차량 율하중에 대한 LOOP이음 프리캐스트 바닥판의 가속도 특성분석

Estimation of Acceleration factor for Tracking Test Machine and Loop type Precast Deck

성익현* · 이규세**

Sung, Ik Hyun · Yi, Gyu Sei

Abstract

This Paper presented in the behavior of Loop connected Precast panels under the Tracking machine with real truck tire. For this purpose a wheel tracking machine and adequate precast concrete deck single span bridge are designed. For the purpose of dynamic behavior in the precast panels, at first we take moving vehicle's longitudinal displacement data, and make estimated acceleration factor for test specimen. Results presented in this paper show that interaction between vehicle and structure produce additional dynamic effects of structure and various motion of traffic loading cases on the deck.

Key words : real truck tire, loading acceleration, structural acceleration, precast panels

요 지

교량 위를 지나는 차량하중에 의한 동적영향을 파악하기 위하여 바닥판을 프리캐스트로 제작하여 루프이음으로 연결한 단순 교의 영향을 실험적으로 분석하였다. 그 중 시간이력해석 및 동적해석의 기초자료가 되는 가속도를 파악하여 분석하므로 실험차량에 대한 구조물의 동적응답을 통하여 국부적 영향과 특히 이동질량의 동적영향을 파악하는데 매우 중요한 실험이 됨을 알 수 있었다.

핵심용어 : 프리캐스트, 루프이음, 주행 가속도, 동적응답, 이동질량

1. 서 론

구조물 거동에 대한 주요 인자는 구조물 사하중 및 활하중에 의한 응답으로 정적인자와 동적인자로 구분할 수 있는데 사하중에 의한 정적응답은 일정한 값으로 예측 가능한 비교적 간단한 변수로 두어 판단이 가능하나 활하중에 대한 응답은 대상 방법에 따라 매우 많은 다양한 인자를 모두 파악하기에는 어려움이 있어 지금도 지속적으로 연구되어지고 있는 상태이다. 본 연구에서는 이러한 동적응답을 얻고자 차량의 이동모델이 가능한 트랙시험기를 제작하여 단순교량 형식의 바닥판을 프리캐스트 조각으로 연결하여 제작하고 그 위를 실제 자동차 타이어를 가진 시험 중량차량이 왕복 주행함에 따라 타이어의 탄성력으로 인한 주행 중 진동이 미치는 영향을 보다 실제 이동차량의 움직임을 나타낼 수 있도록 구성하였다. 교량 위를 운행하는 차량이 교량의 바닥판에 미치는 영향중 동적 인자를 파악하기 위해서 일반적으로 교량의 고

유 진동수에 대한 차량의 진동을 고려하여 설계된다. 그러나 각각의 진동수를 파악하여 연관성을 찾기에는 어려움이 있으며 특히 연결된 구조물의 각각에 대한 진동수를 이용하여 구조물의 국부적인 결함에 대하여 파악하기에는 한계가 있다. 이는 전체 구조물의 지배 진동수와 초기 최저차 모우드를 중첩하여 계산하는 과정이 세부 구조에 대하여 따로 분석해야 되는 불편함이 있고 다양한 부재의 거동을 모두 체크하기에는 어렵다는 의미이기도 하다. 한편으로 교량의 건전성과 사용성은 또한 교량전체의 동적응답 보다 국부 파손에서부터 점차 전체구조물에 미치는 영향은 장기적으로 볼 때 충분히 파악해야 될 의미가 있다. 따라서 연구를 통하여 국부영향을 미치는 인자를 파악하고자 일반적으로 운행 시 사용되는 중간크기의 트럭 타이어를 장착한 44.1 kN 규모의 중간 차량을 시험차량으로 정하고 왕복운동을 하도록 설정하여 타이어의 탄성이 동하중으로 작용하는 구조물 및 시험차량의 관계를 파악하고자 하였다. 특히 바닥판의 균열 및 응력상태에 따라

*정 회원 · 한서대학교 토목공학과 교수 (E-mail : iksung@hanseo.ac.kr)

**정 회원 · 선문대학교 토목공학과 교수 (교신저자)

설계단계에서 문제없이 제작된 시험편이 동적하중 하에서 발생하는 결함을 파악하여 이에 대한 원인을 추정하는 것은 실제 구조물의 시공에 많은 기본적인 자료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 시험을 통하여 먼저, 연구의 범위를 제한하여 시험기와 바닥판시험체간에 대한 상호관계를 분석하고 시험편에 대한 가속도를 산정함으로써 추후 탄성 타이어가 교량 바닥판에 미치는 동적영향을 해석에 적용하기 위한 자료를 파악 하고자 하였다.

