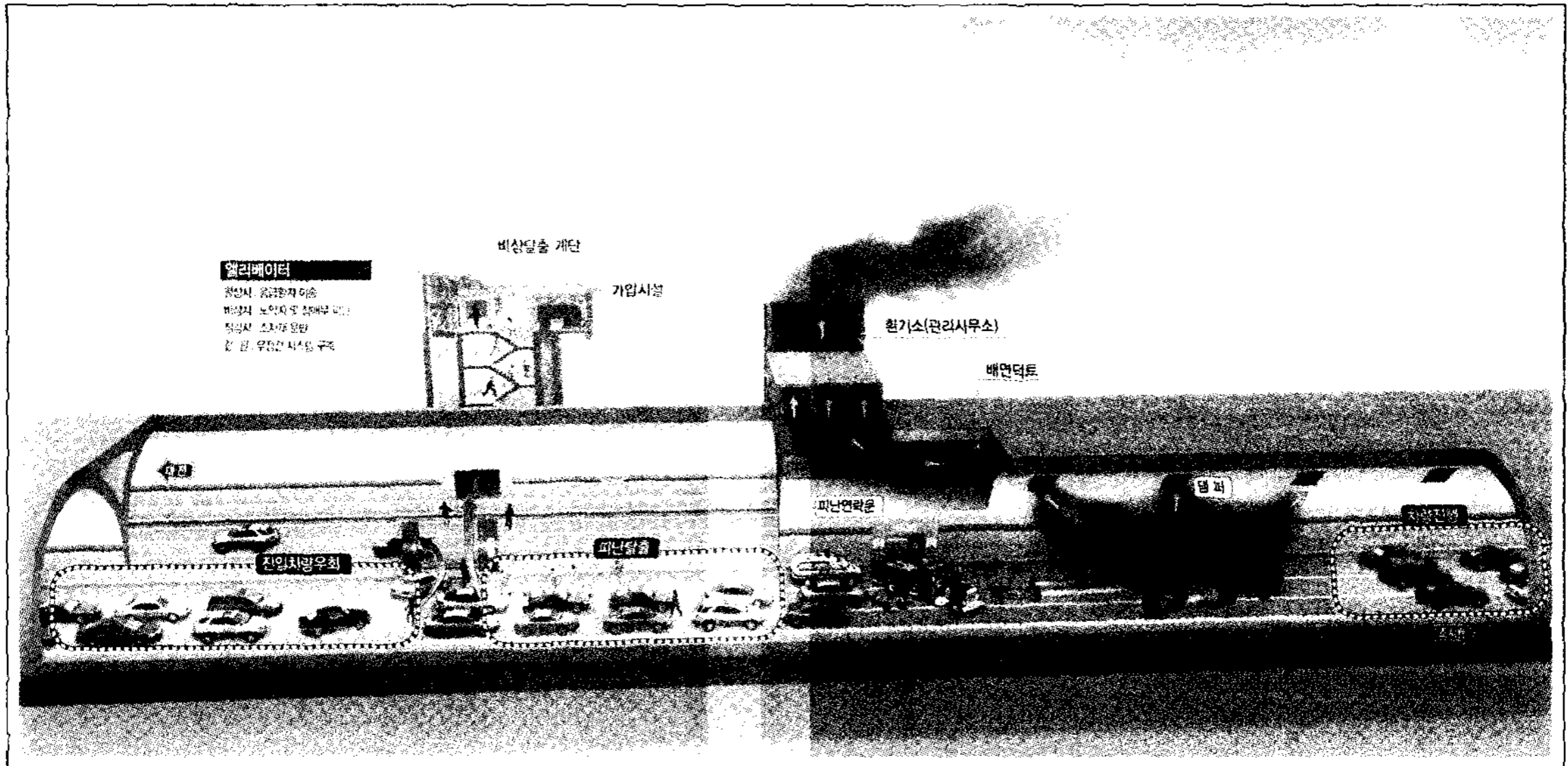
구분	기본계획(WC-3)	기본설계(HPC 포장)	비교안(배수성포장)
개요	· 일반 아스팔트 콘크리트	· 실리카폼을 첨가한 고성능 콘크리트포장	· 배수기능을 고려한 개질아스팔트포장
단면도			
특징	내구성	소성변형 발생	소성변형 다소발생
	화재	내화성 불량	내화성 우수
	소음	소음보통	소음저감 시설 설치로 소음 보통
	유지관리	줄눈부 보수과다	유지보수 거의 없음
	LCC	68.0억원	18.1억원(감 49.9억원)
결과	· 지하차도 내부의 화재시 대응능력, 내구성, 생애주기 비용 등을 고려하여 HPC 포장 선정		



