

열차제어시스템 국제 표준화 동향과 일반/고속철도용KRTCS 세계화 Train Control System International Standardization Trends & Globalization of KRTCS for Conventional/High speed railway

윤학선*[†], 전공준** , 성동일** , 이기서*** , 강병욱****

Hak-Sun Yun*[†], Gong-Jun Jeon* , Dong Il Sung** , Key Seo Lee*** , Beong Wook Kang****

Abstract It will be finished successfully KRTCS for Conventional & High speed railway(KRTCS-2) in R&D project lead to Ministry of Land, Infrastructure & Transport. We are need to strategy of Internationalization & Overseas expansion. In this paper introduce International Standardization trends Next Generation Train Control System & Shift 2 Rail project of UIC and European area and propose globalization of KRTCS for Conventional & High speed railway. Also, this paper discussed Technical Specification for Interoperability ETCS & KRTCS-2. Finally, we introduce the future development plan of KRTCS-2.

Keywords : KRTCS-2, ETCS, Standardization, Train Control System, Railway Signaling

초 록 국가R&D 과제로 추진중인 일반 및 고속철도용 한국형 무선기반 열차제어시스템 KRTCS(프로젝트명 KRTCS-2) 개발이 성공적으로 완료되고 있다. 이에 따라 열차 신호시스템의 국제화 및 해외 진출을 위한 전략이 요구되고 있다. 본 논문에서는 UIC와 유럽을 중심으로 진행중인 차세대 신호시스템 Next Generation Train Control System와 Shift 2 Rail 프로젝트를 중심으로 한 국제 표준화 동향과 일반 및 고속철도용 KRTCS의 세계화에 대하여 논하였다. 글로벌 표준으로 자리 잡고 있는 ETCS와 이와 호환되는 상호운영성을 확보한 일반 및 고속철도용 KRTCS의 미래 발전 방향에 대하여 제시하고자 한다.

주요어 : 일반및고속철도용KRTCS-2, 표준화, 열차제어, 철도신호

1. 서 론

국내에서는 한국형 무선기반 열차제어시스템(KRTCS : Korean Radio based Train Control System) 개발 및 실용화 연구과제가 진행중이며 1단계로 IEEE1474 CBTC 표준과 ETCS SRS를 혼용하여 2014년 도시철도용 KRTCS(KRTCS-1)개발이 완료되어 한국철도표준규격으로 제정되었다. 2단계 R&D로 일반 및 고속철도용 KRTCS(KRTCS-2)가 2014년 12월 개발에 착수 기존 설비인 ATS, ATP와 호환되며 ETCS 표준방식인 ETCS SRS Baseline 2(2.3.0d)를 기준으로 2017년말에 개발완료를 목표로 연구과제를 수행중이다.

*[†] 교신저자: 한국철도시설공단 기술본부 신호처(kamayun@kr.or.kr)

** 한국철도시설공단 KR연구원

*** 철도신호사업연구조합 **** 네오트랜스 기술연구소

이러한 국내현황을 감안하여 KRTCS(일반·고속철도) 실용화 적용 시기에 병행하여 국내 일반 및 고속철도 신호시스템의 고도화를 추구하고 유지보수성을 향상시키기 위해 UIC 및 유럽기구를 중심으로 추진중인 Next Generation Train Control, Shift 2 Rail 프로젝트와 ETCS 레벨3 현황 및 국내 적용을 검토하고 신호시스템 표준화 방안을 제시하고 한다

2. 해외 신호시스템 표준화 현황

2.1 유럽 철도교통관리시스템(ERTMS)

1996년에 EU는 유럽 철도교통관리시스템(ERTMS)을 유럽 내 모든 고속라인에 대한 표준으로 사용하는 것에 합의하였다. 이는 차후에 일반 유럽 철도 네트워크까지 확장하여 적용한다. ERTMS는 유럽 전역의 국경 간 교통을 가능하게 하는 신호 및 열차 제어 시스템이다. 이는 또한 안전성, 신뢰성 및 용량을 향상시키고 철도 운영 및 유지보수 비용을 감소시키는데 도움이 된다.

