

특집기사

강교량의 응답특성을 이용한 주행차량의 속도, 축간거리 및 중량 추정 기법

Weigh-In-Motion Method Using Response Characteristics of a Steel Bridge



전 준 창^{1)*}

Jeon, Jun Chan



경 갑 수²⁾

Kyung, Kab Soo



이 희 현³⁾

Lee, Hee Hyun

1. 서 론

성수대교 붕괴사고 및 당산철교 전면교체로 인해 교량구조물 및 기타 도로관련 사회간접자본 시설물에 대한 안전성과 유지관리의 중요성이 크게 부각되었으며, 이로 인해 사회전반에 걸쳐 다방면의 노력이 진행되고 있다. 기존 구조물의 안전성을 평가하고 효과적인 유지관리계획을 수립하기 위해서는 그 구조물에 작용하거나 장래 작용될 것으로 예측되는 하중의 크기 및 특성을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 특히, 강교량의 경우, 구조물의 수명을 지배하는 요인 중의 하나가 피로현상이고, 피로는 구조물에 작용하는 하중의 크기와 빈도에 의해 결정된다. 따라서, 구조물의 잔존성능(내하력 및 잔존수명)의

추정, 피로손상의 발생원인 규명, 보수·보강계획 수립 등 구조물 유지관리 전반에 걸쳐 하중 특히 중차량의 실태를 파악하는 것이 매우 중요하다.

국내의 화물수송 형태는 도로에 대한 의존도가 약 75% 내외로서 상당히 높으며, 도로를 이용하는 화물자동차는 1970년대 이후 산업화와 함께 수적 증가 및 대형화되고 있다. 이러한 대형화된 화물자동차의 수적 증가는 교량구조물과 도로포장의 내구성 및 파손에 미치는 영향이 크다. 또한, 국립환경연구원의 경우 자동차에 대한 조사결과에 의하면 규정된 최대적재량 보다 30% 과적하는 경우에는 휘발성 유기화합물(VOC)은 약 7%, 질소산화물은 약 4% 증가하고 매연은 약 50%나 증가되며, 전체 오염물질 배출량은 16.4%가 증가하는 것으로 나타났다. 과적시 자동차의 출력이 저하되는 것에 대비하여 자동차 사용자가 연료공급을 상향조정하는 경우가 많은데, 연료공급량을 20% 상향조정하면 매연량은

1) 씨티씨주식회사 상무

2) 한국해양대학교 건설공학과 교수

3) 씨티씨주식회사 대표이사

* E-mail : jcj@ctceng.co.kr

189%나 증가하게 된다. 이와 같이 중차량은 사회간접자본시설의 내구성에 영향을 미칠 뿐만 아니라 과적시 환경오염측면에서도 문제가 되므로 중차량의 과적단속도 절실히 필요한 상태이다.

과적차량단속의 초기단계에서는 정적하중의 계측에 의한 단속이 과적검문소에서 실시되어 왔다. 정적하중계측에 의한 단속은 정확도 측면에서는 법적 기준을 만족하지만 다음과 같은 한계를 갖는다.

- 많은 시간과 인력이 필요(대당 5~15분 소요, 3~4인이 1일 3교대 근무)
- 운전자의 단속회피 가능성
- 합법적 운차량에 대한 단속에 따른 시간 낭비
- 혼잡지역에 부적합
- 글로벌 ITS(Intelligent Traffic System)와 호환적인 측면에서의 경직성

정적하중계측에 의한 과적단속의 한계를 극복하기 위해 WIM(Weigh-In-Motion)에 대한 연구가 선진외국에서 시작되었다. WIM 시스템이란 도로노면에 설치되어 주행중인 차량의 중량, 속도, 차종 등의 각종 교통매개변수를 측정할 수 있는 차량 검지기(VDS, Vehicle Detection System)의 한 종류로서 측정방식에 따라 크게 벤딩 플레이트 시스템, 피에조 시스템 및 로드셀 시스템으로 구분된다.

