

도로터널 조명설계 기술해설(4)

4. 야간조명과 광원 및 기구의 선정

신용주<(주)한신콘설탄트 전문/청운대 겸임교수>
이진규<(주)한신콘설탄트 설계실장>

<연재>

도로터널 조명설계 기술해설

1. 국제조명위원회 권고사항 및 각국 설계기준 (2000. 8월호)
2. 입구부 조명의 최적 설계 (2000. 10월호)
3. 조도순응구간등 기타 고려사항 (2001. 2월호)
4. 야간조명과 광원 및 기구의 선정 (2001. 4월호)

1. 서론

터널의 조명이 밝은 주간에 야외도로를 주행하던 운전자에게 필요한 시각환경을 인공적으로 어두운 터널 내에 시설하여 사고발생에 대한 안전성과 드라이버의 쾌적성을 제공하는 것을 주목적으로 계획된다고 하겠다. 설계 및 제어의 기준이 되는 입구부 운전자 순응 야외 휘도의 변화에 따라 주간 중에 터널 내부의 조명단계를 적정단계(비례제어가 아닌 계단식

제어)로 나누어 불필요한 에너지의 낭비를 억제하면서 안전과 쾌적함을 동시에 추구하고자 하는 것이 터널조명의 최적화된 계획 활동인 것이다. 그러한 주간과 밤사이의 밝음의 변화에 대한 대응 계획 과정에서 우리가 시도하는 여러 가지 적용 가능한 대안의 검토 절차 중에 항상 염두에 두어야 하는 것이 야간조명일 것이다. 즉 이제까지 나열한 검토항목에 대한 확인과정에서 항상 야간 상황을 동시에 확인하여야 한다는 것이다. 금 회에는 야간조명에서 고려되어야 할 사항을 조명기구와 연계하여 생각해 보고자 한다.

2. 야간조명의 요구조건

터널의 길고 짧음에 관계없이 야간에서의 터널조명 요구조건은 동일하다. 주간에는 터널에 진입하고자 하는 운전자의 순응 야외 휘도가 시시각각으로 변화하므로 주어진 지리적 환경에서 최대 값을 추정하여 단계별로 최적화 할 수 있도록 검토하는 과정이 필요하지만 야간의 상황은 천후에 관계되는 즉, 강우, 강설, 안개 등의 특별상황 외에는 변화가 없이 일정하다고 하겠다. 따라서 장경간 터널이든 짧은 터널이든 형상에 따른 계획과정에서의 검토 주안점은

같다 고 하겠다.

가. 터널 내부조명 고려사항

터널야간 조명에서의 고려사항은 두 가지로 대별할 수 있다. 하나는 플리커 현상의 발생 여부에 대한 검토이며 다른 하나는 눈부심에 대한 검토이다. 이러한 검토가 전체 터널 구간에서 일정한 조도단계(동일 조도 수준)를 유지하면서 검토되어야 한다.

상기한 두 가지 조건을 터널 전 구간에서 유지하기 위해서 즉, 저조도 수준으로 균제도를 확보한 야간 조명을 구현하고자 하는 목표달성의 수단으로 형광등 조명기구가 널리 적용되고 있고 효율적 적용방안이 여러 기술자들에 의해 개발 시험되고 있다.

■ 플리커 현상에 대한 검토

조명 계획에서 검토되어야 할 플리커 현상은 두 가지가 있을 것이다. 전원의 영향에 의한 순간적 전압 강하로 발생하는 실내에서의 정적인 플리커 현상과 광원과 인간의 상대적 위치가 연속적으로 변화되면서 발생하는 동적인 플리커 현상으로 구분된다.

여기서 터널조명과 관련한 플리커 현상은 후자의 경우로 조명기구의 설치간격과 차량 주행 속도와의 관계에서 검토되어 질 것이다.

도로계획에서 고속도로, 국도, 지방도에 따라 설계속도가 주어지면 해당도로를 주행하는 운전자는 운전성향에 따라 주어진 속도의 ±10[%] 범위 내에서 속도를 정하여 진행할 것이다. 따라서 설계자는 설계속도의 ±10[%] 범위에서 운전자가 초당 진행하는 거리를 구하고 인간이 불쾌감을 느끼는 회수의 반짝임이 일정 간격으로 연속 배치된 조명기구에 의해 발생되지 않도록 설치간격을 검토 조정할 필요가 있다. 이러한 설치간격의 검토는 광원의 크기에 관계가 되고 주간의 경우에도 고려되어야 하므로 약간은 귀찮고 복잡한 필요과정이라고 할 수 있다.

