

HWAW방법을 이용한 고속철도 교량 상판 신축 이음부 도상 자갈의 이완상태 및 이완범위 평가

Evaluation of the Status of Ballast on the Bridge Expansion Joint using HWAW method.

박형춘† 박준오* 진남희** 노희관*** 배현정***
Park, Hyung-Choon Park, Jun-O Jin, Nam-Hee Noh, Hee-Kwan Bae, Hyun-Jung

ABSTRACT

The local loosening of ballast supporting railway tract cause a differential vertical tract settlement. In the bridge, the temperature change make bridge deck to contract and expand, and this movement cause local loosening of ballast on the bridge expansion joint. Therefore, the evaluation of the status of ballast on the bridge expansion joint is important for the track maintenance of the high-speed railway. In this paper, hwaw method was applied to evaluate the status of ballast on the bridge expansion joint. HWAW method is non-destructive test to evaluate 2-D shear wave velocity map along the railway. Shear wave velocity is directly related with status of ballast. In this research, hwaw method was applied two different types of bridges and determine the degree and the range of the ballast loosening caused by movement of the bridge expansion joint.

1. 서 론

교량 상판 신축 이음부에서 발생하는 궤도틀림은 주로 교량의 온도신축, 단부 꺾임각의 증가 등에 의해 발생한다. 이중 교량 상판의 온도신축에 의해 도상자갈의 이완현상이 발생하며, 이러한 도상자갈의 이완정도나 이완범위를 평가하는 것은 철도 유지관리 측면에서 중요하다. 도상자갈의 이완정도는 도상의 깊이별 전단파 속도 결정을 통해 평가할 수 있다. 일반적으로 자갈이나 흙과 같은 재료는 다짐정도(또는 이완정도)에 따라 파의 속도가 변화하게 된다. 따라서 선로 길이방향을 따라 연속적으로 도상의 깊이별 전단파 속도 분포를 결정하게 되면, 각 위치에서의 도상 자갈 이완 정도 및 이완 범위 등을 평가할 수 있다. 이러한 깊이에 따른 전단파 속도 분포(전단파 속도 주상도)는 다양한 탄성과 시험법을 통해 수행될 수 있다. 표면파 시험은 대상 지반의 전단파 속도 주상도를 비파괴적으로 평가하는 시험법으로 도상의 손상 없이 전단파 속도 주상도 결정이 가능하다. 결정된 속도 값으로부터 도상의 탄성계수를 직접 결정할 수도 있다. 철도 도상은 협소한 폭 및 침목등에 의해 실험 공간의 제약이 심하며, 다양한 반사면에 의한 배경잡음이 존재한다. 기존 표면파 시험법들은 시험을 위해 필요한 최소 실험 공간이 필요하며, 배경잡음의 영향에 상대적으로 민감하여 신뢰성 있는 실험결과를 얻기 힘들다. 따라서 철도 도상 및 노상 평가에 기존의 일반적인 표면파 시험법들의 적용은 매우 어렵거나 불가능하다.