국내에서는 고속국도의 영업소 및 일반국도의 과적검문소에 주로 외국의 저속용(20km/hr 이하) WIM 시스템을 도입하여 운영함으로써 고속국도 및 일부 일반국도상에서 과적차량 단속효과를 거두고 있으나, 앞서 언급한 교량구조물 및 도로포장의 내구성 평가 및 유지관리계획 수립에 필요한 종합적이고 체계적인 정보를 도출하기에는 한계가 있다. 또한, 한국도로공사에 대한 국정감사결과자료에 따르면 시스템의 가격이 고

가일 뿐만 아니라 고장이 잦고 평균수명이 약 5~6년에 불과해 현재 운영중인 WIM 시스템의 유지관리에 적지 않은 비용이 소요되고 있는 점도 문제로 제기되고 있다. 물론 노면에 설치되는 방식의 고속용 WIM 시스템을 이용하여 교량 구조물을 통행하는 차량의 중량 및 통행특성에 관한 정보를 얻을 수는 있지만 저속용에 비해 정확도가 떨어지며, 일반적으로 시스템 설치 후 센서의 내구년한인 5년 주기로 노면에 설치된 센서부 전체를 교체해야 하므로 이에 따른 교통통제가 불가피하여 교량상에 적용하기에는 어려움이 있다.

교량구조물의 내구성 평가 및 유지관리계획 수립에 필요한 정보를 효과적으로 얻기 위해 연구되고 있는 방법이 교량의 응답특성을 이용하는 BWIM(Bridge Weigh-In-Motion)이다. BWIM 시스템은 1979년 Moses에 의해 처음 제안된 이후 대부분의 BWIM 시스템은, 도로노면에는 축센서를 부착하고, 교량 상부구조 하면에는 변형률센서를 부착하여, 축센서는 차량의 속도, 축간거리 및 차량의 위치 등을 측정하고, 변형률센서에서 측정된 교량부재의 변형률과 축센서의 측정값을 동시에 입력하여 차량의 축중량과 전체중량을 계산하도록 되어 있다. 그러나 이 방법은 축센서가 노면에 위치하므로 설치 및 유지관리가 어렵다는 문제점이 있다. 최근에는 축센서를 설치하지 않고 교량 상부구조 하면에 설치한 변형률센서만을 이용하여 차량의 속도 및 축간격 등을 추정하는 연구가 선진외국에서 진행되고 있다.

본 기사에서는 강교량 구조부재의 응답특성만을 이용하여 주행차량의 속도, 축간거리 및 중량을 추정하는 기법을 소개하고자 한다. 본 기법은 기본적으로 교량 구조부재의 영향선을 이용하는 데, 교량 구조부재의 영향선은 부재특성에 따라 주거더와 같이 영향선이 긴 부재와 주거더의 수