이는 다음으로 구성된다:

- 유럽 열차 제어 시스템(ETCS) : 신호, 제어 및 열차 보호 시스템
- GSM-R : 음성 및 데이터 통신을 제공하는 무선 시스템(현재 유럽 전역 철도에 사용됨)
- 유럽 교통 관리 체계(개발 중) : 시간표 및 열차 데이터의 ‘지능형’ 해석을 통해 열차 이동을 최적화하는 교통 관리 시스템
- 유럽 운영 규칙(개발중) : 운영 규칙 세트

ETCS는 다양한 레벨(레벨1, 2, 3)로 배치할 수 있다. 현재 영국 내 ETCS의 사용은 제한적이다. 레벨 2는 2011년부터 캄브리아기 라인에서 사용되고 있고 Thameslink 및 Crossrail 노선 구간에 배치할 계획이 있다. Network Rail은 또한 Hertford Loop (런던 북쪽)의 ERTMS 기술 공급업체를 대상으로 시범 운영 중이다.

ETCS 레벨 3는 개발 중이다. 일부 표준은 여전히 EU국가간 동의를 필요하다. 예를 들어, 화물 열차가 완전한지(즉, 화차가 분리되지 않음) 점검하기 위한 열차 기반 무결성 시스템(이는 전형적인 선로 기반 열차 검지 장치로 수행되어 왔다). ETCS 레벨 3에서 요구하는 모든 장비가 상업적으로 이용 가능한 것은 아니다. ETCS 레벨 3의 특성 대부분을 갖춘 파일럿 시스템은 스웨덴의 저밀도 지방노선에서 개발되었다: “ERTMS Regional”. 또한 ETCS 레벨 3와 유사한 특성을 갖춘 시스템은 카자흐스탄의 초저용량 본선 노선 내 파일럿 프로젝트에서 운행 중이다.

영국에서 Network Rail은 신호 자산 개량을 고려, 좀 더 효율적인 방안을 제시하기 위하여 ETCS 레벨 2 기술을 갖춘 ERTMS의 전국 출시(roll-out)를 제안하였다. 본 계약은 기존 신호 방식의 ETCS 레벨 2 개량과 연관되어 있으며 완료하는데 50년이 걸릴 것으로 예상된다. 디지털 철도 프로그램 통해 Network Rail은 명목상 기간 25년 내로 Level 2 ETCS 신호의 전국 출시(roll-out)를 가속화할 계획을 수립 중이다. 또한 ETCS 레벨 3 기술을 15년 내로 철도 노선을 가속화하는데 사용할 수 있을 지 조사 중이다. ETCS는 노선 장착 방법 및 열차에

정보를 전송하는 방법에 따라 다른 레벨에서 구현할 수 있다.

레벨 1 - 열차에 ETCS 기술을 장착하고 ETCS를 선로변에 설치한다. 선로 상의 장치는 열차 검지에 책임이 있고 열차에 간헐적으로 이동 권한을 전송한다.

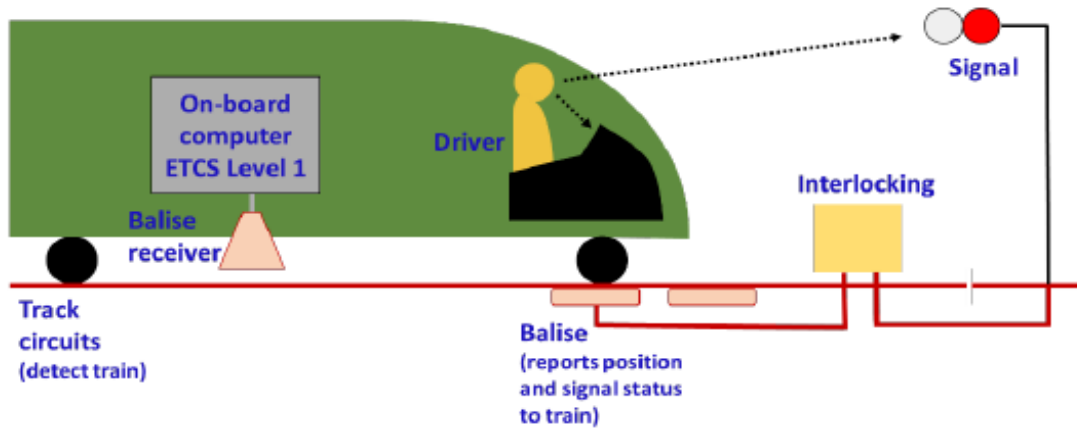


Fig. 1 Concept of ETCS Level

레벨 2 - 모든 열차가 GSM-R(국내 LTE-R) 무선 전송을 통해 무선 제어 센터로부터 거의 지속적으로 업데이트 된 이동 권한을 수신하는 것을 제외하고는 레벨1과 같다. 선로변 장치는 열차 검지를 위해 필요하다.