† 책임저자 : 비희원, 충남대학교, 토목공학과, 조교수
E-mail : civilman@cnu.ac.kr

TEL : (042)821-5673 FAX : (042)-825-0318

* 정희원, 코레일테크, 기업부설연구소, 부장

** 정희원, 코레일테크, 기업부설연구소, 연구소장

*** 비희원, 충남대학교, 토목공학과, 석사과정

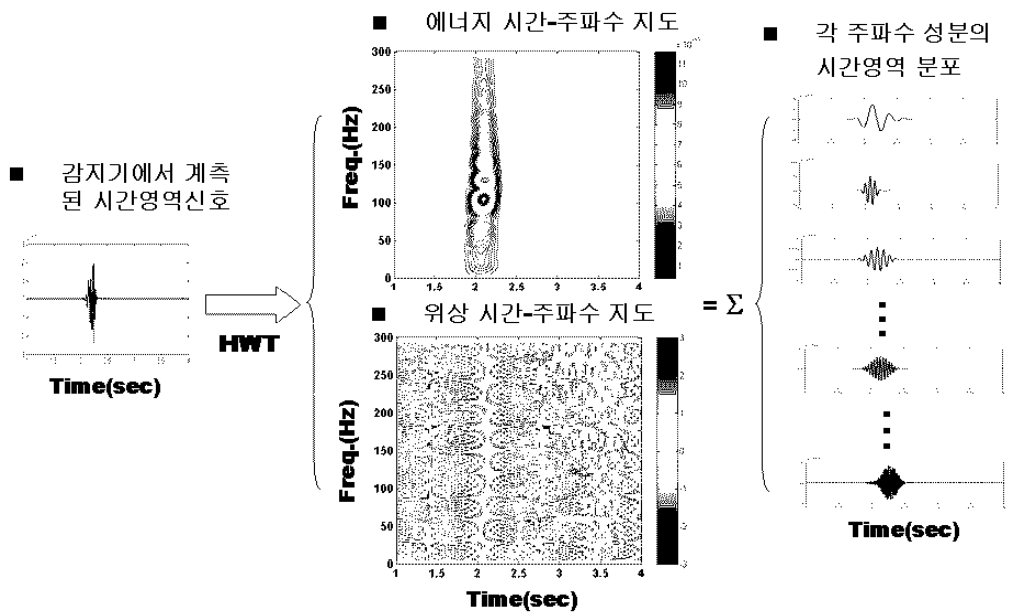
본 연구에서는 이러한 기존 표면파 기법들이 가진 문제점을 해결하고자 개발된 HWAW방법을 교량 신축이음부에서 도상 자갈의 이완상태를 평가하는데 적용하였다. 본 논문에서는 HWAW방법에 대해 간단히 기술하였으며, 2개의 서로 다른 형식을 가지는 교량을 선정하여, 신축 이음부에서의 도상 자갈 이완정도 및 이완범위를 HWAW방법을 사용하여 결정하였다.

2. HWAW방법을 이용한 전단파 속도 지도의 결정

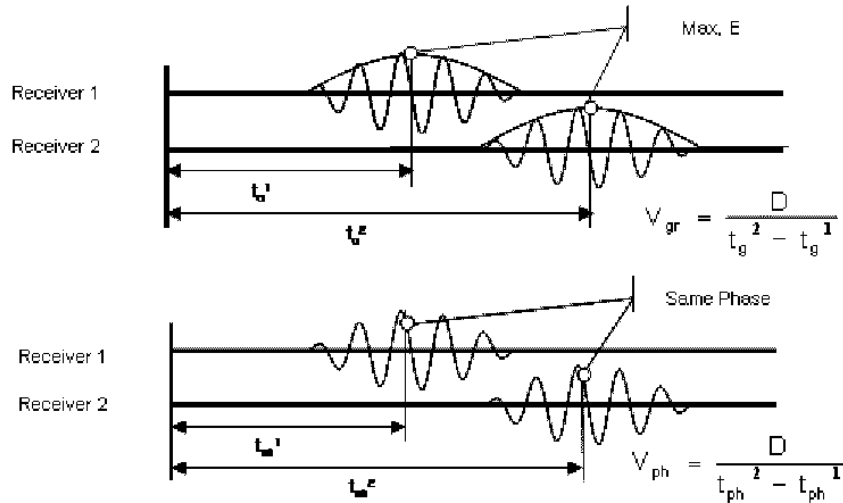
표면파 시험법은 표면파의 분산특성을 사용하여 매질의 전단파 속도 주상도를 결정한다. 모든 표면파 시험은 3단계로 구성된다. 현장 시험, 분산곡선(파장-위상속도 곡선)의 결정, 역산을 통한 대상 지반의 전단파 속도 주상도 결정으로 구성된다. 표면파 시험법 사이의 차이는 주로 분산곡선 결정을 위한 데이터 해석과정의 차이에 기인한다.

2.1 기본 원리

HWAW방법은 매질을 따라 전파하는 일반적인 파의 위상·그룹속도를 결정하는 방법으로 2개의 감지기 사이를 전파하는 파의 분산곡선 결정 및 역산을 통하여 감지기 사이 지반의 전단파 속도 주상도를 결정할 수 있다. HWAW방법은 지반의 2차원 전단파 속도 주상도의 결정등 비파괴 지반 부지특성에 성공적으로 적용되었다. HWAW방법은 각 감지기에서 얻어진 신호를 하모닉 웨이브렛 변환을 통해 각 주파수 성분으로 분해한 후, 에너지 시간-주파수 지도에서 에너지가 집중된 영역, 즉 국부 신호/잡음비가 최대가 되는 최대에너지선(피크선) 주변의 국부적인 에너지·위상정보만을 사용하여 분산곡선을 결정한다.