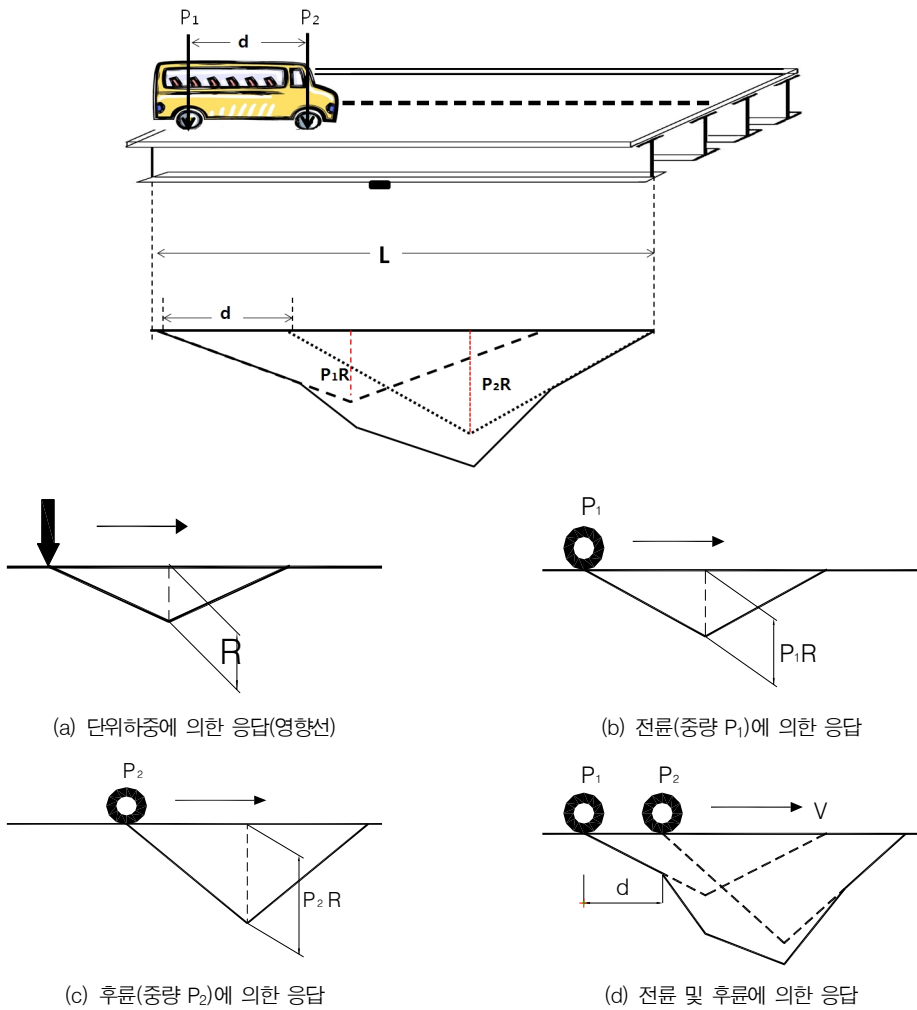


Fig. 1 영향선의 길이가 긴 경우의 응답파형 구성

직보강재 또는 가로보 등과 같이 영향선이 짧은 부재로 구분된다. 영향선 길이에 따른 응답파형의 구성을 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1 및 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 영향선의 길이가 길다고 하는 것은 재하하중에 의한 영향범위가 넓다라는 의미이며, 반대로 영향선의 길이가 짧다고 하는 것은 재하하중에 의한 영향범위가 좁아 각각의 차축마다 민감하게 반응한다는 것이다. 본 기사에서 소개하는 기법에서는 노면에 설치되는 축 감지 센서 대응으로, 영향선의

길이가 짧은 부재의 응답을 이용하여 차량의 주행차로, 주행속도 및 축간거리를 산정하고, 영향선의 길이가 긴 부재의 응답을 이용하여 주행차량의 중량을 추정하게 된다.