인간이 주기적, 지속적 반짝임에 불쾌한 반응을 나타내는 시점은 그러한 주기적 지속적 반짝임이 30

초 이상 지속 될 때부터이다. 따라서 정해진 주행속도로 진행할 때 30초 정도 즉 1 분이 넘지 않는 시간에 통과 할 수 있는 터널의 경우에는 그다지 검토의 대상이 되지 않는다. 그러나 상당한 시간의 주행이 필요한 터널의 경우 불쾌감을 발생하는 주파수를 피한 기구의 배치가 필수적이거나 역설적으로 일부러 불쾌감을 주어 야간주행자의 신경을 거슬림으로서 졸음운전 방지의 효과를 기대할 수도 있을 것이다.

인간이 생리적으로 불쾌감을 나타내는 주파수를 문헌에서 찾아보면 초당 5~10회의 주기적, 지속적, 반짝임에 가장 큰 불쾌감을 나타낸다고 한다. 따라서 우리가 회피하여야 할 주파수 대는 초당 2.5~13회가 됨을 알 수 있다.

광원의 관점에서 일반적으로 검토해보면 형광등의 경우 2[m]이내의 간격으로 배치가 가능하므로 13회 이상의 주파수를 목표로 한 배치에 양호하며 방전등의 경우 정격용량에 따라 다르겠지만 2.5[cps] 이내의 배치에 적정하다고 할 수 있다. 그러나 방전등은 바닥 면 조도의 균제도에 대한 검토가 필수적이다.

표 1. 플리커 현상 방지 설치 간격

주파수[cps]	설치 간격 [m]		비 고
	100 [km/h]	80 [km/h]	
2.5	11	8.9	가급적 회피
5	5.6	4.4	절대 회피
10	2.8	2.2	절대 회피
13	2.14	1.7	가급적 회피
초당속도 [mps]	27.8	22.2	

■ 눈부심에 대한 고려

눈부심이란 인간의 시야 내에 상시 위치하는 조명기구의 밝기(휘도)에 의해 발생한다.

따라서 터널조명에서의 눈부심을 터널의 형상에 대한 검토와 광원(기구포함)의 밝기에 대한 검토가 운전자의 운전 상황에서의 시선과의 관계를 종합하

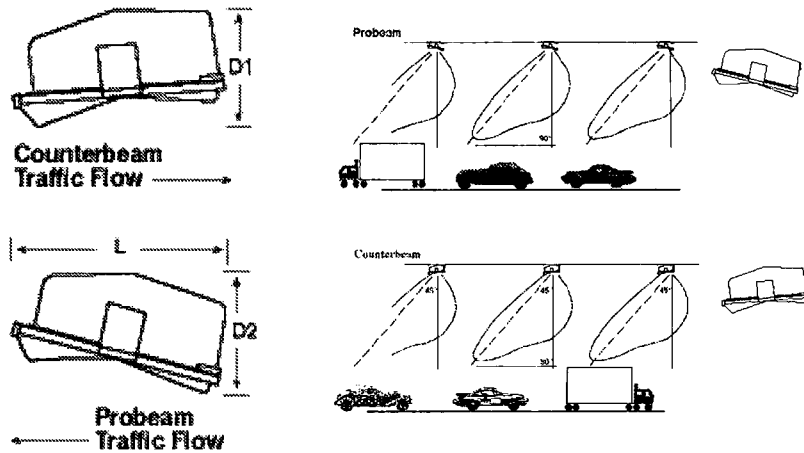


그림 1. 방전등기구의 Counter, ProBeam 설치

여 검토되어야 할 것이다. 대체적으로 실내에서, 인체가 느끼는 눈부심에 대한 검토가 수평면에서 15° 상방에 조명기구(광원)가 위치하지 않도록 노력하고 있다면 도로상에서는 물론 도로의 구배가 관계 되겠지만 운전자의 시선(주행 위치 전방 60~100[m] 노면)에서 15° 상방에 위치하는 기구의 눈부심이 고려의 대상이 될 것이다. 실내의 경우 반사경을 이용하여 광원이 직접 시선 내에 들어오지 않고도 요구 되는 조명조건에 따라 설계가 가능하다. 이러한 관점에서 터널 내에서도 Counter Beam 조명과 Pro Beam 조명을 설치방법에 따라 조정하여 구현할 수 있는 조명 기구를 이용한다면 실내에서와 같은 설계의 자유로움을 누릴 수 있다. 그러나 이것은 고휘도 광원 즉 방전등 기구를 적용할 경우에 한 한다.