2. 시험방법

2.1 시험체 구성

시험체는 크게 이동가력이 가능하도록 크랭크에 연결되어 왕복운동을 하면서 가력부에는 트럭에 직접 사용되는 타이어를 장착하여 실제 주행차량하중의 영향을 시험 바닥판에 전달할 수 있도록 하였고, 교량 바닥판위를 주행하여 주행하중의 동적 특성을 파악하고자 바닥판은 양단에 거더로 지지된 단순지지 교량에 프리캐스트 바닥판을 3개의 패널을 부착하여 구성하였다. 이 중 부착하는 방식을 2가지로 하여 바닥판의 구성에서 주행하중에 대한 거동을 비교하고자 하였다.

2.2 시험 바닥판 비교

시험 바닥판은 프리캐스트 패널로 이루어졌으며 각각 패널에는 바닥의 200×200 H-Beam주형을 양단에 두고 거더와 패널간의 부착을 위하여 베딩모르터를 타설하였고 거더와 패널간의 전단연결을 위하여 전단 포켓을 두고 M16 볼트를

그림 1. 프리캐스트 패널간 F2F이음

그림 2. 프리캐스트 패널간 루프 이음

STUD로 사용하여 패널과 거더를 연결하였다. 또한 패널과 패널간의 연결을 위한 이음방법으로는 그림 1과 같은 전단연결을 위주로 전단면적에 걸쳐 강한 무 수축 모르터를 채워 넣어 연결하는 F2F(Female-To-Female)방식의 이음을 채택하고, 두 번째로는 프리캐스트 바닥판 상호간의 이음부를 루프형 철근 겹 이음에 의해 연속 일체화하는 현장타설 이음공법이며 채움 콘크리트로는 수축보상을 목적으로 한 팽창콘크리트가 사용되는 형식인 루프철근이음은 최근에는 국내에서 서해대교의 프리캐스트 바닥판의 이음에 사용된 적이 있는 방식으로 본 연구에서 같이 적용하여 비교하였다.

2.3 시험장치(가력장비)

시험기의 구성은 시험편 내·외측에 시험차량의 타이어가 직진하며 주행하다가 방향을 바꾸기 위하여 속도를 줄이도록 타이어를 내밀고 당기는 과정에서의 충격량 및 충격하중을 줄이고자 약 5%의 상향구배를 둔 가이드를 설치하였다. 따라서 45 kN의 중량을 갖는 하중가력 시험차량이 진행상태에서 시험용 바닥판을 지나게 되면 이후 가이드를 진입하여 정지하게 되고 다시 방향을 바꾸어 시험용 바닥판에 재 진입하게 된다. 이는 크랭크를 가진 시험방법에서 일반 트럭용 고무타이어를 장착한 시험용 차량의 경우에 정지 후 방향전환 때 큰 폭의 상하진동을 갖게 되는데 본 연구에서는 이러한 현상을 주행하는 차량의 급제동 혹은 정차 후 급출발 등의 하중 변동조건으로 고려할 수 있다고 생각하였다. 이러한 특징은 하중이 항상 누르는 상태에 있다는 가정 하에서는 고려할 수

그림 3 시험장치 대차 전경

그림 4 시험장치 구성 설명

없는 부분이며 오히려 국부적인 결합발생요인은 설계하중에서 고려하기 어려운 실제 주행하는 차량의 거동에서 발생되는 경우가 많으므로 시험장치의 구성 역시 이러한 실험차량의 움직임을 그대로 구현하도록 제작하였다. 그림 3에서는 크랭크 축에 연결된 타이어를 장착한 가력장치(대차)의 형상을 볼 수 있으며 장치의 구성에 대하여는 그림 4와 같이 크랭크 방향으로 왕복운동을 하도록 구성되었다.

