

고속철도 콘크리트궤도의 최근 개발과 해석



서사범

(주)서현기술단 부사장
공학박사 · 철도기술사
suh7484@hanmail.net

I. 머리말

고속철도는 철도의 탄생시기와 같은 시기에 생겼다고 생각된다. 그렇게 생각하는 이유는 1829년에 George Stephenson의 'Rocket호'가 주행한 50 km/h의 속도가 당시의 사회에 준 충격과 영향은 현재의 300 km/h 주행보다도 훨씬 더 컸다고 생각되기 때문이다.

고속철도망은 유럽과 아시아에서 급속하게 확장되고 있다. 고속철도기술의 창시자는 일본과 프랑스였다. 프랑스의 고속철도망은 주로 자갈궤도로 구성되어 있는 반면에 일본은 주로 슬래브궤도에 초점을 맞추었다. 우리나라의 경우에 경부고속철도 제1단계구간에는 자갈궤도(다만, 장대터널구간은 레다-클래식 콘크리트궤도), 제2단계구간과 호남고속철도에는 콘크리트궤도(Rheda 2000)로 부설되어 있으며, 수도권 고속철도도 콘크리트궤도로 부설되고 있다.

라이프사이클 코스트와 유용성에 관한 연구는 무(無)도상 궤도가 큰 장점을 갖고 있음을 나타내었다. 독일이 개발한 Rheda 2000은 세계적으로 선도적인 해결책이다. 그러나 노반의 지지력·성질과 분리하여 설계를 생각할 수 없는 이들 시스템은 더욱 최적화될 수 있다.

궤도설계에서 차량과 궤도의 상호작용은 중요한 역할을 한다. 동적 해석에서는 단파장과 장파장 궤도틀림이 고려되어야 한다. 해석에 적용된 최대 기하구조적인 편차도 또한 궤도보수표준과 의사결정 시스템에서 고려되어야 한다.

본고에서는 최근에 개발된 고속철도 콘크리트궤도의

일부를 소개하며, 용접 선형을 포함하여 장파장과 단파장 궤도틀림에 대한 설계와 보수 양상에 특별한 관심이 주어진다.

II. 생력화 궤도와 고속철도 콘크리트궤도

자갈궤도(ballasted track)는 레일을 주체로 하여 경험적으로 실현되어 온 구조이다. 비재래형(非在來型) 궤도는 'unconventional track' 혹은 'non-conventional track'의 의미로서 재래형 궤도(레일, 침목, 도상자갈)를 구성요소로 하는 궤도)와는 다른 구조를 갖는 궤도를 총칭하며, 직결(直結)궤도, 슬래브(slab) 궤도, 포장(鋪裝)궤도 등을 포함한다. 유럽에서는 비재래형 궤도를 "침목과 도상 대신에 강(剛)한 (일반적으로는 연결한) 슬래브 위에 레일을 직접, 또는 받침재료를 이용해 탄성적으로 연결한 궤도구조"로 정의하고 있지만, 우리나라에서는 그만큼 엄밀하게 고려되지 않고 있다. 여기서, 직결궤도란 광의로는 재래형 궤도구조에서 어느 것인가의 구성요소를 생략하여 레일을 궤도 지지체에 직접적으로 체결한 궤도를 말하며 도상자갈이 없는(無道床) 궤도와 침목이 없는(無枕木) 궤도를 포함하지만, 협의로는 레일을 체결장치만으로 직접 궤도 지지체에 체결한 궤도를 말한다.

한편, 근래에 '생력화(省力化) 궤도'라는 용어도 사용되고 있는데 구미에서는 이 용어가 없다. '생력'이란 농업 분야에서 육체노동으로부터의 탈피를 의미하는 단어로 이용되어 왔지만, 마찬가지로 육체노동이었던 보선작업(保

〈표 1〉 세계 고속철도 선로의 개관(2010년 현재)

국가	총연장 [km]	스케줄 열차속도 [km/h]	시험주행 속도기록 [km/h]	최속 스케줄 열차의 평균속도 [km/h]
벨기에	214	300, 250	347	237
중국	6,552	431 (마그레브) 350, 220, 300, 200~250 (일반)	502 (마그레브) 394 (일반)	313
프랑스	1,700	320, 300, 280, 210	574	272
독일	1,290	300, 280, 250, 230 (일반)	550 (마그레브) 406 (일반)	226
이탈리아	815	300, 260, 200	368	178
일본	2,459	300, 275, 260 (일반)	581 (마그레브) 443 (일반)	256
네덜란드	100	300, 250, 140/160	336.2	< 140
대한민국	240	300, 240	355	200
스페인	1,272	300, 250	404	236
스위스	79	250, 200	280	< 140
대만	336	300, 240	315	245
터키	245	250	303	< 140
영국	109	300, 225, 201	335	219

線作業)으로부터의 탈피를 의미하여 이용되기 시작하였다. 그렇지만, 현재 ‘생력화 궤도’란 단지 직결궤도가 추구한 무보수(無保守) 궤도로서가 아니고, 오히려 메인테넌스프리(maintenance free)인 궤도는 현실적으로 존재할 수 없다고 하는 인식 하에서 보수가 불필요한 궤도에 더하여 보수가 적은 궤도와 보수하기 쉬운 궤도를 포함한 용어로서 사용되고 있다.

