

독일 철도교의 설계 철학과 디자인 사례 (하)



임철수
선구엔지니어링 전무
cslim66@naver.com

여는 말

이번 회에서는 여러 지형 조건마다에 대응하는 다양한 형태의 제안 예를 소개한다.

이번 회의 부재이기도 한 “이것은 사양이 아니고 제안이다!”의 의미를 다시 한 번 강조해두고자 한다. 다시 말하면 여기서 다루고 있는 모든 예는 단순 “Copy”되는 고정된 것이 아니라, 교량이 가설될 개별 입지에 가장 적합한 형식의 교량을 “계획”하도록 촉구하는 “동기”에 불과한 것이다. 그것은 어느 입지도 본고에서 분류하는 정도의 다소의 유사성 외에는 동일한 입지는 없을 것이기 때문이다. 다만, 그럼에도 불구하고 본 제안 예 전체를 일관하는 요소 즉, “적은 재료를 사용”한다는 것과 받침과 레일신축이음을 최소화한다는 “유지관리 생력화”의 기본적인 설계 철학은 견지되어야 할 것이다. 여기서 재료를 적게 사용한다는 것은 경제적·환경적 관점 외에도 교량의 “슬랜더”함을 추구하는 경관적 관점과도 관련이 있다.

동일한 성능을 발휘하는 교량의 형식은 무한에 가깝다. 철도교만 해도 지금도 많은 형식의 교량이 탄생하고 가설되고 있다. 그러나 이러한 다양함이 본고에서 일관되게 강조하고 있는 보편타당한 설계 철학-예컨대 경제적이고 아름답다우며 유지관리에 유리한-에 기초하는 것인지는 의문이다. 여전히 공용 기간 중 몇 회의 교체를 전제로 하는 신축이음과 받침의 설치를 기본으로 하는 형식이 주류를 이루고 있는 것이 그 반증이다.

마지막에 일본어판 역사 후기를 실어 본고를 마무리하는 일본 엔지니어의 생각의 일단을 소개한다. 과연 본고를 대

하는 우리나라 엔지니어의 생각은 어떠할지가 궁금하다.

3. 제안 예 – 이것은 사양이 아니고 제안이다!

이 장에서는 자연 속(3.1, 3.2항)과 도시부(3.4항)에서의 몇 가지 전형적인 상황에서의 기본적인 제안 예를 도시한다. 이것은 완벽함을 요구하는 것이 결코 아니다. 오히려 엔지니어만이 아니라 프로젝트 매니저와 발주자에 자극을 주기 위한 것으로 이해되었으면 한다. 각각의 입지마다에 경제적으로도 경관적으로도 적절하고, 그 지형 조건에 따라 최적화시킨 독자적인 해결책을 찾기 위한 것이다.

여기서 다루는 제안 예는 평가 프로세스의 제1단계(2.2.4항 참조)를 통과한 것이다. 즉, 기본적으로는 모든 요구 조건을 만족하는 것이다.

제안 예의 일부에는 기술 혁신의 촉진을 목적으로 독일 철도의 승인이 필요한 것도 있다.



〈1. 고속 신선 에어푸르트-할레·라이프치히 간〉
Scherkondetalbrücke 2010



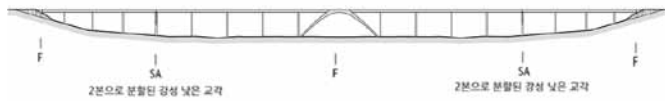
〈2. 베를린-슈판다우〉
Havelbrücke 1998



〈3. Nantenbach Bridge (마인교)〉

3.1 넓고 평탄하고 깊은 계곡

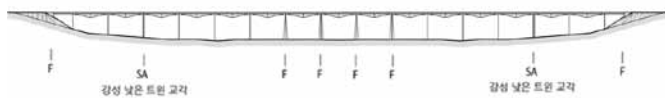
A



A Type

- 단일 PC 상자형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $Ls/h=12$ 의 다경간 연속교
- 상부공과 강결된 얇은 벽식 교각
- 견고한 아치형 경사 교각에 지지된 큰 중앙 지간
- 상부공과 아치 크라운의 일체화, 하부 교차부 교각 폭 확대
- 받침 불필요
- 상부공에 2개소의 불연속부와 2개로 분할된 강성 낮은 교각
- 제동하중은 아치와 교대가 부담
- 상부공 불연속부에 레일신축이음매

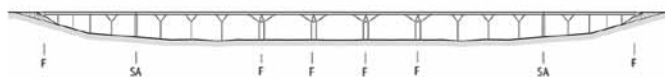
B



B Type

- 강판의 하현재로 보강된 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $Ls/h=29$ 의 다경간 연속교, 하현재 포함 시 $Ls/h=8$
- 강제 교각과 보강된 상부공의 강결
- 받침 불필요
- 상부공에 2개소의 불연속부와 강성 낮은 트윈 교각
- 제동하중은 중앙의 교각군과 교대가 부담
- 상부공 불연속부에 레일신축이음매

C



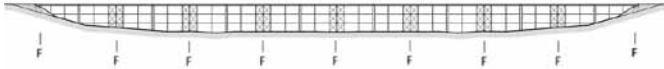
C Type

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $Ls/h=12$ 의 다경간 연속교
- 상부공과 강결된 2분으로 분할된 강제 교각
- 받침 불필요
- 상부공에 2개소의 불연속부와 2개로 분할된 강성 낮은 교각
- 제동하중은 중앙의 교각군과 교대가 부담
- 상부공 불연속부에 레일신축이음매



F : 고정점
SA : 레일신축이음매
(각각의 경우에서 필요성 확인)