2.4 타이어 압력분포 측정

차량의 타이어에 대한 접지면의 압력분포는 일반적으로 일정한 것으로 가정하여 설계에 반영한다. 그러나 실제 타이어 압력이 일정하지 않다면 설계하중과 다른 거동을 할 것이고 이것은 추후에 국부적 결합발생 요인으로 작용할 것으로 생각되며, 본 연구에서는 이러한 특징을 감안하여 실제 포장위를 지나는 타이어 불 균일 압력에 의한 포장파손의 사례를 고려한 방법으로 타이어의 압력분포를 6개 구간으로 나누어 그림 6에서와 같이 10 kN 압력을 지지하는 로드셀 6개를 1 세트로 하여 타이어를 그 위에 재하시켜 각각의 로드셀이 받는 압력의 크기를 측정하여 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 5는 타이어의 압력을 측정하는 과정을 보여준 것이다.

그림 5 종방향 횡방향 압력분포 측정

그림 6 타이어 압력분포 측정용 로드셀

3. 실험 차량 주행 가속도

3.1 패널 가속도 (변위 - 가속도 특성)

3개의 패널로 구성된 시험바닥판에서 각각 시험장치인 대차를 연결한 크랭크내측부터 시험기 외측방향으로의 각 패널에 대하여 변위시간의 그래프를 구성하였다. 가속도를 구하기 위해 한 점에 부착된 가속도계로 측정된 값만으로는 이동하는 차량 및 각각의 연결된 바닥판과 패널구성간의 가속도 특성을 모두 판단할 수 없다. 따라서 가속도를 구하고자 차량에 이동방향으로 변위를 모두 측정하고 각 패널에 부착된 가속도계를 이용하여 차량은 물론 패널의 가속도를 모두 파악할 수 있도록 실험 하였다. 시험 가력장치인 45 kN 중량을 가진 4개 바퀴로 구성된 시험차량의 방향 전환 시 충격을 줄이기 위하여 5%의 상향 구배를 둔 가이드 판을 2개 바퀴가 진출입을 하게 되는 시험기 동작을 생각해보면 초기 변위가 직선이 아닌 상향으로 올라갔다 내려오는 구배형태를 나타낼 수 있다. 그림 7과 그림 9 및 그림 11에서 볼 수 있는 바와 같이 시험기 내측방향과 외측방향에 같은 구배임에도 구배의 차이가 나타나는 것은 시험차량의 타이어가 움직임에 따라 시험패널이 처짐을 동시에 나타내게 되므로 하향 처짐에 상향 구배가 내외측에 차이를 보이는 것으로 판단된다.

그림 7. 1번 패널 시간-변위

그림 8. 1번 패널 시간-가속도

표 1. 6개의 로드셀로 측정된 타이어 압력분포

구분	1	2	3	4	5	6	합계	목표재하하중	오차 (%)
전륜	0.175	0.168	0.166	0.189	0.165	0.171	1.034	1.000	3.4
후륜	0.178	0.169	0.163	0.173	0.181	0.169	1.033	1.000	3.3