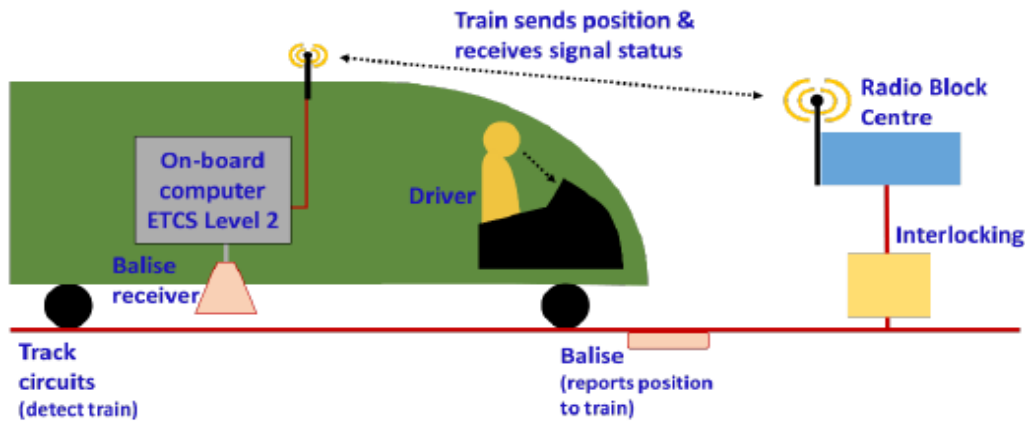


Fig. 2 Concept of ETCS Leve2

레벨 3 - ETCS는 이전에 이동권한을 제공하기 위해 사용된 선로변 신호와 선로변 열차 검지 장치를 대체한다. 레벨 3에 대한 표준 및 기술은 개발 중이다.

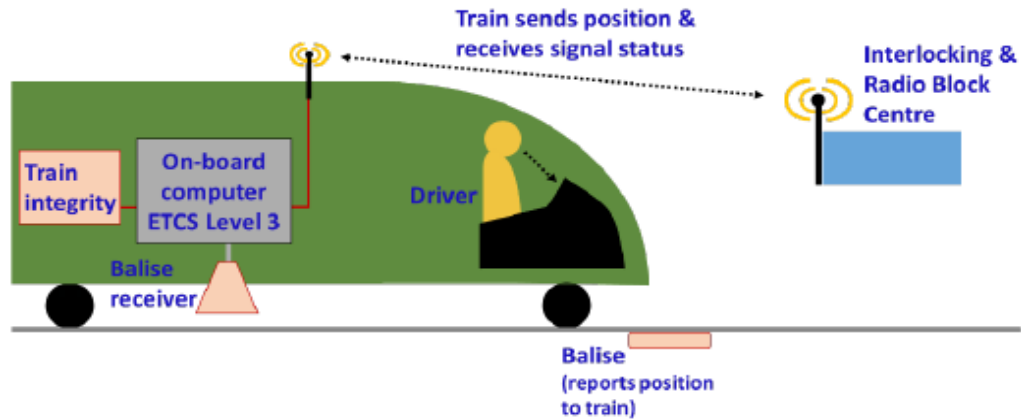


Fig. 3 Concept of ETCS Level3

Network Rail의 보고에 따르면 그들이 수행한 Waterloo 내 남서쪽 마린라인을 모델링한 결과 ETCS 레벨 3(자동 열차운행(열차 운행 지원)과 교통 관리 시스템과 함께 사용됨)는 특정 구간에서 현재 용량 보다 40% 더 증가시킬 수 있고 일반 철도 라인 건설에 비해 약 30% 더 저렴하다. 좀 더 단순하고 자동화된 설계 프로세스 및 선로변 인프라 제거 등으로 인해 비용 및 시간 절약이 예상된다. 하지만 이는 채택된 시스템 구성에 따라 다르다. 기타 이점으로는 더 높은 유연성이 포함된다. 예를 들어, 최번 시간대에는 저속 통근열차를 운행하고 최번 시간 외에는 고속 열차(공간이 좀 더 떨어져 있어야 함)를 운행. 분기점 추가와 같은 성능향상을 위한 비용이 좀 더 저렴해 진다