〈그림 4〉 HPC포장 내화성능 시험



〈그림 5〉 화재모사시험 및 콘크리트포장 적용사례



〈그림 6〉 화재시 피난 계획

7. 사고 예방 및 발생시를 대비한 종합 방재시스템 구축

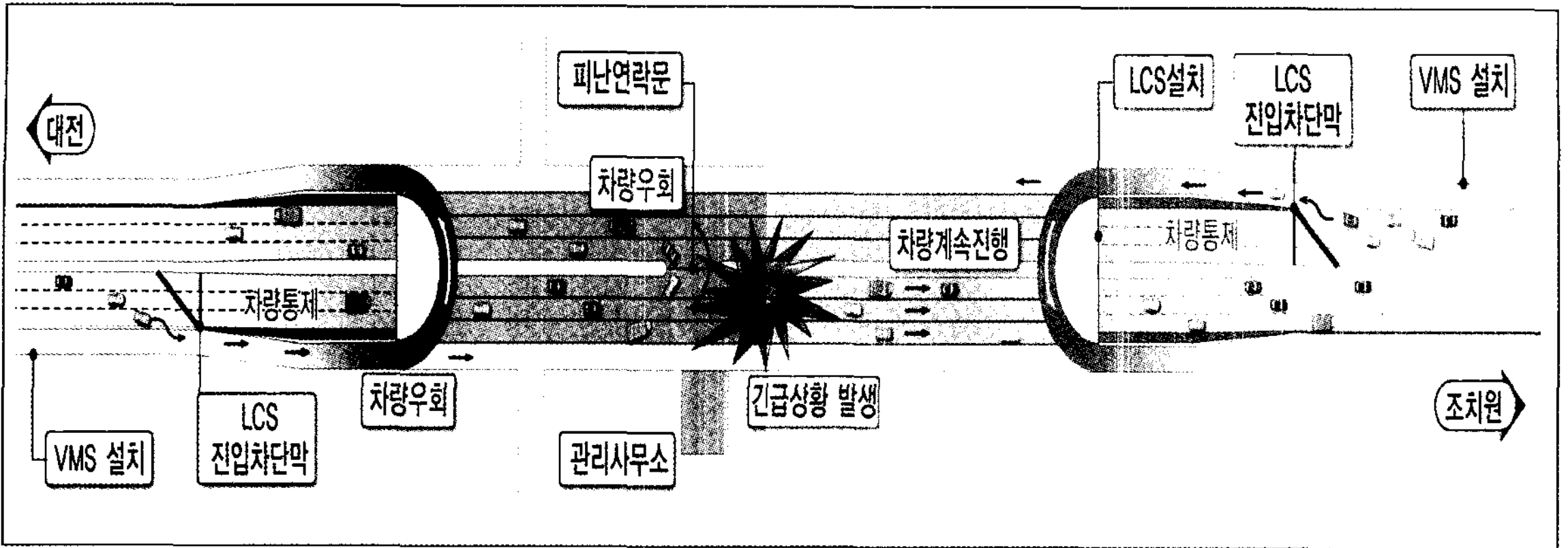
지하차도 내부에 화재 등 유고시 운전자가 안전하게 탈출할 수 있도록 다음과 같이 피난시설을 설치하고 또한 ITS와 연계한 방재 시스템을 구축하여 사고예방에 만전을 기하였다.

내부 화재등 유고시 이용자의 안전한 대피를 위하여 피난문 및 비상엘리베이터를 설치하였다. 지하차도내부에 화재발생시 배연덕트를 이용해 화재발생지점에서 집중배연 시키고 차량이용자는 피난 연락문을 통해 반대편 지하차도로 대피함은 물론 비상계단을 이용해 지하차도 외부로 신속하게 탈출하도록 피난 연락문 13개소 및 비상탈출계단 6개소를 설치하여 인명사고를 방지하였다. 또한 노약자 및 환자의 신속한 이동을 고려하여 비상엘리베이터 3개소를 설치하였으며, 비상엘리베이터는 별도의 전원공급과 가압설비를 갖추어 화재 시에도 안정적으로 운영되

도록 하였다.