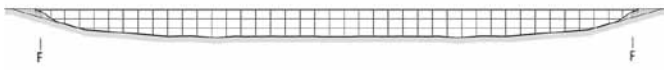
D



D Type

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $L_s/h=12$ 의 다경간 연속교
- 강제 교각과 상부공의 강결
- 받침 불필요
- 상부공의 불연속부와 강성 낮은 트윈 교각
- 제동하중은 브레이싱으로 보강한 교각과 교대가 부담
- 레일신축이음매 불필요

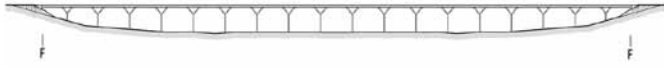
E



E Type(일체형 교량)

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $L_s/h=12$ 의 다경간 연속교
- 강제 교각과 상부공의 강결
- 받침도 불연속부도 불필요
- 구속력과 제동하중은 교대가 부담
- 레일신축이음매 불필요
- 경우에 따라서는 교대 외측 배면 성토부에 불연속부 설치

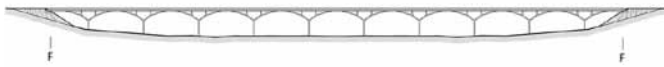
F



F Type(일체형 교량)

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $L_s/h=12$ 의 다경간 연속교
- 상부공과 강결된 2분으로 분할된 세장한 강제 교각
- 받침도 불연속부도 불필요
- 구속력과 제동하중은 교대가 부담
- 레일신축이음매 불필요
- 경우에 따라서는 교대 외측 배면 성토부에 불연속부 설치

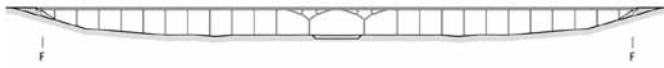
G



G Type

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 시간 $L_s=80m$ 의 다경간 연속교
- 강관(주강제 격점 사용)으로 구성된 연속 아치교
- 상부공과 강결
- 받침도 불연속부도 불필요
- 구속력과 제동하중은 교대가 부담
- 레일신축이음매 불필요
- 경우에 따라서는 교대 외측 배면 성토부에 불연속부 설치

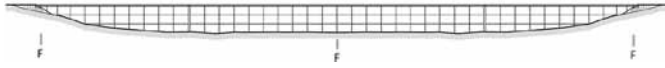
H



H Type(일체형 교량)

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 시간 $L_s=30m$ 또는 $80m$ 의 다경간 연속교
- 세장한 강제 교각과 하천 횡단을 위한 강관 아치교(주강제 격점 사용)
- 상부공과 강결
- 받침도 불연속부도 불필요
- 구속력과 제동하중은 교대가 부담
- 레일신축이음매 불필요
- 경우에 따라서는 교대 외측 배면 성토부에 불연속부 설치

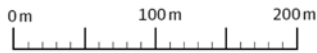
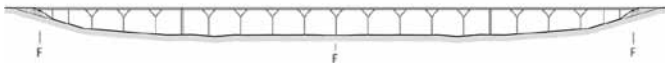
I



I Type (슬라이드식 궤도 슬래브 적용 교량)

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $Ls/h=12$ 의 다경간 연속교
- 상부공과 강결된 강제 교각
- 받침 불필요
- 상부공의 불연속부와 강성 낮은 트윈 교각
- 구속력과 제동하중은 슬라이드식 궤도 슬래브와 교대가 부담
- 레일신축이음매 불필요

J



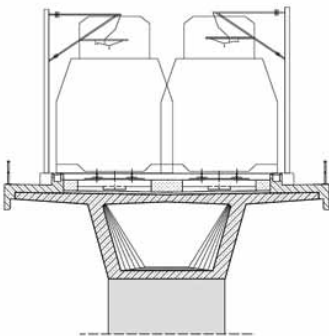
F : 고정점
SA : 레일신축이음매
(각각의 경우에서 필요성 확인)

J Type (슬라이드식 궤도 슬래브 적용 교량)

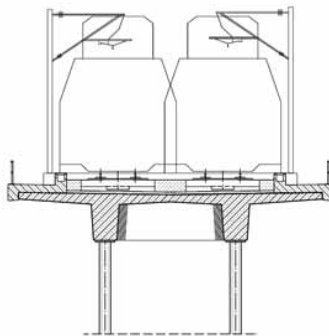
- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 시간 $Ls=50m$ 의 다경간 연속교
- 상부공과 강결된 2본의 분할된 세장한 강제 교각
- 받침 불필요
- 상부공의 불연속부와 강성 낮은 트윈 교각
- 구속력과 제동하중은 슬라이드식 궤도 슬래브와 교대가 부담
- 레일신축이음매 불필요

철도교의 전형적인 단면

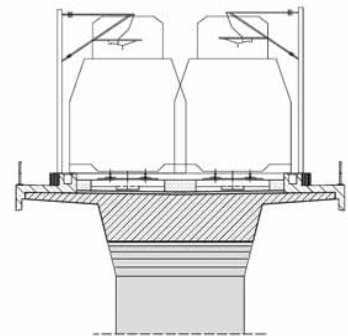
상자형



T형

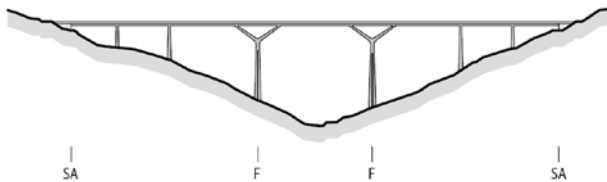


T형 또는 슬래브형



3.2 가파른 계곡

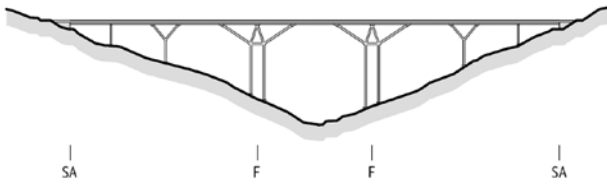
A



A Type

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형 또는 단일 PC 상자형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $Ls/h=12$ 의 다경간 연속교
- 상부공과 강결된 얇은 벽식 교각 또는 중공 강제 교각
- Y자형의 교각에 지지된 큰 중앙 지간
- 교대 위에 받침과 상부공의 불연속부
- 제동하중은 Y형 교각이 부담
- 경우에 따라서는 상부공의 불연속부 위에 레일신축이음매 설치