무도상(無道床, ballastless)궤도에서는 하중분배 요소로서의 도상자갈이 콘크리트와 같은 안정된 상태를 갖고 있는 다른 재료로 대체되었다. 이들 재료의 소성변형은 통상의 환경에서 대단히 작다. 콘크리트 층이 대단히 딱딱하므로 필요한 탄성은 레일이나 침목 아래에 탄성요소를 삽입함으로써 마련되어야 한다. 영국에서는 이 유형의 궤도를 Slab Track(ST), 독일에서는 Feste Fahrbahn (FF), 프랑스에서는 Voie sur dalle(VSD)라고 부른다.

콘크리트궤도, 무도상궤도 및 슬래브궤도라는 용어가 엄격하게는 각각의 뜻이 다르기는 하나 본고에서는 이들을 광의로 혼용하여 동의어로서 다루기로 한다.

현재 고속선로는 특히 아시아와 유럽에서 급속하게 확장되고 있다. 스페인(ADIF)은 현재 5년에 걸쳐 약 €200억을 투자했다고 한다. 고속철도 기술은 일본에서 비롯되었

으며, 프랑스에서 그 뒤를 이었다. 나중에 독일도 뒤따랐다. 고속에 대한 세계기록은 일본이 2015.4.21에 마그레브(maglev)의 시험운행에서 수립한 603 km/h(중전은 2003년의 581 km/h)이며, 프랑스는 2007년에 차륜/레일 기술로 574 km/h를 수립했다. 중국은 2010년에 350 km/h의 영업 열차속도를 시작했다. <표 1>은 관련 고속철도의 개관(2010년 현재)을 나타낸다.

일본과 프랑스가 고속철도 기술의 창시자일지라도 그들의 궤도시스템은 아주 다르다. 프랑스 고속철도망이 주로 전통적인 자갈궤도로 구성되어 있는 반면에 일본은 주로 슬래브궤도에 초점을 맞추었다. 우리나라도 최초의 고속철도인 경부고속철도의 제1단계구간에는 자갈궤도(다만, 일부의 장대터널구간은 레다-클래식 콘크리트궤도)를 부설하였으나, 제2단계구간에는 콘크리트궤도(Rheda 2000)를 부설했으며(<그림 1>), 그 후로는 타 선로의 모든 고속철도에서 콘크리트궤도로 부설하였거나 부설하고 있다. 라이프사이클 코스트와 유용성에 관한 연구는 무도상궤도가 큰 장점을 갖고 있음을 나타내었다. 유럽과 세계의 다른 지역들에서 독일의 Rheda 2000은 선도적인 해결책이다. 그러나 노반의 지지력과 성질로부터 분리된 설계를 생각할 수 없는 이들 시스템은 더욱 최적화할 수 있다.



〈그림 1〉 경부고속철도의 자갈궤도(제1단계구간)와 콘크리트궤도(제2단계구간)

궤도설계에서 차량과 궤도의 상호작용은 중요한 역할을 한다. 동적 해석에서는 단과장과 장과장 궤도틀림이 고려되어야 한다. 해석에 적용된 최대 기하구조 편차는 또한 궤도보수표준과 의사결정 시스템에서 고려되어야 한다. 본고에서는 용접 선형을 포함하여 장과장과 단과장 궤도틀림에 대한 설계와 보수 양상에 특별한 관심이 주어진다.

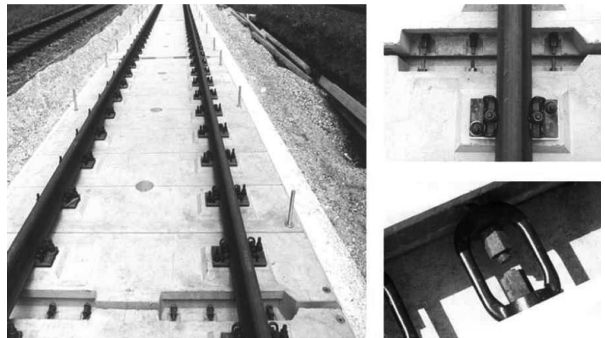
현재 세계 도처에서 무도상 궤도의 개념이 적용되어가고 있다. 무도상 궤도의 주요 장점은 다음과 같다.