다음으로 ITS와 연계를 통한 종합 방재 시스템을 구축하였다. 지하차도 내·외부에는 화재감지기, CCTV, VMS, 진입차단막 등 ITS시설물을 설치하여 사고 발생 시 조기대응이 가능하도록 하고 현재 행정중심복합도시 U-city 계획과 연계하여 U-city 관리사무소와 정보를 공유 하도록 통합방재시스템을 구축하여 사고예방은 물론 사고발생시에도 신속한 조치로 2차 사고를 방지하였다.

침수 및 정전사고에 대비한 설비계획을 마련하였다. 본 지하차도내 침수정 규격은 설계 빈도를 50년으로 상향조정 하였으며, 침수모형시험 결과를 바탕으로 침수 구간내 노면수 처리가 가능하도록 하였다. 또한 침수정 전기실을 지상부에 설치하여 집중호우 발생시 침수에 대비 하였다. 또한 정전사고 방지를 위해 비상발전기를 설치하여 안정적인 전원공급이 가능하도록 계획하였다.



〈그림 7〉 통합방재 시스템

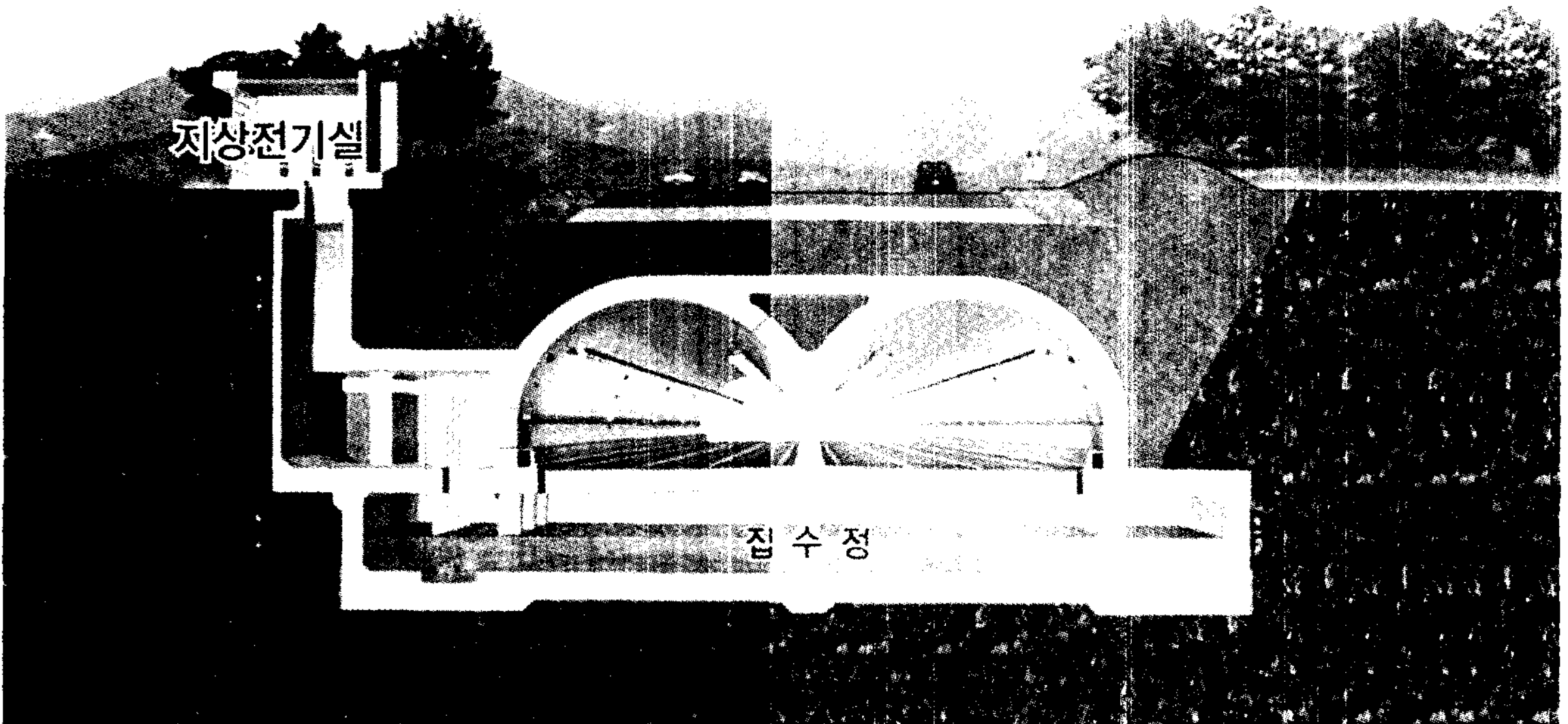
8. 요약

교통량이 많은 도심지내 장대 지하차도 건설은 교통 정체 해소에 기여를 하지만 초기 공사비가 많이 소요되는 단점이 있다. 또한, 화재등 유고시 이용자의 안전을 최우선으로 고려되어야 한다. 즉, 장대 지하차도 건설에 있어서 경제성과 안전성이 함께 만족할 수 있