형광등 기구의 경우 실내 조명설계와 마찬가지로 상시 운전자의 시야에 위치하여도 눈부심을 느끼지 않는 광원이므로 어디에서나 적용이 가능한 광원일 것이다.

나. 조도대비와 암순응

야간에 터널 내로 진입하거나 터널에서 터널외부로 진출하는 운전자의 안전과 쾌적함을 확보하기 위해서 필요한 사항으로 터널 내·외부간의 조도 대비와 벽체 및 천정의 밝기 그리고 터널 외부로 진출시

의 암순응이 고려되어야 한다.

■ 터널 내·외부간 조도대비

야간 주행자의 안전을 위해서 터널 내·외부간의 조도대비:는 3:1을 넘지 않아야 하며 2:1을 넘지 않도록 배려하는 것이 필요하다. 주간상황을 위주로 야간 상황을 검토하지 않은 터널의 경우 야간에 터널내부의 조도가 너무 높아 오히려 진 출입하려는 운전자에게 시각적 방해할 야기하는 경우가 있을 수 있다. 따라서 앞서 나열한 사항을 고려하고 야간의 시각 환경을 검토한 조명계획이 필요하다.

만약에 야간 상황을 간과하고 조명을 계획하며 설치한다면 야간에 심각한 위험상황을 야기할 수 있다. 특히 진출시의 암순응은 분명히 검토되어야 할 항목이다.

주간에는 터널 진입 시에 운전자의 암순응이 고려된 설계가 주안점이지만 야간에는 터널 진출시의 운전자의 암순응이 필수적인 고려사항이 된다. 명순응은 우리가 잘 아는 바와 같이 암순응의 30배 속도로 진행되므로 극히 짧은 시간이 되어 위험도가 낮다. 그러나 암순응은 특히 야간에서의 암순응은 주간의 암순응과 마찬가지로 철저히 검토되어야 한다. 즉, 터널로의 진 출입구에 이행부를 두어 진입시의 명순응과 진출시의 암순응을 고려하여야 한다. 이는 터널