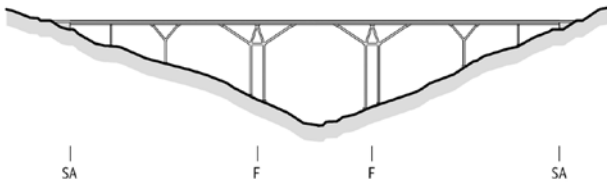
B



B Type

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $L_s/h=12$ 의 다경간 연속교
- 강제 교각과 상부공의 강결
- 받침 불필요
- 상부공의 불연속부와 강성 낮은 트윈 교각
- 제동하중은 교대가 부담
- 상부공 불연속부에 레일신축이음매 설치

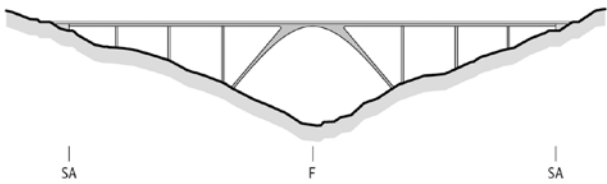
C



C Type (일체형 교량)

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $L_s/h=12$ 의 다경간 연속교
- 상부공과 강결된 얇은 벽식 교각
- 견고한 아치에 지지된 큰 중앙 지간
- 상부공과 아치 크라운의 일체화
- 교대 위에 받침과 상부공의 불연속부
- 제동하중은 아치가 부담
- 경우에 따라서는 상부공의 불연속부 위에 레일신축이음매 설치

D



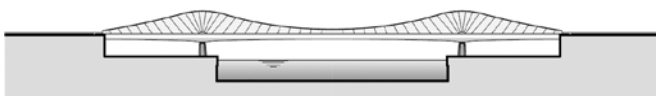
D Type

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $L_s/h=12$ 의 다경간 연속교
- 상부공과 강결된 얇은 벽식 교각
- 견고한 아치형의 경사 교각으로 지지된 큰 중앙 지간
- 상부공과 아치 크라운의 일체화, 교각 하부를 넓힌 구조
- 교대 위에 받침과 상부공의 불연속부
- 제동하중은 아치가 부담
- 경우에 따라서는 상부공의 불연속부 위에 레일신축이음매 설치

0m 100m 200m
 F : 고정점
 SA : 레일신축이음매
 (각각의 경우에서 필요성 확인)

3.3 하천교-1

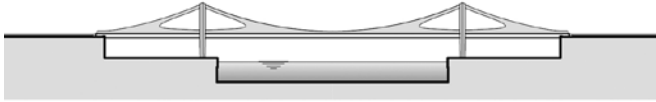
A



A Type

- 핀백형의 강제 웨브로 보강된 강성 높은 RC 슬래브식 플레이트 거더로 이루어진 상부공
- 교대와 교각에 받침을 둔 3경간 연속교
- 양측 교대 위에 상부공의 불연속부
- 제동하중은 교각이 부담
- (가능하다면) 교량 단부에 레일신축이음매 설치

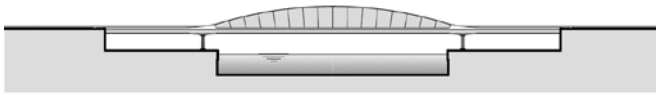
B



B Type

- 강판으로 보강된 강성 높은 하로 RC 슬래브식 플레이트 거더로 이루어진 상부공
- 교대 위에 받침을 둔 3경간 연속교
- 양쪽 교대 위에 상부공의 불연속부
- 제동하중은 교각이 부담
- (가능하다면) 교량 단부에 레일신축이음매 설치

C



C Type (일체형 교량)

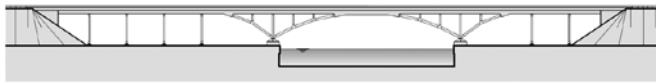
- 응력 분포에 따른 형상의 강판 웨브로 보강된 강성 높은 RC 슬래브식 플레이트 거더로 이루어진 상부공
- 교대 위에 받침을 둔 3경간 연속교
- 양쪽 교대 위에 상부공의 불연속부
- 제동하중은 교각이 부담
- (가능하다면) 교량 단부에 레일신축이음매 설치



F : 고정점
SA : 레일신축이음매
(각각의 경우에서 필요성 확인)

3.4 하천교-2

A



A Type

- 핀백형의 강제 웨브로 보강된 강성 높은 RC 슬래브식 플레이트 거더로 이루어진 상부공
- 교대와 교각에 받침을 둔 3경간 연속교
- 양측 교대 위에 상부공의 불연속부
- 제동하중은 교각이 부담
- (가능하다면) 교량 단부에 레일신축이음매 설치

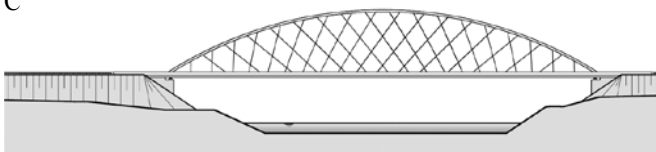
B



B Type

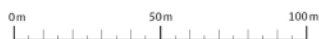
- 강판으로 보강된 강성 높은 하로 RC 슬래브식 플레이트 거더로 이루어진 상부공
- 교대 위에 받침을 둔 3경간 연속교
- 양쪽 교대 위에 상부공의 불연속부
- 제동하중은 교각이 부담
- (가능하다면) 교량 단부에 레일신축이음매 설치