2. BWIM 기법

2.1 주행차량의 속도 및 축간거리 추정기법

Fig. 3은 3축의 덤프트럭이 실패량 위를 주행

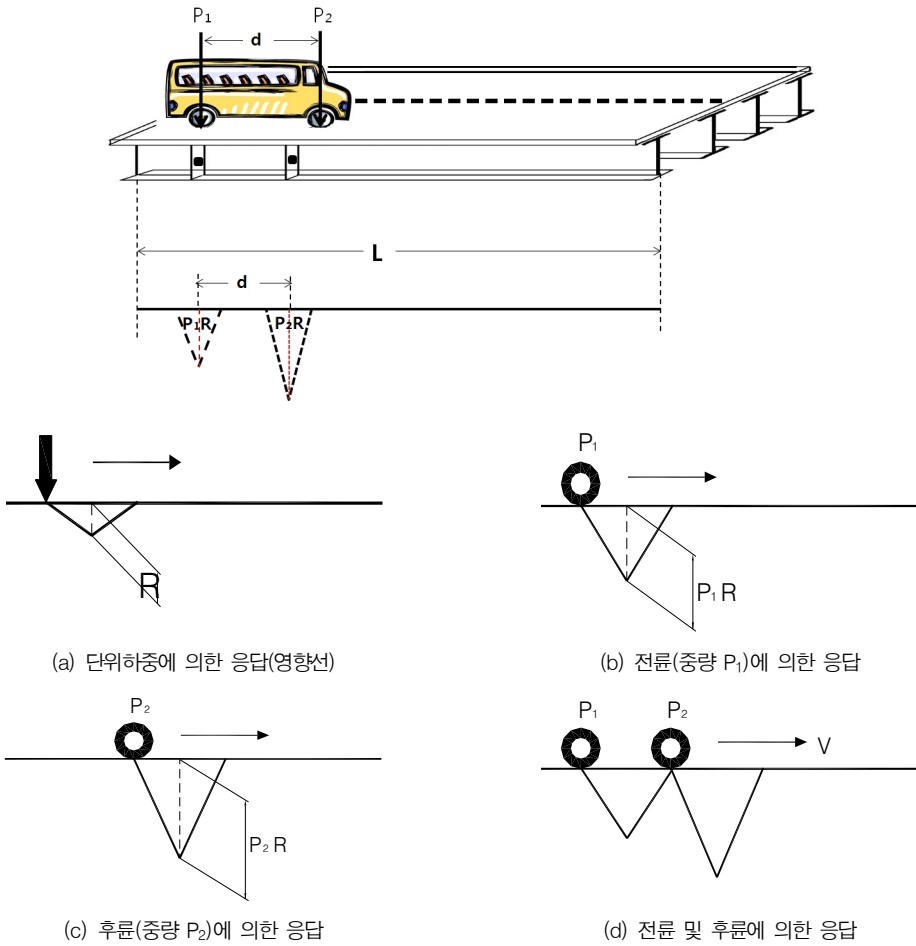


Fig. 2 영향선의 길이가 짧은 경우의 응답파형 구성

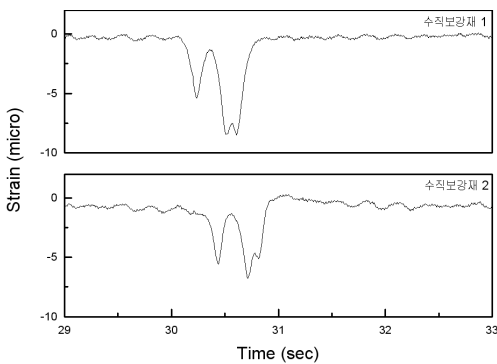


Fig. 3 수직보강재의 변형률시간이력곡선

할 때 얻어진 수직보강재의 변형률시간이력곡선을 나타낸 것이다. 측정대상 수직보강재는 교량의 지점부 근방에 위치하며, 두 수직보강재 사이의 이격거리는 2.5m이다. Fig. 3에 의하면 덤프트럭 축 수만큼 피크치가 형성되는 것을 알 수 있다. 첫 번째 피크치는 덤프트럭의 전륜에 의한 것이며, 두 번째와 세 번째 피크치는 각각 중륜 및 후륜에 의한 것이다.

Fig. 3과 같이 이격거리를 알고 있는 두 개의 수직보강재에서 동일 차축에 의해 발생하는 응답의 피크치간 시간간격을 계측에 의해 구할 수

있으므로 다음 식 (1)에 의해 주행차량의 속도를 추정할 수 있다. 또한, 차량의 축간거리는 식 (1)에 의해 구한 주행속도와 Fig. 3의 차축간 시간간격(전륜과 중륜에 의한 피크치간 시간간격, 중륜과 후륜에 의한 피크치간 시간간격)에 의해 산정된다.

$$v = s / t \quad (1)$$

여기서, s : 수직보강재 사이의 이격거리

t : 동일 차축에 의해 발생하는 응답의 피크치간 시간간격

2.2 주행차량의 중량 추정기법

차량이 교량 위를 주행할 때 임의 시간 t 에서 임의 측정위치의 변형률은 식 (2)와 같이 주행차량의 축하중, 교량 상의 임의 측정위치에서의 변형률 영향선 및 시간 t 에서의 주행차량의 위치로서 표현할 수 있다. 계산변형률($\epsilon_i(t)$)과 측정변형률($\epsilon_i^*(t)$)간 편차 제곱의 합은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_i(t) = \sum_{n=1}^{N_{\max}} A_n \cdot I_{ni}(x_n(t)) \quad (2)$$

여기서, N_{\max} : 차축 수

A_n : n 번째 축의 중량

$I_{ni}(x_n)$: 주행차량의 n 번째 축이 x_n 에 위치할 때 측정점 i 에서의 영향선 값

x_n : 시간 t 에서 n 번째 축의 위치

$$E = \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=0}^{T_{\max}} [\epsilon_i(j\Delta t) - \epsilon_i^*(j\Delta t)]^2 \quad (3)$$

$$t = j\Delta t \quad (4)$$

여기서, T_{\max} : 측정변형률의 전체 샘플링 수

Δt : 샘플링된 변형률 데이터의 시간 간격

I_{\max} : 변형률 측정위치의 수

주행차량의 축중은 식 (3)의 E 를 편미분하여 최소화함으로써 구할 수 있다.

$$\frac{\partial E}{\partial A_m} = 2 \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=0}^{T_{\max}} \left[\sum_{n=1}^{N_{\max}} A_n \cdot I_{ni}(x_n(j\Delta t)) \right] I_{mi}(x_m(j\Delta t)) - 2 \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=0}^{T_{\max}} \epsilon_i^*(j\Delta t) \cdot I_{mi}(x_m(j\Delta t)) = 0 \quad (4)$$

여기서,

$$F_{mn} = \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=0}^{T_{\max}} I_{ni}(x_n(j\Delta t)) \cdot I_{mi}(x_m(j\Delta t)) \quad (5)$$

$$M_m = \sum_{i=1}^{I_{\max}} \sum_{j=0}^{T_{\max}} \epsilon_i^*(j\Delta t) \cdot I_{mi}(x_m(j\Delta t)) \quad (6)$$