그림 9. 2번 패널 시간-변위

그림 12. 3번 패널 시간-가속도

그림 10. 2번 패널 시간-가속도

그림 11. 3번 패널 시간-변위

처짐의 양상은 시험편 표면의 노면조도 영향으로 다소 상하진폭이 크며 특히 시험차량의 방향전환 시 충격에 의한 시험편 진동이 나타나고 있다. 이는 실제 교량상판에서 중 차량의 제동 및 주행 중에 발생하는 노면조도 영향에 의한 진동형태와 유사하며 본 연구에서는 이에 대한 효과를 포함하여 실험차량이 교량 상판에 미치는 영향을 시험에서 포함하여 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 특히 획득할 수 있는 데이터가 많은 단점이 있으나 이동하중효과에 이동질량의 효과를 같이 파악하므로 인하여 추후 실제 주행차량이 교량 바닥판에 줄 수 있는 거동을 실험실에서 파악하여 노면의 균열과 국부 부재의 이상 변형에 대한 기초적인 원인을 파악하는데 보다 가까운 시험이 될 수 있었다. 그림 9와 그림 10에서 중간패널의 시간-처짐 관계는 차량의 타이어가 2번째 중간패널을 지나는 과정에서의 처짐을 나타낸다. 그림 7, 9, 11에서의 가는 실선은 바닥판의 처짐에 대한 시험차량의 운동과정 평균궤적을 표시하였다. 중간 패널은 정모멘트 최대구간

이므로 하향의 완만한 곡선을 이루고 있음을 보여준다. 그림 11은 패널의 첫 번째로 차량의 진행시 타이어의 탄성효과 및 내측 가이드를 통과하면서 구배를 통과하므로 처짐의 형상이 3차 곡선을 이루게 됨을 볼 수 있다. 그림 8, 10, 12는 각 패널의 중앙지점을 기준으로 가속도를 나타내었다. 여기서 3번 패널의 가속도는 최대 2.5~3G의 대역을 보임을 알 수 있다.

3.2 실험 주행차량의 변위 - 가속도 관계

그림 13부터 그림 16은 각각 재하차량의 앞바퀴와 뒷바퀴의 연직변위, 전륜과 후륜에 대한 실험차량주행가속도를 나타낸다. 연직 하(下)방향을 (-)의 부호로 표현하였으며 실험차량이 주행방향 전환 후 시험의 최 외측 패널부터 중앙부 패널을 지나 반대편 최 외측 패널로 주행하는 경우를 나타냈다. 그림 15와 그림 16의 실험차량주행가속도는 범용해석프로그램을 이용하여 차량-교량 간 상호작용이 포함된 해석이 가능하도록 윤하중 반복주행실험 중 차량의 전륜 및 후륜의 연직

그림 13. 차량전륜의 연직변위

그림 14. 차량후륜의 연직변위

그림 15. 전륜 주행가속도

그림 16. 후륜 주행가속도

처짐을 측정하고 이를 각각의 재하차량의 전륜 및 후륜의 연직가속도로 변환한 것이다.

그림 13과 그림 14의 경우 차량-교량 상호작용에 의해 연직 하 방향과 상 방향 움직임을 번갈아 나타낸다. 방향전환 후 1초까지의 상하방향의 반복횟수는 1초 이후의 반복횟수보다 빠르며 주행이 진행됨에 따라 연직 하 방향과 상 방향 움직임을 감소한다. 전륜의 경우 방향전환 후 1초까지는 최대 -28 mm부터 +26 mm의 범위이며(그림 13) 후륜의 경우는 최대 -28 mm에서부터 +19 mm의 범위이다(그림 14). 1초 이후는 전륜의 경우 최대 -5 mm에서 +6 mm의 범위이며 후륜의 경우 최대 -3 mm에서 +4 mm 범위이다. 재하차량의 정적 재하량은 전륜부에 전체재하량의 65%가 재하되며 후륜에 35%가 재하되었다.

그림 15와 그림 16에 변환된 실험차량주행가속도가 나타나 있다. 연직 처짐의 경향과 같이 방향전환 후 1초까지 상하방향의 반복횟수가 1초 이후의 반복횟수보다 빠르며, 시간에 따라 점차 감소하는 경향을 보인다. 전륜의 경우 방향전환 후 1초까지는 최대 -10.2 g부터 +16.1 g의 범위이며(그림 15) 후륜의 경우는 최대 -2.5 g에서부터 +2.0 g의 범위이다.(그림 16) 1초 이후는 전륜의 경우 최대 -0.06 g에서 +0.2 g의 범위이며 후륜의 경우 최대 -0.15 g에서 +0.3 g의 범위이다.