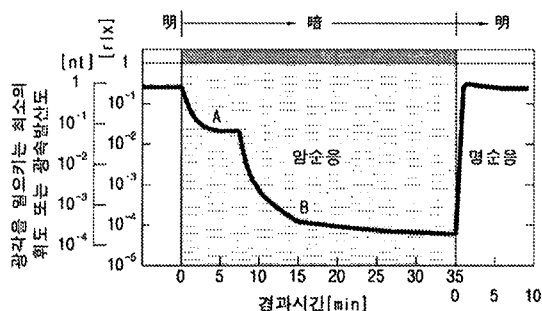


그림 2. 암순응과 명순응 반응의 속도대비

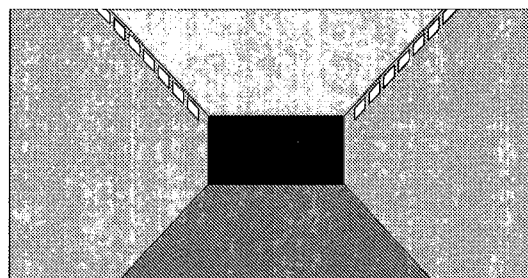


그림 3. Black Hole 현상

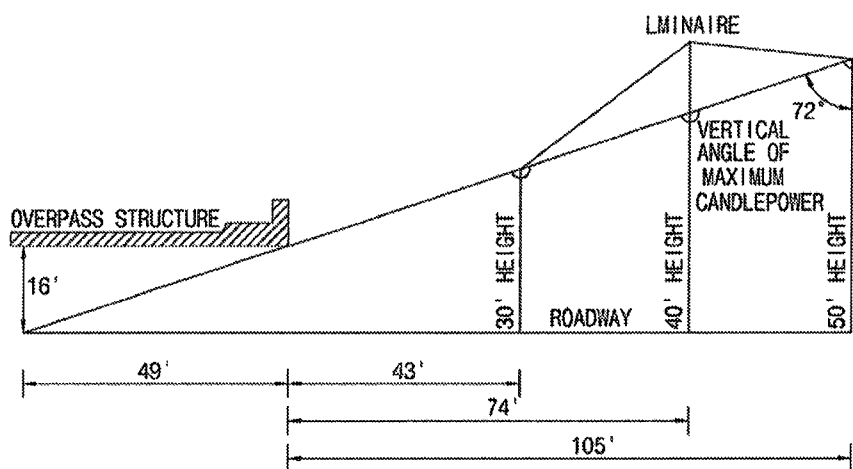


그림 3. 짧은 터널에서의 가로등에 의한 터널조명 방안

조명계획의 범위를 확장하는 것으로 조명제어의 관점에서도 터널 조명제어에 포함하는 것이 바람직하다. 터널 진 출입을 위한 즉, 야간 터널 조명에서의 명·암순응 구간은 터널 외부에 대략 150~180[m] 구간에 고려되어야 한다. 이때 이행부의 조도수준은 터널 내에 일정하게 배치된 조도수준과 연계하여 2:1에서 3:1 정도로 설계되어야 한다.

진출 구에서의 암순응은 조도수준에서 검토 적용되어야 하는 항목으로 만약 출구부 전방에 조명이 설치되어 있지 않거나 조도수준이 터널 내부 조도의 1/3 이하 일 경우 심각한 상황이 발생될 수 있다. 즉, 터널 밖이 운전자에게 Black Hole 현상으로 나타날 것이다.

운전자의 쾌적감을 확보하기 위해서 터널 진 출입을 위한 이행부의 조명은 일반 야외 도로 조명보다 50[%] 정도 보강하여 설치되어야 한다. 즉, 야간중의

터널 내 조명계획이 야간 및 심야로 구분되어 있다면 터널 진 출입을 위한 이행부의 조도 수준도 터널 내부의 야간, 심야 조도 수준 대비 50[%]~30[%] 정도로 되어야 하며 어떤 경우에는 일반도로에서의 가로등 설계기준보다 50[%] 상향된 계획이 필요하다는 것이다.

또한 조도 순응구간이 적용된 터널 진 출입 부에서는 조도 순응구간도 터널의 일부로 간주하여 계획되어야 한다.

매우 짧은 터널로 직선이며 구배가 없고 주간에도 특별한 조명시설 없는 경우에는 터널내에 조명을 설치하여 여러 가지 번거로움을 만들기보다 터널 양단 외부에 가로등을 적절히 설치하여 만족할 만한 야간 시각을 확보할 수 있다. 이것은 침투에 의한 인공 조명의 확보 원리로 짧은 터널에 대한 주간 조명생략에 의한 야간에서의 위험상황 발생 억제 방안이

다. 만약에 그림에 나타난 높이 이상으로 터널 입·출구 부에 근접하여 가로등을 설치할 경우는 바닥면 균제도에 대한 검토가 수반되어야 한다. 그러한 검토에서 부적합하다고 판명된다면 터널 내부에 조명을 배치하여야 할 것이다.

■ 천장 및 벽체의 조도 수준

야간에 터널내부의 천장 및 벽체 조도 수준은 최소한 8~25lx 정도는 유지되어야 한다. 주간이든 야간이든 터널내부는 하나의 실내 공간이므로 바닥, 벽체, 천장간의 적절한 균제도가 유지되어야 터널 내를 주행하는 운전자에게 좋은 시각 환경을 제공할 수 있다. 이러한 측면에서 볼 때, 내 외부간 조도 대비와 함께 형광등 조명기구가 연속적 균제도를 유지하고 덜 반짝이는 조명을 구현하기에 최적의 광원일 것이다.

3. 광원과 기구의 선정

우리가 터널 조명에 적용할 수 있는 광원 및 기구는 대별하여 4가지로 구분된다.

즉, 백열등, 형광등 단관, 반사경과 굴절경을 갖춘 복관 형광등, 방전등기구 일 것이다.

여기서 백열등은 적용의 어려움과 에너지 소비의 측면에서 배제되어야 하므로 결국 방전등과 형광등으로 대별하여 검토 선정되고 있다.