- ① 구조높이의 경감
- ② 더 낮은 보수요구 및 그러므로 더 높은 이용성
- ③ 증가된 서비스 수명
- ④ 틸팅 기술과 합동하여 더욱 속도증가를 허용하는 높은 궤도 횡저항력
- ⑤ 고속에서 자갈입자 비산의 문제가 없음

만일 노선 선로 상에서 슬래브궤도의 낮은 보수특성을 유지하기로 되어 있다면 노반층이 균질하고 부과 하중을 지지할 수 있음을 보장하여야만 한다. 슬래브는 프리캐스트로 하거나 현장에서 타설할 수 있다. 프리캐스트 슬래브의 궤도로서 가장 잘 알려진 것은 일본식 슬래브 궤도(〈그림 2〉)



〈그림 2〉 일본식 슬래브궤도(대만 고속철도의 예)



〈그림 3〉 Bögl 조립식(prefab) 슬래브궤도

림 2>)와 독일에서 설계된 Max Bögl 슬래브궤도(그림 3)이다. 현장타설 슬래브의 궤도에 관한 예는 경부고속철도 제2단계구간에 부설된 Rheda 2000(독일에서 개발. 상기의 <그림 1>의 우측사진 참조)이며, 매립레일구조(Embedded Rail Structure)의 여러 가지 설계가 있다.

Ⅲ. 콘크리트궤도의 구조

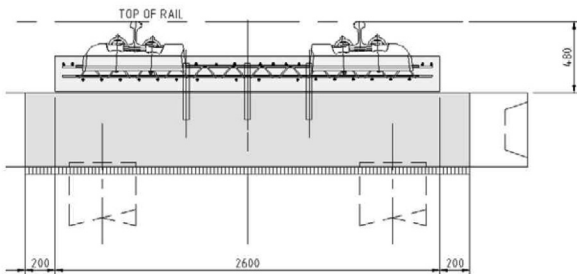
예를 들어, 교량과 같이 휨(bending) 저항이 요구되지 않는다면 프리캐스트 슬래브궤도와 현장타설 슬래브궤도 양쪽 모두 적용할 수 있다. 그러한 궤도구조들을 토공구간에 부설할 때는 침하가 예상될지도 모른다는 문제가 생긴다. 이 경우에 슬래브궤도를 적용하는 주된 세 가지 방법이 있다.

- ① 중립 선에 철근이 있는 슬래브의 사용(예를 들어, Rheda 2000). 그러한 슬래브의 휨 강성은 매우 부족하므로 대량의 토질개량이 요구되며, 이는 슬래브구조를 재정적으로 덜 매력적이게 만든다.
- ② 슬래브의 상부와 하부에 철근이 있는 슬래브의 사용, 이는 궤도구조의 휨 강도를 개량한다. TU Delft에서의 각종 연구는 B35 콘크리트에 대하여 약 1.5 %의 상대적으로 높은 철근비가 요구됨을 나타내었다. 다른 한편으로 대단히 제한된 토질개량만이 필요하다.
- ③ 슬래브궤도의 설계에서 하부구조로서 교량이나 교량과 같은 구조물의 사용. 교량의 휨 영향은 궤도슬래브의 휨 응력에 대해 제한된 영향을 가진다.

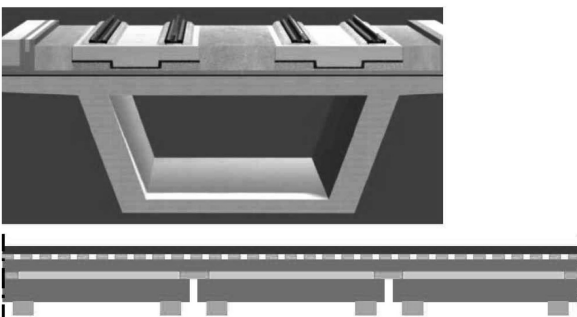
네덜란드 HSL-South의 경우에 토질이 대단히 소프트한

위치에서는 Rheda 2000이 침하방지판(Settlement Free Plate, SFP) 위에 건설되었다(<그림 4>). 이 그림에서 하부 구조와 상부구조 간의 분명한 경계선을 볼 수 있다. 하부 구조는 파일로 지지된 SFP들(길이 30 m 또는 35 m)로 구성되며, Rheda 2000은 상부구조를 형성한다. 슬래브궤도 구조물의 중요한 요소는 상부구조와 하부구조 사이에 설치하는 얇은 중간층(지오텍스타일)이다.