(a) 하모닉 웨이브렛 변환을 통한 시간영역신호의 분해



(b) 시간영역에서 분해된 각 주파수 성분의 위상·그룹속도의 결정

그림 1. HAWA방법의 기본 원리

2.2 시험구성

HAWA시험은 2개의 감지기와 하나의 가진원으로 구성된다. 가진원으로는 햄머나 다양한 직경의 쇠구슬을 사용하며, 감지기로는 속도계나 가속도계를 사용한다. 본 연구에서는 속도계를 사용하여 실험을 수행하였다. HAWA시험을 위한 실험구성은 역산과정에서 고려되기 때문에 감지기 간격이나 가진원에서 감지기까지의 거리등에 제한이 없다. 철도 도상 평가를 위해 본 연구에서는 그림 2와 같이 침목사이에 감지기를 0.1~0.3m의 간격을 가지게 설치하고 0.6m 떨어진 위치에서 가진을 하였다. 이러한 짧은 감지기 간격의 사용은 국부적인 평가를 가능하게 하며, 연속적인 실험을 통해 높은 횡방향(철도 길이방향) 해상도를 가지는 2차원 전단파 속도 지도의 결정을 가능하게 한다.

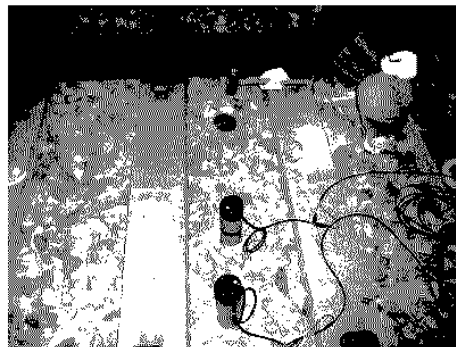


그림 2. 철도 도상 평가를 위한 HAWA실험 구성

2.3 고속철도 도상 및 노상 평가시 HAWA 방법의 특징

앞에서 언급한 바와 같이 고속철도 도상 및 노상 평가시 시험이 수행되어야 하는 철도 도상은 협소한 폭 및 침목등에 의해 시험 공간의 제약이 심하다. HAWA방법은 앞에서 언급한 바와 같이 실험구성의 제한이 없기 때문에 이러한 시험공간의 제약이 문제가 되지 않는다. 또한 본 논문에서와 같이 짧은 감지기 간격을 사용하는 경우 높은 횡방향 해상도를 가지는 2차원 전단파 속도 지도의 결정이 가능하기 때

문에 도상 자갈의 이완 범위를 평가하는데 효과적으로 사용될 수 있다. HWAW방법은 전체 신호층 에너지가 집중된 높은 신호 질(quality)을 가지는 국부적인 신호영역만을 데이터 해석에 사용하기 때문에 매우 높은 배경잡음이 존재하는 경우에도 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있다. 따라서 고속철도 도상 및 노상 평가에 매우 효과적으로 사용될 수 있다.

3. HWAW 방법을 이용한 교량 상판 이음부 도상 자갈 상태 평가

교량 상판 신축이음부에서의 도상 자갈의 이완 상태 평가를 위해 서로다른 형식의 교량 2곳을 선정하여 신축이음부에서 실험을 수행하였다. 선정된 교량은 라멘 형식과 PSC-box 형식을 가진다.

3.1 Site 1 : PSC-Box 형식

HWAW 탐사를 수행한 교량은 PSC-Box 형식의 2경간 연속교(2@40m)로 그림 3과 같이 총 다섯 곳의 위치에서 실험을 실시하였다.