는 건설 방안이 필요하다. 세종지하차도는 이러한 문제점을 극복하고자 다음과 같이 지하차도의 환기방식 및 단면, 포장형식, 사고 예방 및 발생시를 대비한 종합방재시스템을 구축하였다.

- 환기방식은 종류식 환기방식의 경제성과 횡류식 환기방식의 제연성능을 겸비할 수 있는 조합형 환기방식과 Duct Arch 단면을 적용하여 공사비 절감

설계빈도 상향(30년 50년)



〈그림 8〉 지하차도 집수정

및 운영시 유지관리비를 획기적으로 절감하였다.

- 지하차도 포장형식은 화재시 내화성이 우수하며 유독가스 발생이 없는 HPC(고성능 콘크리트 포장) 포장을 적용하여 이용자의 안전을 최우선으로 고려하였고 일반 아스팔트 포장 및 배수성 아스팔트 포장에 비해 우수한 성능과 공용수명을 가진 공법을 적용함으로써 유지보수비용의 절감을 가능하게 하였다. 또한, 콘크리트포장의 단점인 소음발생을 최소화 하기위해 타이닝과 그루빙을 적

용하였다.

- 지하차도내 화재 등 유고시 신속한 대피가 가능하도록 피난 연락문 간격을 167m 간격으로 설치하고 비상탈출계단 6개소를 확보하였다. 또한 노약자 및 환자의 지하차도 외부로 대피를 돕기 위해 비상엘리베이터 3개소를 설치하는 등 사고 발생시 종합적으로 대처할 수 있는 시스템을 마련하여 적용하였다.

회원가입안내

본 학회는 건설교통부장관의 설립허가(1999. 5. 29)를 받은 사단법인 한국도로학회입니다.

본 학회는 다음 사업내용으로 건설한 학회운영을 하고 있습니다. 여러분의 기술적 자질향상을 위해서 널리 회원을 모집하오니, 본 사업취지에 찬동하시는 개인이나 단체는 입회하시어 본 학회의 발전에 협조하여 주시기 바랍니다.

사업내용

- 도로공학에 관한 국내외 기술교류와 공동연구
- 도로공학에 관한 조사연구와 성과의 보급
- 도로공학에 관한 자문, 평가 및 교육
- 도로공학에 관한 시방과 기준의 교육
- 학회지 · 논문집 및 도서의 간행
- 학술발표회, 세미나의 개최
- 현장견학, 시찰 등의 실시
- 기타 학회의 목적에 필요한 사업

회원의 종류

- 정회원 : 도로 및 포장공학과 관련된 학문의 학식 또는 경험이 있는 자
- 학생회원 : 도로 및 포장공학과 관련이 있는 학과의 대학, 전문대학에 재학중인 학생
- 특별회원 : 본 학회의 목적사업에 찬동하는 단체
- 참여회원 : 학회 회장을 역임한 자
- 명예회원 : 대의원회에서 추대한 자

회비

- 입회비 : 20,000원(정회원에 한함)
- 연회비 : ①정회원 : 30,000원 / (중신회비 400,000원)
②학생회원 : 15,000원(대학 및 전문대학생에 한함)
③특별회원 : 특급 : 100만원 이상, 1급 : 50만원 이상
2급 : 30만원 이상, 도서관회원 : 10만원

입회신청

회원이 되고자 하는 개인이나 단체는 소정의 입회원서와 입회비 및 연회비를 납부하시기 바라며, 자세한 사항은 학회사무국에 문의하시기 바랍니다.

회비납부 (가입회원명으로 입금) 한국씨티은행 : 102-53510-243 (사)한국도로학회

사무국 : 우)121-706 서울시 마포구 공덕동 456 르네상스타워 1410호

전화 : 02-3272-1992~3 전송 : 02-3272-1994 F-mail : ksre1999@hanmail.net http://www.ksre.or.kr

사단법인 한국도로학회