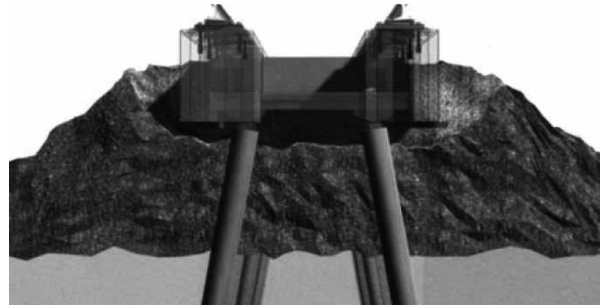
독일에서는 Max Bögl이 개발한 Feste Fahrbahn Bögl (FFB)이라는 프리캐스트 슬래브궤도 시스템이 사용되고 있다. 이 시스템은 신칸센의 슬래브궤도와 대단히 유사하다. 전형적인 FFB 구조는 상기의 <그림 3>에 나타난 것처럼 힘 전달 조인트를 사용하여 종 방향으로 연결되고 횡 방향으로 프리스트레스 된 프리캐스트 슬래브들로 구성된다. 그러한 구조는 토공, 교량, 터널 및 트로프(troughs)에서 사용될 수 있다. 베이징과 텐진(중국) 간의 고속선로 구간용으로 설계되어 장대교량에 부설된 이 구조의 한 변경구조를 이하에서 논의한다. FFB(중국) 구조는 연장이 거의 116 km이다. 이 구조의 대략 12 km는 토공구간에 건



<그림 4> 침하방지판 위 Rheda 2000의 전형적인 횡단면(HSL-South)



<그림 5> 교량 위 FFB 구조의 도해적 표현



<그림 6> NFF 구조의 건설 원리

설되었고 대략 104 km는 교량구간에 부설되었다. 각각의 교량 슬래브는 길이가 31.6 m이며 <그림 5>에 도해적으로 나타난 것처럼 다음과 같은 요소로 구성된다.

- ① FFB 프리캐스트 슬래브
- ② 그라우트 층
- ③ 콘크리트 지지 패널(SP)
- ④ 중간층(지오텍스타일 + 흙)
- ⑤ 교량슬래브
- ⑥ 교량 지지물

파일지지 슬래브궤도 구조의 또 다른 예는 Thyssen Krupp이 설계한 Neue Feste Fahrbahn (NFF)이다. 전형적인 NFF궤도의 디자인을 <그림 6>에 나타낸다. 레일은 상호간에 연결된 두 개의 슬래브로 구성된 프리캐스트 콘크리트 프레임에 설치한다. 각각의 슬래브는 세 개의 짧은(횡단) 지지체에 의해 파일에 설치된다.

IV. 콘크리트궤도의 요구조건

선로시스템의 요구조건은 나라마다 다르다. 콘크리트 궤도에는 터널, 토공(하부구조), 교량 및 천이접속에서의 적용뿐만 아니라 신호와 전기시스템, 안전, 소음 방출 및 동적효과에 관련되는 특정한 요건 등 상부구조에도 관련되는 특정한 요구조건이 있다. 이것은 적용한 시스템과 재료뿐만 아니라 교통의 유형에도 좌우된다.

고속철도의 경우에는 궤도 기하구조와 선형의 틀림에 기인하여 동적 힘이 상당히 증가될 것이다. 콘크리트궤도 시스템은 점진적인 틀림을 피하고 승차감을 개량하며 보

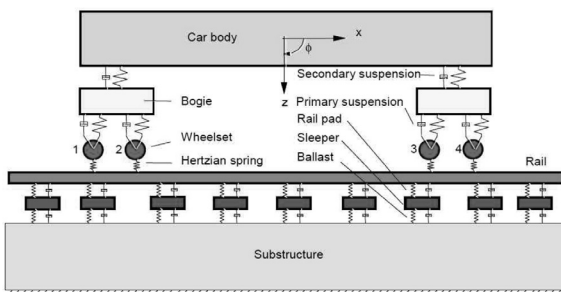
수의 양을 감소시키기 위하여 다음의 요건과 특징에 기초하여 판단한다.