식 (4)는 식 (5)와 같은 행렬형태로 표현된다. 따라서, 식 (2)에 포함된 $I_{ni}(x_n)$, 즉, 측정점 i 에서의 영향선 값을 미리 구해 놓으면 식 (5)로부터 주행차량의 축중을 산정할 수 있다.

$$[F] \{A\} = \{M\} \quad (7)$$

측정점 i 에서의 영향선을 구하기 위해 기지의 중량과 축간거리를 갖는 시험차량을 이용하여 응답을 측정하고, 영향선은 식 (8)과 같이 다항식 함수로서 근사화할 수 있다고 가정한다. 따라서, n 개의 축을 갖는 시험차량이 차로 l 을 주행할 때 측정점 i 에서의 변형률 $\epsilon_{il}(t)$ 는 식 (9)와 같이 표현된다.

$$f(x(t)) = a_0 + a_1 x(t) + a_2 x(t)^2 + \dots + a_d x(t)^d \quad (8)$$

$$\epsilon_{il}(t) = \sum_{n=1}^{N_{\max}} P_n \cdot f_{il}(x(t)_n) \quad (9)$$

Table 1 해석대상교량의 제원 및 단면특성

구 분		단면구성(mm)	단면적(m ²)	단면2차모멘트(m ⁴)
주거터	지점부	UF : 480×16 Web : 2000×12 LF : 650×20	0.0447	0.0284
	중앙부	UF : 480×32 Web : 2000×12 LF : 650×36	0.0628	0.0470
가로보		UF : 200×10 Web : 1000×10 LF : 200×10	0.0140	0.0019
콘크리트 바닥판		t : 250mm, f _{ck} =27MPa		

$$x_n = x_b + v(t - t_n) \quad (10)$$

여기서, P_n : 시험차량 n 번째 축의 중량
 x_n : 시간 t 에서 n 번째 축의 위치
 x_b : 교량 상 기준점의 위치
 t_n : n 번째 축이 기준점을 통과할 때의 시간
 v : 주행차량의 속도

계산변형률($\epsilon_{ii}(t)$)과 측정변형률($\epsilon_{ii}^*(t)$)간 편차 제곱의 합은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \sum_{j=0}^{T_{max}} [\epsilon_{ii}(j\Delta t) - \epsilon_{ii}^*(j\Delta t)]^2 \quad (11)$$

$$t = j\Delta t \quad (12)$$

여기서, T_{max} : 측정변형률의 전체 샘플링 수
 Δt : 샘플링된 변형률 데이터의 시간 간격

따라서, 식 (8)의 다항식 계수 a_d 는 식 (11)의 E 를 편미분하여 최소화함으로써 구할 수 있다.

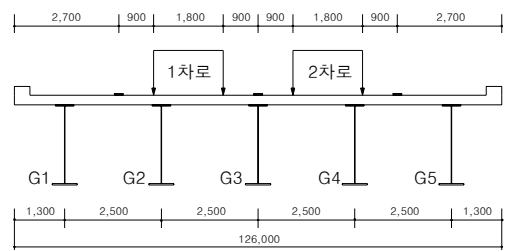


Fig. 4 해석대상교량의 횡단면도

3. 해석결과 및 분석

3.1 해석개요

주행차량에 의해 유발되는 교량 부재의 응답을 산정하기 위해 이동하중에 의한 시간이력해석을 수행하였다. 운동방정식의 해는 Newmark의 직접적분법을 이용하여 구한다. 해석대상교량은 지간길이 40m, 폭원 12.6m의 단순지지 강합성 플레이트거더교로서 교량의 제원 및 단면 특성은 Table 1과 같다. 해석대상교량의 횡단면도를 Fig. 4에 나타내었다. 플레이트 거더교의 구조부재 중 본 연구에서 대상으로는 하는 부재는 주거터와 주거터 복부판에 설치되는 수직보 강재이다.

이동하중에 의한 시간이력해석을 위해 해석대상교량을 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 프레임요소