가. 터널 조명용 광원의 조건

터널조명은 주간과 야간을 구분하지 않고 연속적으로 오히려 주간에 큰 전력을 소비하면서 운영되는 조명시설이다. 이는 광원의 조건을 검토하는데 있어서 가장 큰 영향요인으로 작용한다. 이러한 관점에서 터널 조명 광원의 조건으로 효율, 수명, 연색성 및 투과성, 눈부심, 순시 재 점등의 가능성, 램프가격, 기구 당 가격, 국내생산여부, 배광 제어의 용이성 등이 검토 항목이 될 수 있으며 총체적으로는 System

으로서의 터널 조명시설에의 적용 적합성을 검토하여야 한다고 생각한다. 다음에 열거하는 사항은 국가별 생산자별로 다른 의견 및 자료가 있을 수 있다고 전제하고 검토한 사항이다.

■ 효율 면에서는 소요되는 도로면 휘도를 상대적으로 전력으로 확보하기 위해서 고압 방전등 계열이 저압 방전등보다 유리한 것으로 나타나 있다.

■ 수명은 생산자별로 다른 주장을 할 수 있으나 고압방전등이 경제적이다

■ 연색성 / 투과성에서는 장애물 판단의 상대적 용이성으로 등 황색의 SOX 가 선호되었으나 요즘은 다른 의견이 많이 있고 램프가 국내 생산이 어려워 배제되는 경향이 있다.

■ 눈부심 방지의 측면에서는 단연 형광등이 아주 우수하다.

■ 순시 재 점등 기능에서도 형광등이 단연 우수하지만 날씨변화에 대한 예측제어 기법을 도입한다면 순시 재 점등에서의 방전등의 부적합성은 극복 될 수도 있다고 볼 수 있다.

■ 램프의 가격은 수명시간과 연계하여 유지비 측면에서 검토되어야 하는 사항으로 생산자별 자사 제품 수명보장 시간이 상이하여 비교가 곤란하지만 국내 생산 방전등이 유리 할 것이다.

■ 기구 당 가격에서는 형광등이 단연 우세하다

■ 배광 제어의 용이성에서는 광원의 크기가 상대적으로 큰 형광등이 매우 불리하다.

이러한 8가지 측면의 일반검토를 기준으로 System 설계의 적합성을 검토해보면 형광등은 연색성이 좋고 설치비가 낮으며 눈부심이 적어 전반 조명용으로는 양호하나 지향성 있는 배광의 구현이 곤란하고 광속의 집중성이 저하되어 입·출구부와 같이 대단위 광속이 필요한 장소에는 적용이 곤란하다고 할 수 있다. 유지보수에 비용과 시간이 많이 소요

되므로 (생산자별 주장은 다를 수 있음) 설계 휘도의 지속적 유지가 어려우나 순시 재 점등이 가능한 장점이 있고 기본부 조명 및 야간조명에서의 플리커 방지효과에 대단히 유리하다

반면에 고압 방전등은 설치비가 많이 들고 눈부심 영향이 크지만 Counter, Pro Beam 조명으로 눈부심 영향을 개선하면 평균 효율이 높아 기구수가 감소하고 평균수명이 길어 유지보수비가 절감되며 특정 램프는 연색성도 양호하여 최소 규모 광원의 정격으로 적용시 기본부 조명에도 활용이 가능하다. 투과성이 좋고 배광 제어가 용이하여 입 출구부 조명에는 최적광원이다. 그러나 기본부에 적용 시 플리커 방지를 위한 배치간격을 광원의 크기와 연계하여 검토 적용하여야 한다.

나. 터널조명용 기구의 조건

터널 조명기구의 설치 및 운용 환경을 고려하여 검토 항목을 나열해 보면 기구 효율, 배광의 적합성, 기구 수명, 안정기의 성능, 방수성, 기밀성, 풍동성, 유지보수성, 시공성 등이 검토 대상이다.