- ① 표준화된 구조 요소의 사용
- ② 높이와 좌우를 조절할 수 있는 레일체결시스템
- ③ 친숙한 보수와 부설
- ④ 소음 흡수재의 설치 가능성
- ⑤ 구조(救助) 서비스를 위한 쉬운 접근
- ⑥ 건설공사의 노동력 절감
- ⑦ 최대의 이용 가능성

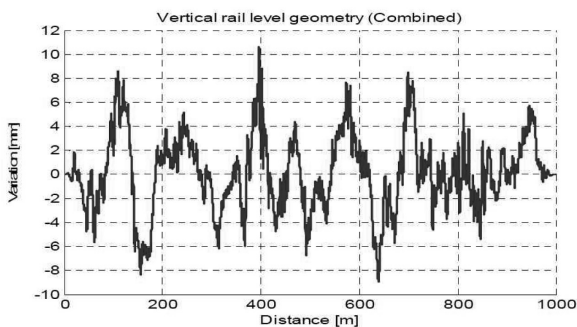
V. 콘크리트궤도의 동적 해석

1. 해석절차

각종 하중을 받는 콘크리트궤도의 정적과 동적 거동의 해석은 단기와 장기의 거동 양쪽을 해석하여야 하는 설계절차의 일부이다. Delft 기술대학교의 철도공학 그룹은 고속선로용 콘크리트궤도 설계를 평가하는 접근법을 개발



<그림 7> DARTS-NL의 차량-궤도 모델(재래 궤도상의 단일 차량)

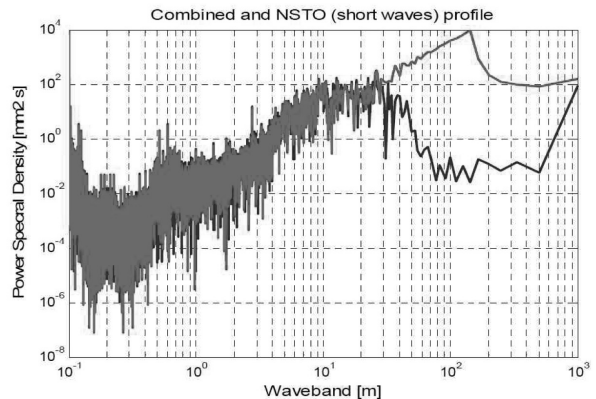


<그림 8> 동적 시뮬레이션에 사용된 결합된 수직 레일레벨 선형

하였다. 접근법은 콘크리트궤도의 동적해석과 동적 시뮬레이션의 결과를 기반으로 하여 계산된 다수의 성능인자에 기초한다. 후술의 절에서는 평가절차의 주된 부분을 기술한다.

차량-궤도 상호작용의 동적 해석은 TU Delft에서 개발한 DARTS-NL 프로그램으로 수행할 수 있다. 이 모델링은 계산의 수고를 줄이기 위하여 2차원(수직과 종 방향)으로 제한하며, 재료 거동은 선형이다. 궤도구조는 교호의 하드 층과 소프트 층으로 표현한다. Timoshenko 보 요소로 나타낸 하드 층은 레일, 침목, 콘크리트 슬래브 등과 같은 궤도구조 구성요소를 모델링하는 데에 사용될 수 있다. 탄성 인터페이스 층은 분포된 스프링과 댐퍼의 결합으로 나타내며, 패드, 도상(매트), 엘라스토머 등을 모델링하는 데에 사용된다.

차량은 질량-스프링 시스템으로 모델링된다. 자갈궤도 위의 단일 차량에 대한 모델의 예를 <그림 7>에 나타낸다. 수직 레일레벨 선형(고저틀림)은 차량-궤도 시스템에 적용된 불규칙의 중요한 소스이며 그러므로 수치모델에서 그것을 적절히 나타내어야 한다. 실제적인 결과를 얻기 위해서는 단파장과 장파장 틀림의 영향 양쪽 모두를 포함하여야 한다. DARTS-NL에서는 측정 데이터를 사용하여 수직 레일레벨 선형을 모델링하는 것이 가능하다. 그러나 궤도검측차, 특히 재래 궤도검측차는 장파장(> 25 m)의 정보가 부족하다. 그러므로 측정된 종단선형을 인위적인 장파장 틀림과 결합하는 특별 수직 레일레벨 종단선형이 구성되어야 한다. 결합된 종단선형은 고속 콘크리트궤도 구



<그림 9> 측정된(정색 선) 및 결합된(적색 선) 수직 레일레벨 종단선형의 파워 스펙트럼 밀도

조의 동적 시뮬레이션에 사용되어 왔다(<그림 8과 9>).

콘크리트궤도의 동적거동 해석에서는 동적거동의 가장 대표적인 부분(대략 250~300 m)이 모델링되어 왔다. 모델에는 (콘크리트 슬래브와 교량 간의 조인트와 같이) 구조물의 실패에 가장 민감한 부분이 나타내져야 한다. 90 m/s, 60 m/s 및 40 m/s의 대표적인 속도로 주행하는 Thalys, IEC3M 및 (궤도 공유의 경우에) IECMat에 대한 다수의 동적 시뮬레이션이 수행되어 왔다.

좋지 못한 용접과 같은 단과장 틀림에 기인하는 국지적 동적 응답의 영향을 상기에서 논의한 동적 해석 결과 위에 겹쳐 놓아야 한다.