차량 변위와 가속도 모두 재하방향과 일치하는 연직하방향의 반응과 더불어서 차량-교량 상호작용에 의한 연직 상 방향 반응이 발생함을 알 수 있으며 특히 전륜 및 후륜의 가속도의 경우 방향 전환 후 1초까지의 범위에서는 전륜의 경우 연직 하 방향에 비해 최대 156%, 후륜의 경우 최대 80%로 나타났다. 차량-교량 상호작용이 발생하는 경우 재하하중인 실험차량에도 재하방향과 상이한 반응이 나타남을 알 수 있었고 따라서 시편에서도 재하방향과 상이한 방향의 반응도 예측이 가능했다.

3.3 전체 바닥판의 주행 가속도 비교

시험편의 총 길이 402 cm에 대하여 가이드 진출입 거리 270 cm를 포함한 전체 시험차량 주행거리에 대한 패널전체 가속도를 비교하였다. 그림 17에서 전반부 패널의 가속도는 방향 전환을 통하여 타이어가 정지 후 후진하는 과정에서 타이어의 뒷부분이 강한 압력을 받고 되튀기는 현상이 발생되어 비교적 가속도의 범위가 커지는 현상을 볼 수 있다.

4. 결과 및 분석

4.1 실험 차량 특성가속도를 이용한 해석

3.2절에서 언급된 바와 같이 측정된 실험차량주행가속도를 적용한 범용해석과 이동질량이론을 적용한 해석을 수행하였다. 표 2에 해석조건이 나타나 있다. 이동질량이론을 적용한 해석은 analysis 1로 표현하였고, 실험차량주행가속도를 적용한 해석은 analysis 2로 나타내었다. 그림 16에 범용해석프로그램을 이용한 해석에 사용된 모델이 나타나 있다. 범용 구조

그림 17. 전체패널에 대한 가속도-거리

표 2. 해석조건

항목	해석조건
하중	2축 이동질량 (analysis 1) 실동차량주행가속도 (analysis 2)
계산거리	3.4 m (± 1.7 m)
콘크리트강도	28 MPa(상판) 40 MPa(연결부 및 베딩층)
차량정적하중	44.1 kN (analysis 1)

그림 18. 해석모델

그림 19. 해석결과비교(중양부처짐)

그림 20. 해석결과비교(중양부가속도)

해석 프로그램인 LUSAS를 사용하였고, 탄성영역에서 해석을 수행하였다. 해석 모델의 상판 및 거더는 3차원 쉘 요소를 적용하였고 상판과 거더는 완전합성으로 가정하여 constraint equation 옵션을 이용하였다.

그림 19부터 그림 20은 차량-교량 상호작용을 포함한 이동 질량이론을 적용한 해석결과 및 3.2절의 실동차량주행가속도를 적용한 해석 결과와 시험기를 이용한 이동질량실험결과와의 비교이다.

차량주행상황을 합리적으로 해석할 수 있다고 알려진 이동

질량 이론을 적용한 해석결과 및 시험기를 이용한 윤하중 반복재하실험의 결과와 실동차량주행가속도를 적용한 해석결과를 비교하여 본 연구에 사용된 실동차량주행가속도를 적용한 해석방법의 합리성을 검증하였다. 그림 19에 시편 패널 중앙부 처짐이 나타났으며, 그림 20은 시편중앙부의 연직가속도이다. 각각 0을 기준으로 재하방향과 일치하는 연직 하(下) 방향을 (-)의 부호로 표현하였다. 이동질량이론을 적용한 해석 결과는 analysis 1로 표현하였고, 실동차량주행가속도를 적용한 시간이력해석결과는 analysis 2로 나타내었다.