C



C Type(일체형 교량)

- 격자 경사 케이블로 보강된 강판으로 이루어진 하로 아치 상부공
- 지간장 약 90m 이상에서 경제적
- 합성 슬래브 또는 RC 슬래브의 경우는 약 70m 이상에서 경제적
- 장지간의 경우 레일신축이음매는 연장된 주형 위에 계획



F : 고정점
SA : 레일신축이음매
(각각의 경우에서 필요성 확인)

3.5 하천교-3

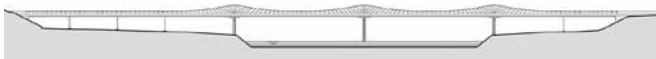
A



A Type

- 강판으로 보강된 강성 높은 하로 RC 슬래브식 플레이트 거더로 이루어진 상부공
- 주탑 교각 및 가는 강제 교각과 강결된 다경간 연속교
- 벽식 교각 위의 받침
- 양쪽 교대 위에 상부공의 불연속부
- 제동하중은 교각이 부담
- 교량 단부에 레일신축이음매 설치

B



B Type

- 핀백형의 강제 웨브로 보강된 강성 높은 RC 슬래브식 플레이트 거더로 이루어진 상부공
- 벽식 및 가는 강제 교각과 강결된 다경간 연속교
- 양쪽 교대 위에 상부공의 불연속부
- 제동하중은 교각이 부담
- 교량 단부에 레일신축이음매 설치

C



C Type

- 강성 높은 단선병렬 PCT 주형으로 이루어진 상부공
- 형고 · 시간비 $L_s/h=12$ 의 다경간 연속교
- 가능하면 상부공에 강결시킨다.
- 현치를 붙인 상부공으로 확보한 큰 중앙 지간
- (가능하다면) 받침은 두지 않는다.
- 제동하중은 중앙 교각이 부담
- 교량 단부에 레일신축이음매 설치



F : 고정점
SA : 레일신축이음매
(각각의 경우에서 필요성 확인)

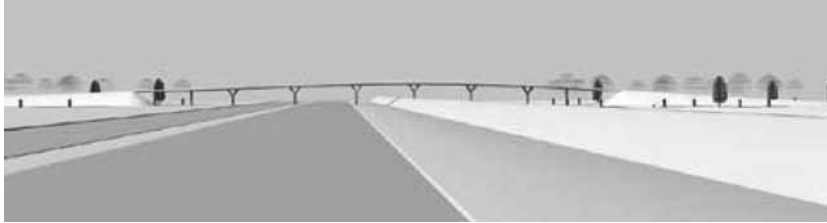
3.6 가도교



〈개방된 풍경〉



〈열린 시계를 막아버린 표준설계〉



〈성토를 뒤로 물려 개방성을 증가시킨 예〉



기본설계



Type 1



Type 2



Type 3



Type 4



Type 5



다양한 교통수단이 존재한다는 점에서는 고속도로와 선로를 넘는 가도교가 중요하게 된다. 오늘날 도로와 농도를 넘어가기 위한 입체교차는 그 도로와 선로 양쪽에 딱 맞춰 성토가 접속되는 것이 보통이다. 그에 따라 개방되어 있던 경관이 막혀버린다는 점은 특히 주의해야 할 점이다. 개방된 시계가 차단되고 반대편 경관은 성토체에 막혀버린다. 그러므로 양측 성토체를 가능한 한 뒤로 물려 시계를 확보할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

고속 신선의 설계 시에 표준적인 가도교의 디자인을 스터디한 것이 이하다. 고속도로와 평행하게 주행하는 선로를 넘는 경우 건축한계는 보다 높아진다. 양측을 한 번에 넘기 위해 가도교와 세트 백한 성토를 조화시킨다.

Type 1에서는 우선 지리적인 전제 조건을 받아들였다. 이에 따라 양측 성토가 필요해졌다. 두 개의 개구부를 하나로 합친 안정된 디자인이다. 그와는 대조적으로 「표준설계」에서는 4개의 교대와 두 개구부 사이에 짧고 불규칙한 날개벽과 성토에 의해 안정감 없는 디자인이 되고 있다.

접속 성토를 Type 2는 조금, 3-5는 크게 세트 백 시켰다. 얇은 상판을 가는 강관 교각으로 지지하고 있다. 개방감을 극대화함으로써 자동차와 철도로부터의 전망을 「매력적」이 되는 것을 목표로 했다.

3.7 기존 네트워크에의 접속

독일 철도교에서는 소규모에서 중규모 지간의 가도교가 매우 많다. 때문에 그 디자인의 개선과 환경친화성의 개선 등 종합적 개선을 목표로 하는 것은 독일철도에 있어서 중요한 관심사이다.

향후 몇 년 동안 기존 독일철도 네트워크 내의 상당수 구조물이 상태가 악화되거나 노후화 등으로 리노베이션이 필요하게 될 것이다. 그래서 이 가이드북에서는 그 때의 디자인 요구 조건에 초점을 맞추고 있다. 효율성을 위한 기술적 해결 방법의 발전만이 아닌, 수준 높은 디자인이 가능하도록 새로운 접근 방법이 필요하다. 프로젝트는 그마다 특정 조건이 있다. 때문에 새로운 구조물로 교체할 때는 항상 우선 예비설계로서 구조 시스템의 비교 검토를 시행하고 최적 설계안을 찾는다. 기능성과 경제성과 경관성의 사이에서 최적 밸런스를 찾는 것이다.

철도교에 요구되는 성능은 다음과 같다.