- 효율은 기구 내에 위치한 광원으로부터 반사, 굴절, 통과되어 기구 밖으로 나오는 광속이 광원 발생 총 광속 대비하여 높아야 한다. 대략 65~75[%]의 효율 일 때 양호하다고 한다.
- 배광은 터널조명 설계기준에 따라 직사 조명을 곡선에서 중심 축으로부터 좌우 60° 범위 내에 기구로부터의 광속 중 90[%] 이상이 발산되어야 한다. 이는 적은 수량의 조명기구로 상대적으로 넓은 도로별과 공간의 조도 및 휘도를 확보하기 위해 필요한 사항이다.
- 기구 수명은 터널조명시설의 특성상 설치기구 중 일부가 24시간 - 365일 즉 설치점등 후 개 보수 공사 시까지 연속 점등 상태이어야 하므로 램프의 발열에 의한 열화가 적은 재질로 제작되어야 한다. 즉, 터널구조물 수명의 1/3이상

- 기간을 견딜 수 있는 재질이면 최상일 것이다.
- 안정기는 터널의 위치 여건상 수 변전 설비의 배치제한으로 적정 규모의 전압 변동율이 발생되므로 범위 내에서의 안정적 동작이 요구된다. 즉, 램프의 수명 및 성능이 지속적으로 보장 될 수 있는 구조 및 회로이어야 한다.
- 방수성은 주기적 물 청소에 견딜 수 있어야 하며 밀폐 구조를 구성하는 가스켓의 재질이 열과 주변 환경(공기)에 의한 열화가 적은 것이어야 한다.
- 기밀성은 터널 내는 분진, 매연 등이 상시 존재하므로 그러한 물질의 침투에 의한 기구 내 오염을 방지할 수 있는 구조이어야 한다.
- 풍동성은 터널 내를 주행하는 각종 규모의 차량에 의해 발생하는 기류에 대해 저 저항 구조 즉, 유선형을 기류 방향으로 유지하고 기구 전면 활성 기류에 의한 먼지 등 이물질의 누적 부착을 예방할 수 있는 구조이어야 한다.
- 유지보수성은 램프교환이 용이한 구조, 터널 청소방법에 세척이 잘 되는 구조이면 되겠지만 요즈음 적용되는 반사경 및 투과 유리의 자체정화 작용을 가미할 수도 있다.
- 시공성은 터널조명의 목적에 부합되게 여건에 따라 지향각 조정이 가능한 구조이면 좋겠다. 국내에서 시판되는 구분된 기구보다 하나의 기구로 통일되면 시공성은 향상된다.

4. 결 론

금회에 나열한 여러 가지 조건이 완벽하게 구현되는 System은 아마 누구도 설계하기 어려울 것이다. 그러나 터널의 종류, 형상, 배치 등 제반조건을 검토하여 최적화된 설계를 한다면 누구든지 할 수 있다고 생각한다. 각자가 생산자, 설계자, 시공자의 입장에서 개선 의견을 내고 또 제품에, 설계에, 시공에 반영할 때 국내 터널 조명분야의 선진화가 이루어지

는 시점이 앞당겨 질 것이라고 믿는다.

◇ 著 者 紹 介 ◇

참 고 문 헌

- (1) Michael A. Marszalowicz "Tunnel Lighting System".
- (2) Commission Internationale l'Eclairage(CIE).1973 "on International Recommendations for Tunnel Lighting".
- (3) 건설교통부, 한국조명·전기설비학회 "도로터널 조명시설의 설계기준".
- (4) John O. Bickel/T. R. Kuesel "Tunnel Engineering Handbook".
- (5) Mayer "Tunnel Vision Specification Data & Installation Instruction".
- (7) 지철근 "최신 조명공학".
- (8) 일본 조명학회 "New Edition Lighting Data Book".
- (9) 한국도로공사 "고속도로 조명시설 개선방안에 관한 연구".



신 용 주(申容周)

1954년 12월 13일 생. 1981년 고려대 전기공학과 졸업(학사). 1994년 건축전기설비 기술사. 1996년 한양대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사).1999년 Project Management Professional (PMI, USA). 1980년~1994년 쌍용양회, 한진건설, 쌍용건설, (주)태영 근무. 1995년~1999년 한국고속철도건설공단 기술관리부장. 1999년~현재 (주)한신콘설탄트 전무. 2000년 청운대학교(충남 홍성) 건축환경설비학과 겸임교수.



이 진 규(李鎭奎)

1962년 3월 12일생. 동서울대학교 전기공학과 재학. 1980년~1990년 (주)신우전기설계 근무. 1991년~현재 (주)한신콘설탄트 설계실장.