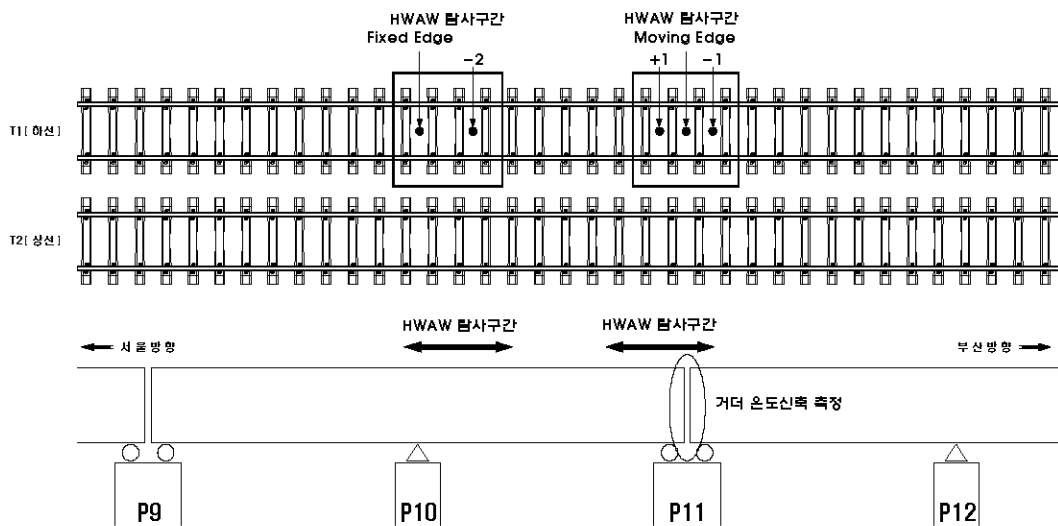


그림 3. HWAW 실험 위치

시험위치는 신축 이음부(거더의 끝단과 인접거더의 끝단)와 신축 이음부 전·후로 1개의 PC침목간격(약 0.6m)만큼 떨어진 2곳, 고정단과 고정단에서 거더신축부 방향으로 2개의 침목간격(약 1.2m)만큼 떨어진 1곳이다. 그림 4는 HWAW시험을 통해 철도길이 방향을 따라 결정된 깊이별 전단파 속도 분포(전단파 속도 2차원 지도)이다. 그림을 보면 대략 PC침목하면보다 상부인 표면에서 약 20cm 깊이까지는 전체위치에서 50~60m/sec의 낮은 속도값을 보인다. 이러한 낮은 속도값은 낮은 구속압과 열차하중이 침목하면으로 전달되기 때문에 침목하면보다 위에 있는 자갈에서는 자갈간 맞물림이 상대적으로 느슨하여 낮게 분석된 것으로 판단된다. 그러나 침목하면보다 깊은 깊이에서는 신축 이음부를 제외한 모든 위치에서 200m/sec 전·후의 양호한 값을 보이는데 반하여 신축 이음부는 100m/sec 전·후의 상대적으로 낮은 속도값을 보인다. 이 결과로부터 신축 이음부 상에 있는 도상자갈은 주변부에 비해 상대적으로 많이 이완되어 있으며, 이러한 자갈의 이완은 주로 신축 이음부에 국한되어 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 HWAW실험을 통해 신축 이음부에서 자갈 이완 정도 및 이완된 범위를 매우 효과적으로 평가할 수 있음을 알 수 있다.