2. 평가기준

콘크리트궤도 설계의 성능을 평가하는 데는 원칙적으로 세 가지 주요한 지표가 있다. 이들 지표의 일부는 유로코드(Eurocode)에 명시된 한계치에 관련된다. 세 가지 지표는 다음과 같다.

- ① 차체 가속도 : 이것은 승차감의 평가에서 중요한 파라미터이다. 승객이 경험한 가속도는 UIC-513 표준의 품질레벨 2를 초과하지 않아야 한다. DARTS-NL 시뮬레이션에서는 수직 가속도만 고려되는 반면에 UIC-513 표준은 가중된 3차원 가속도에 기초한다. UIC 표준은 몇몇 근사치의 도움으로 0.38 m/s²의 차체 가속도에 대한 허용 표준편차로 전환시킬 수 있다.
- ② 차륜과 레일 간 인터페이스에서의 힘들 : 그들은 현 가장치뿐만 아니라 차륜과 레일 마모를 저감시키기 위하여 제한되어야 한다. 동적 효과를 나타내는 단순한 방식은 동적확대계수(Dynamic Amplification Factor, DAF)를 사용한다. 동적 힘이 실제로는 통계적 분포로서 고려되어야 하므로 최대치는 표준편차의 두 배(2σ)에 해당되는 그것의 95 % 확률로 대체하여 왔다. 유로코드(ENV 1991-3: 1995 6.4.3.2)는 '정성들여서 보수된 궤도'에 대하여 1.67의 DAF95 한계를, '표준 보수의 궤도'에 대하여 2.00의 한계를 준다. 동적 시뮬레이션에 사용된 수직 궤도 종단선형은 '정성들여서 보수된 궤도'와 '표준 보수의 궤도'에 각각 해당되는 σ = 1.0 mm와 σ = 1.5 mm의 표준편차를 가졌다.
- ③ 콘크리트궤도의 휨 모멘트들 : 그들은 구조적 강도와

피로성질에 대하여 고려되어야 한다. 슬래브 강도를 해석하기 위하여 양과 음의 모멘트 양쪽에 대한 휨 모멘트의 동적확대계수(DAF)가 계산되었다. 그 다음에 각 그룹에 대한 DAF가 최대 정적 값 이상의 최대 동적 값으로서 결정되었다. 네덜란드 고속선로의 경우에 1.6(파일 사이)과 2.19(파일에서)의 DAF 값이 달성되었다.

동적 결과의 해석에 기초하여 다음과 같은 계산을 행할 수 있다.

- ① 모든 시뮬레이션에서 Thalys와 IEC3M 열차는 고려된 모든 콘크리트궤도 구조에 대하여 차체 가속도의 허용 레벨을 나타내었으며, 요구된 0.38 m/s²를 초과하지 않았다.
- ② 보통과 거친 레일선형에 대해 계산된 차륜-레일 접촉력의 최대 DAF₉₅ 값은 HSL 및 유로코드 표준과 상대적으로 잘 일치되었다.
- ③ 수직 레일레벨 선형의 품질은 차량가속도와 차륜-레일 접촉력과 같은 동적 응답에 대해 지배적인 영향을 미친다. 보통의 레일선형(σ_[3~25mm] = 1.0 mm)에 대하여 상당히 좋은 결과가 달성되었지만 만일 레일선형이 더 나빠진다면 더 높은 동적확대계가 예상될 수 있다. 시뮬레이션의 결과는 수직 레일선형을 요구수준으로 유지함의 중요성을 강조하고 있다.
- ④ 동적응답에 대한 콘크리트궤도 상부구조의 영향은 대단히 제한된 반면에 파일간격과 교량(파일 박은 슬래브) 특성과 같은 하부구조의 영향은 대단히 컸다.
- ⑤ 차량 파라미터, 특히 댄핑은 동적 응답에 대해 상당한 영향을 미친다.

(표 2) 결합된 수직 레일레벨 종단선형의 최대변화량(U_{max})과 표준편차(σ)

파장대역 [m]	수준	
	U _{max} [mm]	σ [mm]
3~25	4.6058	1.0296
25~70	3.8831	1.3849
70~180	6.4151	2.7211
0~5	2.3161	0.30047
0~10	4.4263	0.70446
0~150	7.4245	2.5974
전체 종단선형	10.5941	3.2093

3. 유지관리와 건설에 대한 요구조건

콘크리트궤도의 선형은 나중에 정정하기가 대단히 어렵기 때문에 건설 동안 정성들여서 컨트롤하는 것이 대단히 중요하다. 차체가속도와 차륜 레일 힘의 만족스러운 수준은 <표 2>에 나타난 해당 수직 궤도선형과 결합하여 달성되어 왔으므로 건설과 유지보수용 궤도선형 표준의 정의에 이 선형도 사용하도록 권고된다.