- 교량 상하에서의 운행 안전성과 쾌적성
- 점검과 보수 방법의 필요한 범위와 그 실행성
- 사용 조건의 변경 또는 증가에 대한 구조 시스템의 적응성
- 주변 구조물과 환경에의 영향을 최소로 억제하는 시공
- 시공 중과 유지관리 중 열차 운행에의 영향을 최소화

전술한대로 대형 교량에서는 구조 시스템의 선택이 그 교량의 개성을 결정하지만, 작은 지간의 교량에서는 스케일 감, 현장에의 접속 방법, 디테일이 그 교량의 디자인 수준을 결정한다. 철도 설비를 포함해서 상부공과 하부공을 종합적으로 디자인함으로써 철도교의 미관은 크게 향상된다. 부재의 조형과 현장에 조화되는 부재 표면의 질감 디자인(texture design, 텍스처 디자인)도 이에 크게 기여한다.

지금부터는 디자인 수준에 관한 특장을 조명한다. 기존 네트워크 내에 교량을 가설하는 경우에 요구되는 조건과 그에 대처하는 방법을 기술하고, 디자인 평가 기준을 명확히 한다. 좋은 디자인 즉, 「아름다운 교량」은 올바른 구조와 현장에 적합한 해결 방법으로부터 도출된다는 점을 설계자는 항상 염두에 두어야 한다. 거기에는 억지스러운 디자인은 필요하지 않다. 뭔가를 제거하는 것도 덧붙이는 것도 필요 없는 간결하고 정합성 있는 디자인이 요구된다.



〈과거 콘셉트〉
계곡을 차단하는 매시브한 교각

현장에의 접속

기존 네트워크 내에서의 건설 공사는 교체 공사가 대부분이고 많은 경우 설계의 방향은 이미 결정되어 있다. 기존 구조물의 경계 조건과 새로운 구조물의 경계 조건을 명확히 확인해야 한다. 그럼으로써 새로우면서도 현장에 적합한 구조물을 설계할 수 있다. 특히 새로운 구조물의 스케일과 균형은 주변과의 관계에서 중요한 역할을 담당한다.

도시의 콘텍스트(context)는 일반적으로 다음에 의해 특징 지워진다.

- 다양한 시대의 역사가 중첩된 구조물
- 구조물의 배치, 높이, 질서 있는 그리드와 축선
- 도시 기능과 그러한 관계를 연결하는 네트워크

신설 구조물을 기존 구조물 또는 부분적으로 잔존하는 구조물에 적절히 접속함으로써 역사적 문맥이 밝혀지게 되어 옛 것과의 새로운 관계가 구축된다.



<15. 전체가 상부공과 보행자용으로 옆에 배치된 라멘으로 분할되어 버렸다. 상부공과 역 플랫폼 입구. 일정한 형고와 수평 코니스(cornice)를 가진 3경간 구조가 혼재되어 있다.>

S-Bahn Halle-Leipzig



<16. 이러한 구조의 경우 높이를 가지런히 한 투명 방음벽을 사용하고 점검로 계단을 날개벽과 평행 하게 배려함으로써 보다 명쾌한 디자인이 된다.>

EÜ Breitenfelder Straße, Leipzig

투과성과 두께

구조물의 투과성은 교형 하부의 밝기와 경사 방향으로의 조망(예를 들면 교각 등이 장애물이 된다)을 결정한다. 소규모~중규모 교량에서는 형하공간의 비는 대부분 정해져 있어서 큰 변경은 불가능하다. 교대와 교각의 가설 가능 범위는 대체로(건축한계, 안전 한계, 기존 구조물 등에 의해) 제한되어 있으므로 법적 사항을 포함해서 극히 제한된 안만을 비교 검토할 수 있다.

그렇다고 설계자는 쉽게 포기해서는 안 된다. 예를 들면, 투과성을 향상시키기 위해(경제성을 유지하면서) 시간장을 조정하는 등 최적의 해결책을 찾아야 할 것이다. 상부공의 구조에 의해 형고가 변하지만 이용자에게 이 자체는 중요하지 않고, (방음벽 등을 포함한) 눈에 보이는 전체 높이가 중요하다. 상부공의 형태와 그 옛지(가장자리), 코니스(cornice, 교량 상판 단부의 캔틸레버 부)의 디자인이 영향을 준다.

통일성과 질서의 가시화

잘 설계된 구조물은 통일성과 질서를 가지고 콘셉트(Concept)가 명확히 구조화 되어 있다. 각각의 프로젝트에서 새로운 기준이 되도록 콘셉트를 정하고 그의 실현을 향해 노력해야 한다.

적절한 재료의 콘셉트, 균형 있는 적절한 스케일의 비율(프로포션), 명확한 라인에서 도출되는 통일감 있는 형태가 교량의 전체적인 이미지에 기여하고, 일반적으로는 그 교량의 경관미로 확인된다. 가장 설득력 있는 것은 구조 디테일에 이르기까지 적절하게 디자인 된 부재와 조인트를 가진, 힘의 흐름이 명확한 균형 잡힌 구조이다.

철도교는 철도의 일부이므로 다수의 설비(케이블 랙, 가선, 신호주, 방음벽 등)가 부착된다. 이들은 구조적 역할 없이 대부분 구조 부재 위에 부착되어 있다. 그러므로 교량 설계의 최초 단계에서 이러한 설비를 전체적인 디자인 콘셉트에 포함시켜 고려해야 한다.



<17a-웹브 테두리 형상에 의해 힘의 흐름이 명확한 스큐 플레이트 거더교. 셋백시킨 교대와 강제 교각에 의해 개방적 형하 공간을 연출>

EÜ Stephanitor, Bremen



<17b>

디테일 디자인의 품질

도시 경관에 포함되는 교량의 전체적인 인상은 특히 디테일에 좌우된다.