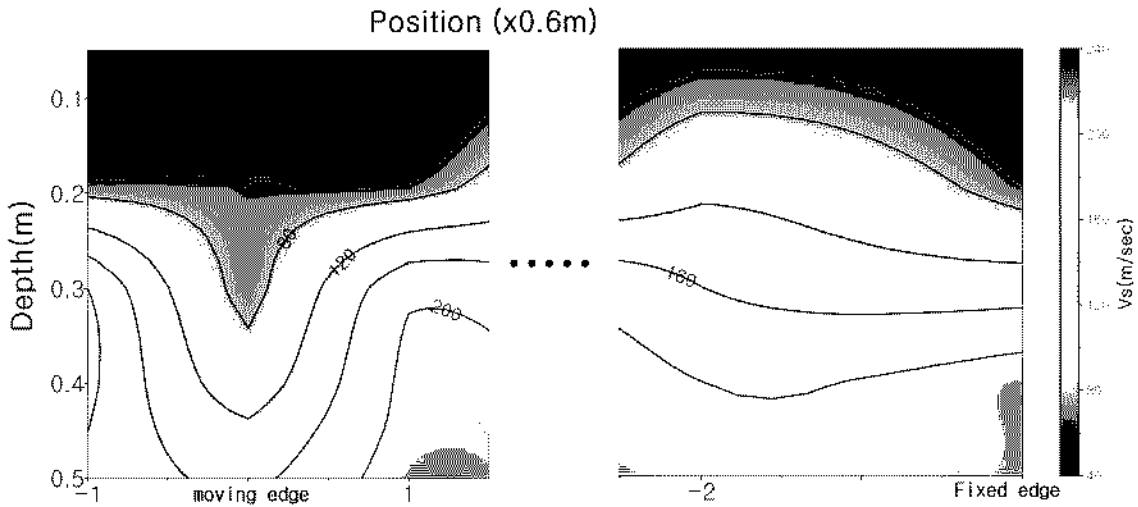


그림 4. 신축 이음부 주변 및 고정단 주변에서의 깊이별 전단과 속도 분포

3.2 Site 2 : 라멘형식 교량

시험 장소는 L=35m의 라멘형식 교량으로, 그림 5와 같이 신축 이음부와 신축 이음부 전후의 1개 및 2개의 침목간격(약 0.6 및 1.2m)만큼 떨어진 위치 등 총 다섯 곳의 위치에서 실험을 실시하였다.

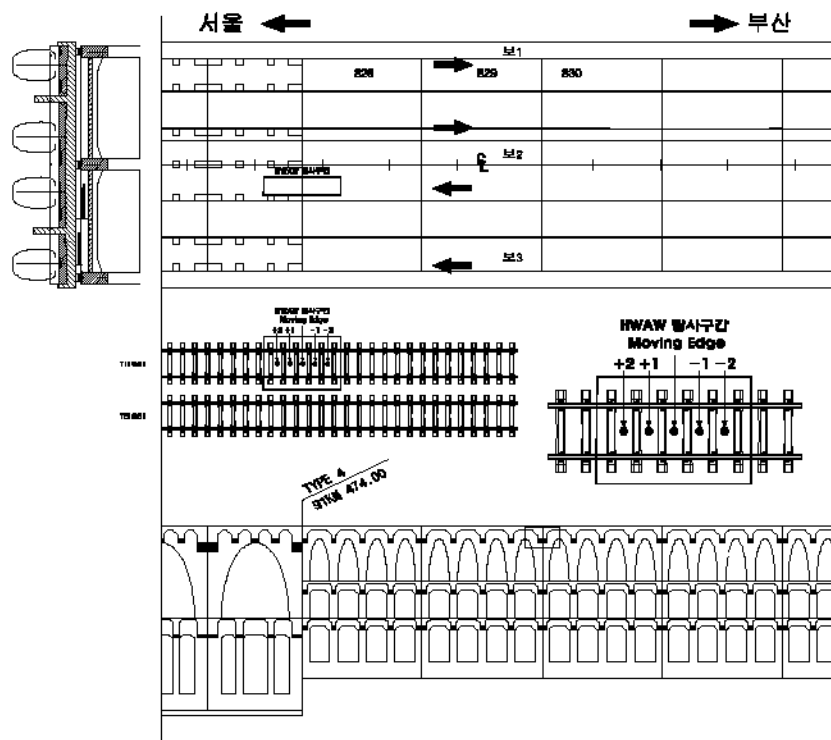


그림 5. HAWW 실험 위치

그림 6은 신축 이음부 주변에서의 전단과 속도 2차원 분포 지도를 보여준다. 이를 보면 PSC-Box형식의 교량에서와 마찬가지로 PC침목하면보다 상부인 표면에서 깊이 약 10cm까지는 전체 측정 위치에서 40~50m/sec의 낮은 속도값을 보인다. 이러한 낮은 속도값은 역시 낮은 구속압과 열차하중이 침목하면으로 전달되기 때문에 침목하면보다 위에 있는 자갈에서는 자갈간 맞물림이 상대적으로 느슨하기 때문

으로 생각된다. 그러나 침묵하면보다 깊은 깊이에서는 신축 이음부를 제외한 모든 위치에서 200m/sec 전·후의 양호한 속도값을 보인다. 이에 반하여 신축 이음부는 100m/sec 전·후의 상대적으로 낮은 속도값을 보인다. 이러한 결과로부터 PSC-Box형식의 교량에서의 실험과 마찬가지로 도상자갈 이완이 주로 거더 신축부에 국한되어 상대적으로 크게 발생함을 알 수 있다.