2.2 ETCS 레벨 3 현황 및 적용

ERTMS/ETCS (이하 "ETCS")는 유럽철도 네트워크의 모든 기존 국가 시스템을 대체하도록 설계된 열차 제어 시스템이다. ETCS 는 다른 공급 업체의 차상장치가 장착된 열차가 동일하거나 다른 공급 업체 장비가 장착된 선로를 자유롭게 운행할 수 있도록 한다. 이것은 차상 및 지상 서브 시스템으로 구성된다. ERTMS 는 세 가지 기능 및 성능 수준(레벨 1, 2, 3)에서 구현할 수 있도록 지정된다. 점 전송을 사용하는 "재래식"이지만 상호 운용 가능한 ATP 시스템 (레벨 1), 라인 성능을 향상시키고 무선을 통한 연속 통신을 추가하는 (레벨 2), 차량검지장치인 궤도회로를 없애고 차상장치를 통해 선로변의 차량 위치를 검지하는 (레벨 3)로 나눈다.

레벨 1 과 2 가 개발되고 운영되는 동안, 메인 라인 철도의 경우 레벨 3 은 아직 도면 상태로만 존재한다. 메인 라인 철도의 경우, 레벨 3 은 인프라 소유자에게 상당한 이점을 약속하지만 열차 운행 장비에 시스템과 복잡성이 추가된다. 그 중 일부 어려운 기술적인 문제는 아직 해결되지 않아 잠재적인 응용 분야를 제한하고 있다.

ERTMS 지역노선(Regional)의 시도는 스웨덴의 Västerdalsbanan(Repbäcken-Malung)에서 구현

중이며, ERTMS 적용을 지역 노선으로 확장하여 서비스를 시작하려고 한다.

ERTMS Level 3 은 레벨 3 의 열차가 고정 발리스 및 차상 주행 측정법에 의해 전송 된 참조 위치를 사용하여 자체 위치를 결정한다는 것을 특징으로 한다. 이러한 위치 데이터를 무선 폐색센터(RBC)로 전송하며, RBC 는 통제 하에 있는 열차에 이동 권한(MA)을 부여한다. ETCS Level 3 의 구현은 철도 노선 용량 및 유연성을 증가시키고 자본 및 운영 비용을 감소시킬 수 있다. 또한, 이동 폐색 신호 방식을 사용하여 철도 교통을 관리 할 수 있을 것이다.

2.3 ETCS 레벨 3의 장점 및 단점

ETCS 레벨 3 적용시 예상되는 장점 및 단점은 다음과 같은 측면으로 검토할 수 있다.

○ 철도산업

철도 사업 또는 인프라 운영자에게 레벨 3 은 선로변 열차감지 장비에 대한 요구 사항을 없애기 때문에 매력적이다. 이를 통해 투자 및 유지 보수비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 선로 안이나 근처에서 일하는 직원의 유해한 환경 등에서의 노출을 줄여 건강 및 안전 위험을 줄일 수 있다. 물론 이것은 시스템의 견고성과 ERTMS 구현단계가 대체 시스템을 사용하지 않고도 레벨 3의 배치를 허용하는 경우에만 수행 할 수 있다.

○ 열차 운전자(기관사)

열차 운전자의 입장에서 레벨 2 가 아닌 레벨 3 차량에서 직접적인 혜택은 볼 수 없다. 실제로 열차 무결성 증명 문제에 대한 해결책은 일부 기관차에 추가 장비를 설치해야 할 가능성이 높다. 철도이용 요금이 수요와 공급의 법칙의 적용 대상이 되는 경우 레벨 3 의 간접적인 이점은 추가 경로의 가용성 및 혹은 그러한 경로구축 비용 절감될 수 있다.

반면에 운전자는 현재의 ERTMS 제품 범위에 속하지 않는 미래의 열차 제어 시스템에 의해 제공될 기능에 대한 추가 요구 사항을 가질 수 있다. 이러한 요구 사항에는 열차 서비스 규정(충돌 및 지연 감지 및 해결), 에너지 최적화 운전 지원, 자동 열차 운행 (ATO)이 포함될 수 있다.