좋은 디테일은 교량 설계 콘셉트를 강조한다. 그에 의해 교량 미관이 대폭 향상된다.

철도교에서 중요한 디테일은 다음과 같다.

- 상부공과 하부공의 연결
- 교대, 익벽, 벽식 교각의 연결
- 판형 단부(端板)의 디자인
- 불연속부의 배치와 마감
- 도장
- 기술적 설비의 종합

상부공/거더교

중소 지간의 철도교에는 단순 거더교가 가장 적합하다. 받침이 보이도록 교좌면을 앞으로 내밀면 상부공이 하부공의 큰 몸체에서 분리되어 힘의 흐름이 명확하게 되므로 구조적으로도 경관적으로도 바람직하다.

복합 구조의 하로 플레이트 거더

하로 플레이트 거더 철도교는 보강재와 작은 형고에 의해 형하 공간이 개방적이 된다. 형상과 재료를 최적화시킴으로써 큰 웨브를 콤팩트하게 최소화 한다. 이 구조 시스템에서는 받침과 불연속부가 필요 없다.

라멘 구조

라멘 구조는 매우 효율적인 구조이므로 상부를 얇게 할



〈18. 라멘 형태를 두드러지게 함으로써 지지 구조가 가조되어 주구조(라멘)와 2차 구조(날개벽)가 구분된다. 날개벽을 제거하거나 화장판을 붙임으로써 라멘의 형태를 두드러지게 할 수 있다.〉

EÜ Hindenburgdamm, Berlin



〈19. 철도 고가교〉

EÜ Tharandter Straße, Freital



〈20. 두 교량 사이에는 100년 이상의 엔지니어링의 역사를 읽을 수 있다.〉

EÜ Nesselgrundbrücke, Dresden

수 있어 최근에 관심도가 증가하고 있다. 라멘 형태를 두드러지게 함으로써 구조적 거동이 강조된다. 날개벽을 제거하거나 화장판을 붙임으로써 이 인상은 강화된다.

우각부에는 구조상의 이유 때문에 대부분 현치가 설치된다. 현치 또는 원호가 설치된 보의 형상과 디자인은 라멘 구조의 특성이다.

다경간 라멘 구조는 상술한 것처럼 일체 구조로 실현할 수 있다. 통상 2경간 또는 3경간이 요구된다. 공사 시 통행을 차단하면 시공성과 경제성을 추구할 수 있다.

상부공의 엿지와 코니스의 디자인

상부공의 엿지와 코니스의 형상을 표준설계와 다르게 디자인해도 좋다. 그때는 거푸집과 철근 배근이 복잡해지지 않도록 심플한 형태를 취하는 것이 중요하다. 마찬가지로 배수도 적절히 이루어져야 한다.

1970, 80년대에 자주 볼 수 있던 화장 거푸집으로 만든 코니스는 이제는 지양되어야 할 것이다. 현대적 코니스 거푸집에는 진공 매트 사용이 권장된다.



〈21a. 낮은 철도 고가교를 현대적 고가교로 보완하고 있다. 다경간 일체형 라멘교와 고전적인 아치교와의 현대적 종합, 신교와 구교의 시간장은 동일하다. 기존 교량을 참조한 구조와 구성〉

EÜ Rednitztal, Viadukt bei Nürnberg



〈21b〉



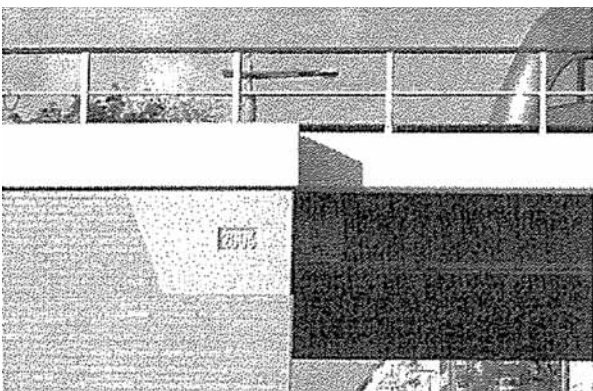
〈22. 표준설계에 의한 지복과 코니스 형태의 디자인 변형을 나타낸다.〉

EÜ Golm, Potsdam



〈23〉

EÜ Golm, Potsdam



〈24. 강제 상부공 코니스의 형태와 색이 콘크리트 날개벽 코니스의 지복까지연속되어 있다. 이에 의해 상부공과 날개벽의 연속성이 유지되어 수평 라인이 강조된다.〉

라이프치히

독일철도의 표준설계에는 외측에 보행로가 설치된 플레이트 거더교와 아치교의 디자인 사양이 규정되어 있다. 그러나 주구조에 비해 어울리지 않게 높은 코니스를 회피하고자 하는 경우에는 변경할 수 있다. 코니스와 날개벽 지복(地覆, 교량 난간 하부에 설치된 수평재)과의 연속성에 주의를 기울여야 한다.

안전난간

철도교 위에 설치되는 안전난간은 중공 또는 중실 단면이 사용된다. 통상 철도 고가 위에는 관계자만이 출입하므로, 표준설계에서는 동살(창호 등에 황으로 설치하는 살)이 사용된다. 중간에 2분의 동살이 들어가는 안전난간은 수평 라인을 강조한다. 경험상 약 2m의 지주 간격이 디자



〈25. 날개벽과 아치의 각도를 일치시키고 있다. 안전난간을 성토체까지 연장하였으므로 날개벽 위에 안전난간을 추가로 설치할 필요가 없게 되었다.〉

EÜ A10 bei Blumenhagen

인 면에서는 최적의 것으로 알려져 있다. 짧은 지간의 구조는 시각적 굴절이 일어나 상부공이 느슨한 것처럼 보이므로 지간 중앙에 기둥을 설치하지 않는 것이 바람직하다. 다경간 교량에서는 디자인적 또는 구조적 이유로 난간 기둥과 가선주 등은 기둥과 동일한 위치에 설치한다. 단 그것은 그 위치에 구조적 불연속부가 없을 경우에 한한다.