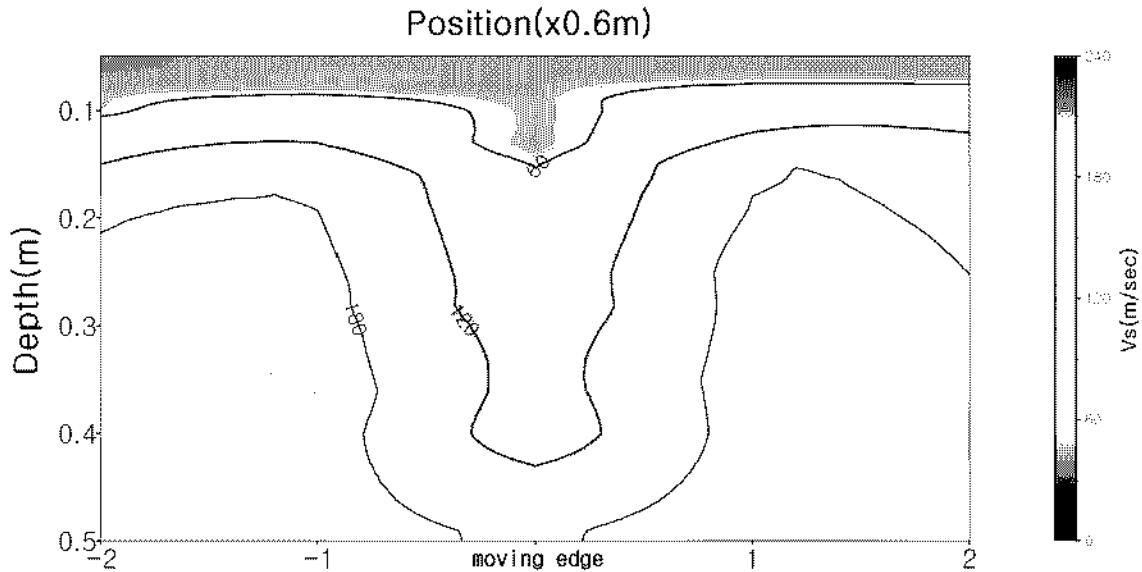


그림 6. 신축 이음부 주변 및 고정단 주변에서의 깊이별 전단파 속도 분포

4. 결 론

본 연구에서는 교량 상판 신축이음부에서 발생하는 도상 자갈 이완을 평가하기 위하여 HWAW방법을 도상자갈 평가에 적용하였다. HWAW방법은 비파괴 시험으로 고속철도 도상 및 노상 평가와 같이 협소한 실험 공간 및 배경잡음이 존재하는 경우에도 효과적인 실험 수행이 가능하며, 신뢰할 수 있는 실험 결과를 제공한다. 본 연구에서는 HWAW방법을 사용하여 교량 상판 신축 이음부와 그 주변부에서 2차원 전단파 속도 지도를 결정하였으며, 이를 통해 이완정도 및 이완범위를 매우 효과적으로 평가 할 수 있었다. 실험을 통해 신축 이음부에서 발생하는 도상 자갈 이완은 신축 이음부 주변에 매우 국부적으로 매우 크게 나타나는 현상이라는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Hyung-Choon Park and Dong-Soo Kim (2001. 10), "Evaluation of the Dispersive Phase and Group Velocities using Harmonic Wavelet Transform", NDT&E International, Vol. 34, No. 7, pp. 457-467.
2. 박형춘, 김동수, 이병식 (2004. 08), "HWAW(Harmonic Wavelet Analysis of Wave)방법을 이용한 새로운 탄성과 지반조사기법의 현장 적용.", 한국지반공학회 논문집, Vol. 20, No. 6, pp. 51-59-8.
3. 박형춘, 김동수 (2004. 03), "HWAW 방법을 이용한 새로운 탄성과 지반조사기법의 개발(II) : 실험 구성 및 역산과정." 대한토목학회 논문집, Vol. 24, No. 2C, pp. 117-124.
4. 박형춘, 김동수 (2004. 03), "HWAW 방법을 이용한 새로운 탄성과 지반조사기법의 개발(I) : 분산 곡선의 결정." 대한토목학회 논문집, Vol. 24, No. 2C, pp. 105-115.