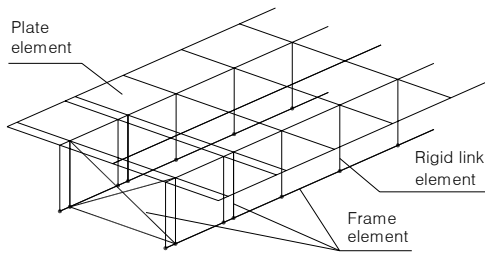


Fig. 5 해석모형의 개요

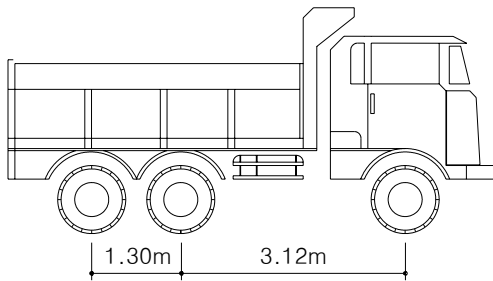


Fig. 6 주행차량의 제원

(주거더, 가로보, 수직보강재 및 수직브레이싱), 플레이트요소(RC 바닥판) 및 강체연결요소(주거더와 바닥판의 연결부재)로 모형화하였다. 주행차량은 토사를 만제한 3축의 150kN급 덤프트럭이며, 축간거리는 Fig. 6과 같다. 이동하중에 의한 시간이력해석을 위해 Fig. 6의 덤프트럭을 3축의 주행질량으로 모형화하여 60km/hr의 속도로 주행시켰다.

3.2 주행차량의 속도 및 축간거리 추정

Fig. 6에 나타난 3축의 덤프트럭이 해석대상 교량 위를 60km/h 속도로 2차로 중앙을 주행할 때 얻어진 수직보강재의 축력 시간이력곡선을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 G4는 네 번째 주거더를, -1 및 -2는 각각 지점에서 0.2m, 3.2m 이격된 위치를 의미한다.

Fig. 7을 살펴보면 지점 근방에 위치한 수직보

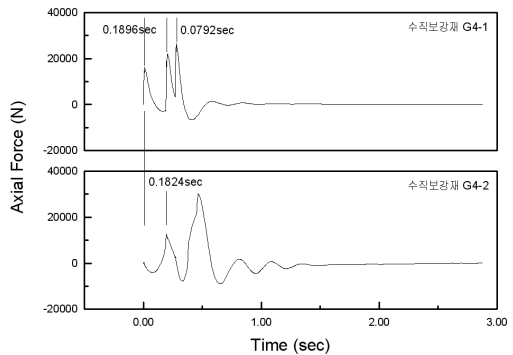


Fig. 7 수직보강재의 축력 시간이력곡선(V=60km/h)

강재의 축력은 주행차량의 차축이 통과할 때 마다 피크치가 형성되는 것을 알 수 있다. 그러나, 지점에서 3.2m 이격된 경우, 두 개만의 피크치, 즉 전륜에 의한 피크치 한 개와 중륜과 후륜에 의한 피크치 한 개가 발생하는데, 이는 지점에서 이격됨에 따라 지점에 의한 구속효과가 감소하기 때문으로 판단된다. Fig. 7에서 알 수 있는 바와 같이 전륜이 두 수직보강재(G4-1, G4-2)를 통과한 시간 차이는 0.1824sec이다. 또한, 지점부근의 수직보강재인 G4-1의 시간이력곡선에 의하면 전륜과 중륜의 통과시간간격은 0.1896sec, 중륜과 후륜의 통과시간간격은 0.0792sec이다.

두 수직보강재의 이격거리는 기지의 값(=3.0m)이고, 전륜 통과시의 시간간격은 해석을 통해 얻어진 두 수직보강재의 시간이력곡선으로부터 알 수 있으므로 이로부터 주행차량의 속도 산정이 가능하다. 또한, 지점부근의 수직보강재에서는 각 차축 통과시마다 피크가 형성되므로 전륜과 중륜의 통과시간간격 및 중륜과 후륜의 통과시간간격을 시간이력곡선으로부터 알 수 있고, 이를 앞서 구한 주행속도와 함께 분석하면 주행차량의 축간거리를 계산할 수 있다.

전륜에 의해 발생하는 수직보강재 G4-1과 G4-2의 시간간격이 0.1824sec이고, 두 수직보강재 사이의 이격거리가 3m이므로 주행속도는

Table 2 수직보강재의 응답을 이용한 주행속도 및 축간거리 추정결과

구 분	주행속도	축간거리	
		전륜-중륜	중륜-후륜
추정치	59.22km/h	3.12m	1.30m
정확치	60.00km/h	3.20m	1.30m
오차율	1.3%	2.5%	0.0%