안전난간 위 또는 코니스의 장식적인 요소(예를 들면 교각 사이 유닛화한 패널, 기둥 위의 콘크리트 조각상 등)는 무언가 이유가 있을 때를 제외하고는 가능한 제한해야 한다.

하부공

철도교의 하부공은 보행자와 직접 “피부로” 접촉할 뿐 아니라 단지간 또는 중지간의 교량에서는 교량 전체의 인상의 대부분을 담당한다. 그러므로 기둥이나 교각처럼 부



〈26〉

EÜ Tharundter Straße, Freital

재 디자인이 교량 전체의 인상을 결정한다.

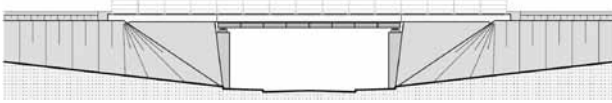
교축 방향에 대해 평행, 경사 또는 직교하는 날개벽은 성토체와 연속적으로 연결할 수 있다. 직교하는 날개벽은 성토체 높이의 교대에 한한다.

경사 날개벽의 경우 안전난간을 설치하는 대신에 상부공의 안전난간을 성토 부분까지 연장할 수도 있다. 또, 날개벽의 연장, 지복의 필요성과 그 크기, 성토체의 다짐 정도와 사양, 성토 하단에서의 날개벽 테두리를 두르는 방법 등도 경관과 관련된다.

교각, 기둥의 치수는 받침의 크기(시공 시 잭 설치 공간도 고려)에 의해 결정된다. 날렵한 하부공과 교량 전체의 일체화를 실현하기 위해서는 기둥과 상부공의 강결 구조가 바람직하다. 받침과 힌지 구조가 꼭 필요할 경우는 시인할 수 있도록 두드러지게 설계할 필요가 있다. 여기서도 심플하고 정직한 형태가 요구된다.

단경간의 짧은 교량

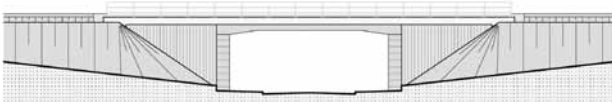
A



A Type

- 강제 플레이트 거더교
- 상부공에 후판을 상판으로 사용
- 작은 형교
- 교좌면이 없어진 기동형 교대

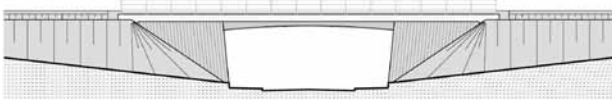
B



B Type

- 현치를 붙인 라멘 구조
- 날개벽과 시각적으로 분리된 라멘 거더부와 기동부
- 거푸집의 방향 변화

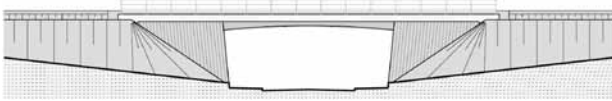
C



C Type

- 복합 구조 또는 RC 구조의 곡률을 붙인 상부공으로 이루어진 라멘
- 개방적 인상, 교대를 조금 기울여 지지 효과 향상

D



D Type

- 타원형 라멘 구조
- 높은 투과성을 가진 전체 이미지, 지간 중앙의 낮은 형교가 이를 강조한다.



단경간의 중간 길이 교량

A



A Type

- 라멘 구조
- 큰 모멘트에 저항하기 위한 강제 거더
- 리브에 접합된 내측으로 기울어진 교대와 슬랜더한 상부공, 눈에 띄지 않는 질감의 날개벽

B



B Type

- RC 아치형의 사재
- 높은 투과성과 밝은 형하 공간
- 간결한 구조
- 고성토와 대절토에도 적용 가능

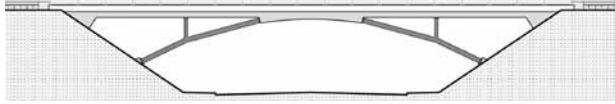
C



C Type

- 강제의 사재
- 보강된 현장타설콘크리트 상판
- 콤팩트한 교대
- 높은 투과성과 밝은 형하 공간
- 절토에도 적용 가능

D



D Type

- 아치교
- 강제 아치로 보강된 현장타설콘크리트 상판
- 용접 또는 주강제 격점에 연속된 아치 리브와 연직재
- 교대에 강결된 상부공
- 절토에도 적용 가능



3경간 교량

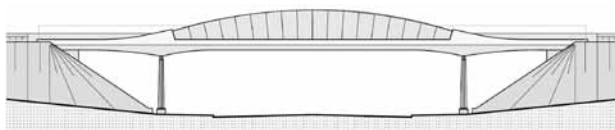
A



A Type

- 현치를 붙인 3경간 RC 슬래브
- 받침을 가진 강제 교각은 지반의 블록에 고정시켜 충돌로부터 보호
- 교대를 셋백시켜 형하 공간을 밝게 한다.