○ 보안 문제

ETCS 레벨 3 은 중앙 집중화된 통신 기반 IT 시스템으로서 본질적으로 사이버 공격, 전파 방해 등을 방지해야 한다. 이러한 IT 관련 위험 요소는 전통적으로 철도 신호 시스템 설계 시, 고려되지 않았다. 무선링크는 GSM-R 및 네트워크화 된 RBC 를 통해 제공하는 보호 수준이 적절한 것으로 입증되는지에 대한 여부를 확인할 수 있다.

○ 레벨 3은 레벨 2보다 더 나은 선로 용량을 제공하는 것인가?

레벨 3 의 대부분의 주요 역할은 레벨 2 에 비해 10% - 20% 이상의 용량이 더 제공되는 것이 이점이라는 것이다. 그러나 열차 간격을 개선하기 위해 가상 중간 폐색 신호를 사용하는 고성능 블록 폐색 시스템으로 구현된 레벨 2 는 높은 장비 비용이 들지만 동일한 성능 수준을 제공할 수 있는 것으로 의심된다. 또한 이러한 연구는 일반적으로 이론적인 시격(Headway) 계산을 개별적으로 비교한다. 실제로 실제 작업 용량은 역 레이아웃 및 플랫폼 용량, 연속진로 및 영업운행계약 등으로 지정된 시간제한 제약과 같은 많은 다른 요소에 의해 결정된다. CBTC 시스템이 특정 선로에서 시간당 약 24 대의 교통 밀도를 제공하는 것은 보통 고속 운송 애플리케이션에서만 볼 수 있다. 고속운송철도에서 균일한 열차 성능 특성과 균일한 스케줄 운영에 유용하다.

○ 비용

일부 연구에 따르면 ETCS 레벨 3에 대한 인프라 장비의 자본 절감은 레벨 2와 비교하여 25% 정도이며, 다중 신호 표시 폐색 시스템과 비교할 때 최대 50% 또는 60%까지이다. 이것은 물론 차상에 필요한 통신 시스템의 비용 증가, 열차 무결성 증명 시스템 등으로 상쇄될 수 있다.

○ 다른 이점

레벨 3에 폐쇄 루프 제어 시스템이 마련되면 네트워크 제어, 충돌 감지 및 해결, 에너지 최적화된 운전 등 "더 친환경적"인 이동성을 갖는 다른 옵션이 등장한다. 그러나 이러한 기능 중 어느 것도 ERTMS/ETCS 사양의 일부는 아니다. (ERTMS의 "M"은 개발 중에 "실종된" 것으로 보인다.) 상호 운용성이 없는 구현의 위험이 증가하고 있다.

○ 엔지니어링 유연성

순수 ETCS Level 3 라인의 설계 및 엔지니어링은 모든 측면에서의 신호 관측, 열차 제동 특성 등에 기초한 폐색 길이의 모든 측면을 고려할 필요가 없다. 따라서 시간표 변경, 열차 운행 등의 변경과 관련하여 보다 비용 효율적이고 유연하다. 다른 한편으로의 전제조건은 모든 열차가 장비를 갖추고 있거나 혹은 특별 장비가 없는 열차, 정비 차량의 이동을 위한 특별한 대비책이 마련되어야 한다는 것이다.

○ 차량 측면

한편으로는 ETCS L3 기능이 가능한 EVC로 모든 차량을 장착해야 한다는 요구 사항이 장애물이자 비용의 불리한 요소로 보인다. 반면에 차량 경로 수용은 더 이상 복잡한 EMC 및 단락 호환성 문제 또는 기타 감지 시스템 유도 제한, 복잡한 귀선전류 필터가 필요하지 않게 되어 복잡하지 않다. 물론 실용적인 측면에서 볼 때 그러한 혜택은 대중교통 수단 철도와 같은 "단한 환경"에서 훨씬 더 일찍 현실적으로 수확될 수 있으며 네트워크 전체의 출시가 성취되지 않을 가능성이 큰 대규모 네트워크에서는 절대로 얻을 수 없을 수도 있다.