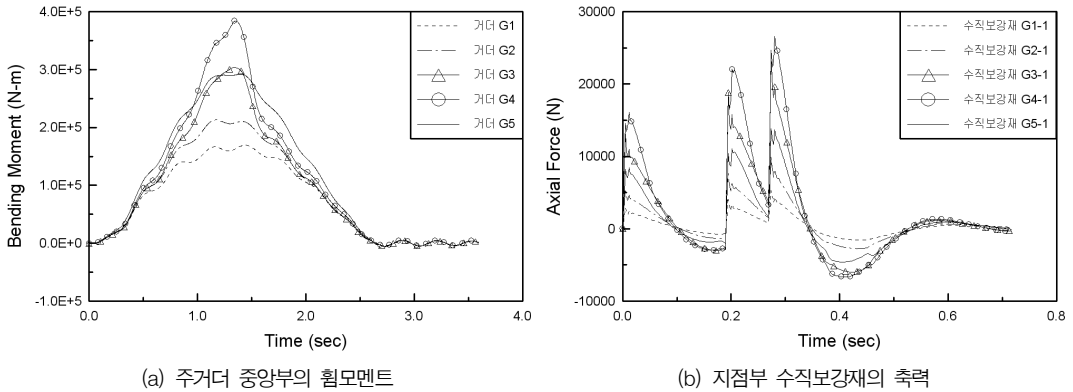


Fig. 8 주거더와 수직보강재의 시간이력곡선(2차로 중앙, V=60km/h)

Table 3 주거더와 수직보강재의 최대 응답(2차로 중앙, V=60km/h)

구 분	G1	G2	G3	G4	G5
주거더 휨모멘트 (N·m)	169,300 (0.44)	213,000 (0.55)	303,700 (0.79)	384,300 (1.00)	292,200 (0.76)
수직보강재 축력 (N)	5,270 (0.20)	9,962 (0.37)	23,870 (0.90)	26,610 (1.00)	13,860 (0.52)

3/0.1824=16.45m/sec (=59.22km/h)가 된다. 또한, 수직보강재 G4-1의 전륜과 중륜에 의한 피크의 시간간격이 0.1896sec, 중륜과 후륜의 통과시간간격이 0.0792sec이므로 전륜과 중륜의 축간거리는 0.1896×16.45=3.12m, 중륜과 후륜의 축간거리는 0.0792×16.45=1.30m로 계산된다. 이상의 계산결과는 실제의 주행속도 및 축간거리와 최대 3% 미만의 오차를 가지고 일치하며, 이로부터 수직보강재와 같이 영향선의 길이가 짧은 부재의 응답을 이용하여 주행차량의 속도 및 축간거리를 비교적 높은 정확성을 가지고 추정할 수 있음을 알 수 있다. 이상의 계

산결과를 Table 2에 정리하여 나타내었다.

3.3 주행차로의 검지

차량이 60km/h의 속도로 해석대상 교량의 2차로(G3과 G5 사이)를 통과할 때 얻어진 각 주거더의 중앙부 휨모멘트 및 거더별 수직보강재(지점에서 0.2m 이격된 위치)의 시간이력곡선은 Fig. 8과 같으며, Table 3에는 주거더 중앙부 및 수직보강재의 최대 응답을 정리하여 나타내었다.

Fig. 8과 Table 3에 나타난 바와 같이, 차량

이 2차로 중앙을 주행하는 경우에 주행차량이 주거터에 미치는 영향은 G4가 가장 크고 G3, G5, G2, G1의 순서로 작아진다는 것을 알 수 있다. 이상의 사실로부터 수직보강재의 축력뿐만 아니라 주거터 중앙부의 휨모멘트도 차량이 주행한 차로의 검지가 가능하다고 평가할 수 있다. 그러나, 주행차량의 중량 계측을 목적으로 하는 BWIM 시스템은 차로 검지가 가장 우선적으로 선행된 후 축간거리 추정을 통해 차량종류를 판별하고, 그 후 축중 및 총중량을 산정하는 것이 기본적인 흐름이라는 점을 감안하면 주거터 중앙부의 휨모멘트 보다는 수직보강재의 축력이 주행차량의 차로검지에 보다 적합하다고 판단된다. 그 이유는 주거터 중앙부의 휨모멘트를 이용하여 주행차로를 검지하기 위해서는 차량이 교량의 중앙부를 통과할 때 비로소 가능하지만 앞서 언급한 바와 같이 주행차로의 검지는 가장 먼저, 즉 차량이 교량을 진입하는 시점에 이루어져야 하기 때문이다. 또한, Table 3에 나타낸 최대 응답에 대한 각 거터별 응답비를 살펴보면, 주거터 중앙부의 휨모멘트에 비해 수직보강재의 축력이 주행차로 쪽으로 집중되어 발생한다는 것을 알 수 있다. 따라서, 차량의 주행차로 검지는 영향선의 길이가 긴 부재보다는 수직보강재와