VI. 단파장 틀림의 평가

궤도검측차는 선로의 품질관리에서 항상 중요한 역할을 수행한다. 궤도검측차는 주로 궤도의 장파장, 대략 10~150 m의 파장에 초점을 맞추며, 장파장은 주로 차체의 여기(勵起), 따라서 승차감에 관련된다. 이들의 궤도검측 시스템은 대략 말하여 10 m 이하의 단파장이 불충분하게 고려되는 것이 단점이다. 이들의 단파장은 궤도에 가해지는 동적 힘, 따라서 궤도열화에 관련된다. 궤도결합 체계로부터 궤도훼손과 궤도선형의 급속한 악화가 대개 열등한 용접선형에 기인한다는 점은 잘 알려져 있다. 그러나 전동접촉피로(rolling contact fatigue, RCF) 손상도 이들의 문제를 증가시키는데 기여한다.

Esveld는 이미 1980년대에 궤도의 라이프사이클에 대



<그림 10> 동적 접촉력

한 용접 선형의 영향에 관한 다수의 연구를 수행하였다. 더 최근에 Michael Steenbergen의 박사학위 논문 연구는 새로운 이론의 개발에서 중요한 활력소가 되었다. 이 연구 범위에서 TU Delft는 <그림 10>에 나타난 것처럼 동적 차륜 레일 힘을 한정함에 기초한 네덜란드 레일 인프라 매니저 ProRail에 대한 새로운 용접 선형 표준을 개발하였다. 레일 중단선형의 1차 미분이나 경사도는 결정적인 요인을 나타낸다. 고속운전에서 용접에 대한 기준(norm)은 1 mrad, 또는 1 : 1,000이다.

기준(norm)은 측정기가 없이는 기능하지 않다. 그러므로 <그림 11>에 나타난 이른바 RAILPROF라는 전자 직선 자가 개발되었다. 이 기구로 수직과 수평 용접선형을 동시에 측정하고 분석한다.

RAILPROF는 블루투스(bluetooth)를 통해 RAILPROF로 교신하는 PDA(personal digital assistant)로 컨트롤된다. PDA는 또한 상기에 언급한 1차 미분 기준(norm)에 의거해 측정데이터의 저장과 측정의 평가도 수행한다. 용접 기술자는 PDA 스크린으로 용접선형이 기준에서 벗어난 곳, 따라서 연삭하여야 하는 곳을 즉시 볼 수 있다. 측정과 일은 내장 FTP(file transfer protocol) 클라이언트(client)를 통해 한 번의 클릭으로 무선으로 전송될 수 있다.

VII. 고속철도 궤도설계의 최적 실행

새로운 고속선로에 대하여는 일반적으로 핵심논의로 되는 '서비스 입증(service proven)'으로 기존선로의 시스템이 모방된다. 이 접근법은 이해될 수는 있지만 기술혁신에서 중대한 결점을 갖는다. 하기의 요점은 대만 고속선로에서의 경험에 기초한 고속철도 궤도의 설계에 대한 최적의 실행을 요약한 것이다.

- ① 첫 번째 일은 물론 계약자가 계약을 준수하여야 하는 것이다.
- ② 주문 본체는 적용되어야 하는 표준과 조건을 구체적으로 명시하도록 구속받지 않는다.
- ③ 기존의 고속선로이든지 서비스 입증의 구성요소(예를 들어, 레일체결장치 시스템) 또는 전체설계를 또한 참조하고 있는 논문으로 알아낸 시스템이든지 간



<그림 11> PDA를 가진 RAILPROF

에 참조 시스템(Reference System)을 갖는 것이 보통의 실행이다.