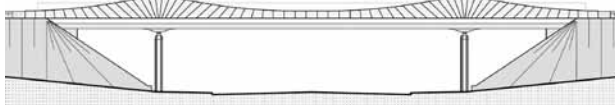
B



B Type

- 중앙 경간부를 강판으로 보강한 하로 RC 슬래브식 플레이트 거더교
- 보강 리브를 붙인 합성 아치
- 매우 낮은 형고
- 교대에 강결시킨 상부공
- 충돌로부터 보호된 받침을 가진 강제 교각

C



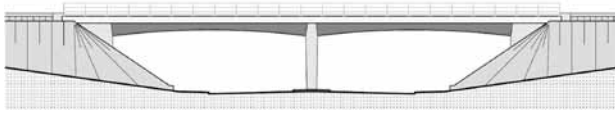
C Type

- 핀백형 강제 웨브로 보강한 RC 슬래브식 플레이트 거더로 구성된 상부공
- 매우 낮은 형고
- 교대에 강결시킨 상부공



2경간 교량

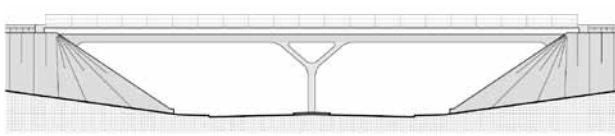
A



A Type

- 현치를 붙인 3경간 RC 슬래브
- 받침을 가진 강제 교각은 지반의 블록에 고정시켜 충돌로부터 보호
- 교대를 셋백시켜 형하 공간을 밝게 한다.

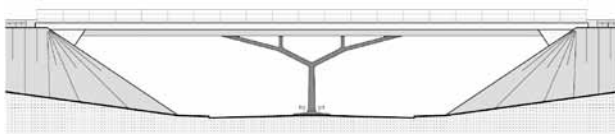
B



B Type

- 중앙 경간부를 강판으로 보강한 하로 RC 슬래브식 플레이트 거더교
- 브강 리브를 붙인 합성 아치
- 매우 낮은 형고
- 교대에 강결시킨 상부공
- 충돌로부터 보호된 받침을 가진 강제 교각

C



C Type

- 편백형 강제 웨브로 보강한 RC 슬래브식 플레이트 거더로 구성된 상부공
- 매우 낮은 형고
- 교대에 강결시킨 상부공



일본어판 역자 후기

본고는 일본의 JR에 해당하는 독일철도(DB)의 그룹회사가 2008년에 출판한 “Leitfaden Gestalten von Eisenbahnbrücken”의 번역서이다. 발행자인 「DB Netze」는 철도 인프라의 설계와 관리 등을 전문으로 한다. 즉, 이 책자는 독일에서의 철도교 디자인 공식 가이드라인이라 말할 수 있다.

이 책을 보는 일본의 독자, 특히 엔지니어는 「지진국에는 참고가 될 수 없다」고 우선 생각할지도 모르겠다. 물론 지진이 없는 독일과 일본은 사정이 전혀 다르다. 강제 교각을 예로 들어도 독일에서는 콘크리트를 채우는 등으로 놀라울 정도로 세장하게 만들 수 있다. 도쿄 역 중앙선 교가에서 일부에 강제 교각을 사용하고 있지만 일본에서는 예외적이라 말할 수 있을 정도로 그 실적은 적다. 따라서 본고를 단순히 설계 카피를 위한 사양서로 생각하면 그다지 매력적이지 않을 것이다.

그러나 건축의 디자인과 설계 철학을 이야기할 때 지진 국인가 아닌가를 따지는 사람이 있는가? 이 책에서 배워야 할 것은 기술과 아이디어 그 자체보다도 그 배경이 되는 독일 엔지니어들의 설계 철학인 것이다. 그것은 Fritz Leonhardt (12 July 1909 – 30 December 1999), Jörg Schlaich (born 1934)라는 교량 설계의 거장에 의해 축적되어온 것이다.

일본의 교량 설계·시공 기술이 세계 최고 수준임은 의심할 여지가 없다. 그럼에도 불구하고 기술 수준만큼 세계적으로 상찬과 존경을 받고 있는가하고 물으면 장대교와 일부 예외를 제외하면 대답은 아니라는 쪽에 훨씬 가까울지도 모른다.

구조와 디자인을 분리해서 생각할 수 없다는 것은 본고에서 기술하고 있는 바와 같다. 예를 들면 「경관 검토」는 여분으로 첨가된 설계 업무의 하나가 아니다. 교량 설계에서 엔지니어가 내재적으로 가져야 할 검토 항목의 하나인 것이다. 우리에게 아직 부족한 것은 좋은 교량이란 무엇인



가, 그리고 그것을 어떤 형태로 할 것인가 하는 엔지니어로서의 확고한 설계 철학이 아닐까?

철도교는 철도 시설 특유의 제약 조건과 설계 조건 때문에 조형으로서의 자유도는 보도교 등에 비하면 매우 작다. 때문에 「디자인」이라는 단어가 환기시키는 이미지와 철도교를 결부시켜 생각하는 것은 일견 어려운 것처럼 생각된다. 그러나 엔지니어로서의 디자인이란 기술 그 자체, 그리고 기술 개발이고 미학적 요소는 그 안에 내재된 것이다. 이 책이 다루고 있는 것은 그러한 「엔지니어로서의 디자인」이다. 카피를 위한 재료가 아닌 지진이 많은 나라에서 우리만이 가능한 교량 디자인을 위한 마음가짐과 힌트를 이 책에서 찾을 수 있기를 바라마지 않는다.

맺음말

2009년 호남고속철도 설계 참여 이후, 도시철도 사업을 전담하면서 자연스럽게 철도교와는 한동안 소원하게 되었다. 그러던 참에 본고를 구해 읽게 되었으며 오랜만에 철도교에 대한 향수와 함께 “철도교란 무엇인가”에 대한 그동안의 짧은 생각이나마 정리할 수 있는 기회를 가지게 되었다. 도시철도는 “땅 속으로만 달려야한다”는 이례적인 한국적 현실이 필자와 철도교와의 관계를 소원하게 만들었지만, 역설적이게도 그 때문에 본고는 더 흥미로웠으며 신선했다.

올해 4월에 개통하는 대구 모노레일이 도시철도에서 철도교에 대한 호감도를 획기적으로 높이게 되기를 기대해 마지않는다. ☺