같이 영향선의 길이가 짧은 부재가 적합하며, 일상적인 공용조건하에서 측정을 통해 각 거터에 설치된 수직보강재의 응답이 얻어지면 응답의 크기를 상호간 비교함으로써 차량이 주행한 차로를 용이하게 검지할 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.4 주행차량의 중량 추정

축중 및 축간거리가 기지인 시험차량이 해석 대상 교량의 1차로를 60km/h의 속도로 주행할 때 얻어진 주거터의 변형률 시간이력곡선을 2.2절에서 기술한 방법에 의해 주거터의 영향선을 산정하였다. 주거터 1 및 주거터 2에 대해 계산한 차축별 영향선을 Fig. 9에 나타내었다. 기지의 제원을 갖는 시험차량에 대해 산정한 차축별 영향선을 살펴보면 차축 위치에 따라 시간적 편차는 있지만 각각의 축에 의한 영향선의 형태는 동일하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6의 제원을 갖는 3축의 덤프트럭이 1차로 및 2차로를 주행할 때 얻어진 변형률 시간이력곡선과 시험차량에 의한 각 거터별 영향선을 이용하여 추정된 축중 및 전체중량을 Table 4에 정리하여 나타내었다. Table 4에 의하면 축중에 대한 오차율은 약 2~6%, 총 중량에 대한 최대

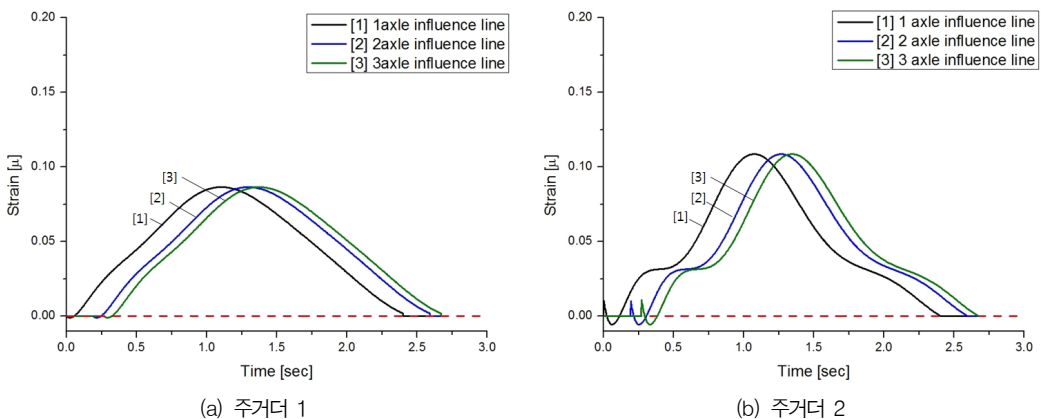


Fig. 9 주거터의 차축별 영향선

Table 4 주행차량의 중량 추정결과 및 오차

구 분		측 중량(kN)			총중량(kN)
		전륜	중륜	후륜	
실제중량		76	120	120	316
추정중량	1차로 주행시	80.24 (5.58%)	114.54 (-4.45%)	112.95 (2.46%)	317.73 (0.55%)
	2차로 주행시	80.37 (5.76%)	114.37 (-4.69%)	123.04 (2.53%)	317.78 (0.56%)

※()안의 수치는 실제중량에 대한 추정중량의 오차율

오차율은 1% 미만으로 나타나 본 기사에서 제안하는 기법은 상당히 높은 정도를 가지고 주행차량의 축중 및 중량을 추정할 수 있음을 알 수 있다.

4. 맺음말

본 기사에서는 영향선의 길이가 긴 부재 및 영향선의 길이가 짧은 부재의 응답특성을 이용하여 주행차량의 속도, 축간거리 및 중량을 추정하는 기법에 대해 소개하였다. 단경간 강합성 플레이트 거더교에 대한 수치해석 예제를 통해 제안된 기법의 기본 알고리즘에 대한 적정성을 검증

하였다.

본 기사에서는 단일 차량 주행시에 대해서만 검토하였으나, 실제 상황은 다양한 변수, 예를 들면, 연행, 병행, 주행차량의 동하중 효과, 온도 하중의 효과, 측정 오차 등에 의해 영향을 받으므로 본 기법이 BWIM 시스템으로서 구축되기 위해서는 앞서 언급한 항목에 대한 다각적인 검토가 필요하고, 이에 대한 연구가 진행중에 있다.

담당 편집위원: 박철우
(강원대학교 토목공학과 교수)
tigerpark@kangwon.ac.kr