- ④ 서비스 입증은 대부분의 경우에 필요한 요건이지만 결코 충분한 요건은 아니다. 서비스 입증은 특정한 선로에 대한 조건 하에서 유효함을 의미한다. 새로운 프로젝트에서는 흔히 다른 경계조건이 적용될 것이다.
- ⑤ 필수적인 구조물은 계약에 명시된 것처럼 실제 동적 열차하중 및 지지 구조물이 가한 변형 하에서 충분히 해석(상세 설계)되어야 한다. 유한요소모델(Finite Element Models)을 사용하는 것이 보통이다.
- ⑥ 상세설계에서 또 하나의 논의는 새로운 개발이 빠르게 언급되고 가능하다면 사용되어야 한다는 점이다.
- ⑦ 만일, 구성요소가 이전에 시험에 통과되었음을 나타내는 증명서를 이용할 수 있다면, 레일체결장치와 같은 구성요소의 시험은 필요하지 않다. 모든 구성요소에 대하여 EC 위원회 지령(EC Council Directive)에 따라 TSI-사회기반시설 증명서(Infrastructure certifications)를 제출하여야 한다. 게다가 공장인정 시험(Factory Admission Test)은 물론 의무적이다. '서비스 입증(Service Proven)'이 TSI 증명서를 대체할 수 있는 유효한 논거가 결코 아니라는 점이 강조되어야 한다.
- ⑧ 일반적으로 각국에 대한 레일체결장치시스템은 자갈궤도에 대해서와 무도상궤도에 대해 분리하여 시험되어야 한다.
- ⑨ 대만에서는 근본적으로 일본의 신칸센 슬래브궤도와 독일의 Rheda2000구간 BWG 분기기란 두 개의 고속철도 개념이 존재한다. 유로코드(CEN)와 일본(RTRI)의 레일체결장치 규격은 다른 차량설계에 기인하여 아주 다르다. CEN을 통과한 레일체결장치가 일본의 요구조건을 자동적으로 충족시킬 것이라고 가정할 수 없으며, 그 반대로 마찬가지다.
- ⑩ 용접선형과 파상마모(corrugation)와 같은 단과장 틀림은 해로운 동적 유효하중을 최소화하기 위하여 야무지게 컨트롤하여야 한다. 새로운 용접을 한 직후에 이것을 수행해야 한다.

VIII. 맺음말

적합한 궤도시스템의 선택은 만족스러운 비용효과와 본질적인 비용절감의 잠재력을 달성하는데 상당히 기여할 수 있다. 철도궤도용으로 입증된 전통적인 자갈궤도 해법은 콘크리트궤도 시스템과는 달리 고속철도의 운행과 관련하여 그들의 성능한계에 달하였다. 콘크리트궤도 해법은 곡선반경을 줄일 수 있게 하고, 궤도 저항력(중·횡)을 크게 하며, 차례로 철도선로의 비용집중적인 엔지니어링 구조물에 대한 요구를 줄일 수 있게 한다.

콘크리트궤도의 적용은 또한 라이프사이클 코스트에 관하여 이익을 제공하며, 예를 들어 궤도선형의 품질을 평가하기 위하여 수행한 장기의 측정은 콘크리트궤도 시스템에 의한 승차감의 지속적인 향상을 입증하였다. 이들의 시스템은 또한 역으로 차량에 대한 마모를 더 적게 하며 이것은 전체로서 궤도-열차 시스템에 대한 보수비의 그 이상의 절감을 반영한다. ☺

♣ 참고문헌

- [1] 서사범 역 ; 최신 철도선로(Modern Railway Track : Esveld C. 원저), 도서출판(주) 열과 알, 2003.5. (ISBN 89-5529-067-5)
- [2] Esveld C. : Recent developments in the slab track, 2003.2.
- [3] Esveld C. : Developments in High-Speed Ttrack Design, 2003.
- [4] Esveld C., Markine VL. : Slab Track Design for High-Speed, 2007.
- [5] Esveld C., Markine VL. : Assessment of High-Speed Slab Track Design. 2006.
- [6] Esveld C., Steenbergen M.J.M.M. : Force-based Assessment of Weld Geometry. 2005.
- [7] Esveld C., Steenbergen M.J.M.M. : Force-based Assessment of Rail Welds. 2006.
- [8] Esveld C. : STRAIT, Innovative straightening of rail welds, 1983.8.
- [9] ThyssenKrupp GfT Gleistechnik : New Slab Track (NFF) for the rail transport (Neue Feste Fahrbahn für den Schienenverkehr), 2006.
- [10] 서사범 : 개정3판 선로공학(궤도역학, 궤도재료, 궤도의 설계와 관리, 보안·운전, 소음·진동), 도서출판BG 북 갤러리, 2012.8. (ISBN 978-89-6945-037-1 93530)
- [11] 서사범 : 궤도역학 2(Fundamentals of Track Dynamics, 콘크리트궤도의 역학), 도서출판 BG 북 갤러리, 2009.6. (ISBN 978-89-91177-80-2 93530)
- [12] 서사범 역 : 선로의 설계와 관리(Track Compendium - Formation, Permanent Way, Maintenance, Economic : Bernhard Lichtberger 원저), 삼표이앤씨(주), 2010.7.
- [13] 서사범 : 궤도장비와 선로 관리(mechanized track maintenance), 도서출판(주) 열과 알 2000.12. (ISBN 89-88900-97-9 93550)
- [14] 서사범 : 레일연삭기술(Rail Grinding Technology), 삼표이앤씨(주), 2011.2