○ 소유물 관리

ETCS 레벨 3 열차는 가상 자체 위치 확인(Virtual Self locating) 및 보고 객체(Reporting Object)가 되며 이 특성은 '열차경합'을 포함하여 선로 도난방지 유지보수 장치에 대한 보호 기능을 확장할 수 있다. 이렇게 하면 소유물 관리가 보다 간단하고 본질적으로 안전해지며, 이것의 예가 이동용 휴대 단말기를 사용하여 Betuweline에서 구현되었다. 사실, 이 기능은 레벨 2에도 적용할 수 있다. 유일한 요구 사항은 중앙화 된 이동권한(Movement Authority) 발행 시스템을 갖추는 것 뿐이므로, 즉 무선폐색센터(RBC)는 RBC와 통신할 수 있는 연동장치(Interlocking)를 사용하는 모든 신호 시스템과 실제로 중첩될 수 있다.

○ 탄력성

레벨 3 시스템의 고유한 이점은 불안정한 상황에서 복원력과 빠른 복구가 가능하다는 것이다. 네트워크 취약지구나 선로전환기 고장구역에서는 열차가 조밀하게 운행할 수 있다. 마찬가지로 속도를 재개하고 정상 운행 조건을 복구하는 것은 "하모니카 효과"로부터 이점을 얻을 수 있다. 물론 적어도 선로전환기가 없는 구간에서는 많은 궤도 회로가 없으면 장비 고장 및 지연 시간이 줄어든다. 이것은 통신 시스템에 대한 의존도가 높고 의사소통이 완전히 중단된 경우 매우 강력하고 파괴적인 실패 가능성이 상쇄될 수 있다. 물론 이러한 문제를 해결하기 위해 이중화 및 대체 시스템을 제공하면 예상되는 비용 절감 효과를 누릴 수 있다.

3. 결 론

향후에 KRTCS(일반·고속철도) 실용화가 완료되더라도, 철도신호시스템의 목표인 안전성, 정시성 및 경제성을 달성하기 위하여 차상, 지상 및 관제시스템인 ‘All in One’ 개념으로 통합된 국산 철도신호체계 개발이 요구되며, 특히 일반철도 및 고속철도의 미래 무인자동운전 개념인 ETCS 레벨3급의 철도신호체계에 대한 연구개발이 요구된다

KRTCS(일반·고속철도) 실용화 적용시기에 병행하여 국내 신호시스템 고도화를 위해 전자연동장치를 중심으로 한 신호시스템 인터페이스 표준화 기술 개발을 수행함으로써 개량 및 신규노선의 시스템 설치를 외국시스템이 아닌 국산 시스템으로의 설치가 가능하며, 외국 시스템 또는 기존시스템에 대한 기술 종속 탈피를 도모할 수 있다고 예상된다. 또한, 철도 운영 기관에서는 LCC(Life Cycle Cost) 절감과 유지보수성을 확보할 수 있으며 제조사는 품질 향상을 통해 경쟁력이 강화될 것으로 예상된다

후 기

본 연구는 국토교통부(국토과학기술진흥원)의 철도기술연구사업 “일반·고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화” 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] M. White (1998) On the time-reversed electromagnetic waves, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 7(4), pp. 13-15.
- [2] P. Mai, Y. Lu (2006) Dynamic modeling for a rolling coin, *Journal of Sound and Vibration*, 48(6), pp. 753-780.
- [3] A.Y.T. Leung, X. Guo, X.Q. He, S. Kitipornchai, S. (2004) A continuum model for zigzag carbon nanotubes, *Applied Physics Letters*, 86(3), pp. 551-561.
- [4] H. Kim, C.H. Park, K.H. Law, C.R. Farrar, et al. (2005) Damage detection in composite plates by using the time reversal method, *Journal of the Korean Society for Railway*, 10(3), pp. 141-151.
- [5] I.A. Viktorov (1967) *Rayleigh and Lamb Waves in Plates: Theory and Applications*, Plenum Press, NY, pp. 442-443.
- [6] H.M. Ashley (2008) Vibration of circular plates, PhD Thesis, Stanford University.
- [7] V. Rose, L. Bao (2007) Vibration of the plate with a hole, *Proceedings of the 25th ASCE International Civil Engineering Congress*, New Orleans, LA, pp. 47-52.
- [8] T.W. Steele (2001) Electrical properties of ceramics, University of Southampton, ISVR Memorandum ISAV 101.
- [9] M. Petyt (2005) Measurement process of plate vibration, U.S. Patent No. 2,043,416.