4.2 가속도의 동적특성

시편중앙부 처짐에 대한 범위는 시험결과에서는 -2.6 mm부터 +1.2 mm와 -3.4 mm부터 +2.2 mm로 나타났으며 이동 질량이론을 적용한 해석결과에서는 -2.3 mm부터 +1.2 mm 및 -2.4 mm부터 +2.2 mm로 나타났다. 실동차량주행가속도를 적용한 해석결과에서는 -3.0 mm부터 +0.8 mm와 -3.3 mm부터 +2.5 mm로 나타났다. 시편중앙부 연직가속도의 경우는 시험 결과에서는 -0.10 g부터 +0.06 g와 -0.03 g 부터 +0.08 g의 범위로 나타났으며 이동질량이론을 적용한 해석결과에서는 -0.03 g부터 +0.03 g와 -0.03 g부터 +0.05 g로 나타났다. 실동차량주행가속도를 적용한 해석결과에서는 -0.04 g부터 +0.07 g 및 -0.02 g부터 +0.09 g로 나타났다. 시편중앙부 처짐 범위는 실험결과와 해석결과가 거의 일치하는 경향을 나타냈다. 가속도의 경우 최대 약 2배의 차이를 보이는 구간이 나타났으나 이러한 특정부분 이외의 경우 대체로 동일한 범위 내에서의 해석결과와 실험결과가 잘 일치함을 알 수 있었다. 이러한 특정구간의 차이는 해석조건 및 실험조건의 차이에 의한 것으로 판단되며 실험결과와 해석결과는 대체로 일치함을 알 수 있었다. 또한 이동질량이론을 적용한 해석결과와 실동차량주행가속도를 이용한 해석결과는 차이를 보이는 구간이 나타나지 않고 대체로 일치함을 알 수 있었다. 이를 통하여 본 연구에 사용된 실동차량주행가속도를 이용한 범용해석은 실제차량주행상황을 합리적으로 표현할 수 있다고 판단되었다.

5. 결 론

본 연구에서 파악 할 수 있었던 부분을 분석하고 정리하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 실동 차량의 거동을 비교적 잘 모사할 수 있다. 일반적으로 차량과 교량의 상호 거동을 분석하기 위하여 이동 하중의 개념을 도입하나 이는 철도차량과 같은 철제의 바퀴가 레일 위를 진행하는 경우에 비교적 일치하고 도로를 주행하는 중 차량과 같이 고무타이어 바퀴를 갖고 노면조도를 갖는 바닥을 주행할 때에는 가속 및 감속의 영향과 타이어의 탄성 진동영향을 고려하기가 어렵게 된다. 본 연구에서는 이러한 타이어의 주행을 통하여 탄성 진동영향이 포함된 동적 응답을 얻을 수 있었다.
- 2) 현재에는 과거와 다르게 기술의 발전이 급속하게 진행되므로 교량 위를 통행하는 차량의 중량 및 진행속도증가 등으로 인하여 많은 축을 가진 중량 차량이 증가하는

추세이다. 따라서 증가된 하중을 지지하는 타이어가 노면에 작용하는 현상을 단순히 중량재하로 판단하는 것은 늘어나는 교통량이 구조물에 미치는 영향에 대한 분석 측면에서는 미흡하다는 의견이다. 본 연구에서 중량 이외의 동적하중 진행상태를 분석하기 위한 가속도를 제시함으로써 인하여 향후 중 차량에 대한 동적효과를 분석하는데 기초적인 방법으로 제시될 수 있다.

- 3) 가속도의 값을 측정한 결과 초기와 중간단계에 가속도의 증가치를 볼 수 있으며 이를 참고로 교량 바닥판의 질량에 가속도의 크기가 곱해지면 하중의 크기가 매우 커지는 단계에 이르게 된다. 물론 지속시간의 문제이기도 하지만 때로는 국부파괴의 발생에 영향을 줄 수 있음을 판단하는 증거가 될 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

김중현, 성익현, 김상철, 김승익 (2007) 윤하중 실험기를 이용한 이동질량 실험, **대한토목학회 논문집**, 제27권, 제6A호.
 성익현 (2010) 윤하중 시험기를 이용한 프리캐스트 바닥판의 동적성능시험, **한국산학기술학회 논문집**, 제11권, 제2호.
 이윤석 (2002) **단순보 교량의 교량-차량 상호작용에 대한 인자연구**, 서울대학교 학위논문.
 최규용 (2000.2.) **프리캐스트 바닥판 합성형교량의 장기거동**, 서울대학교 논문.
 홍준표, 도영수, 김광우 (2005) 역청콘크리트 반복주행시험에서

고무바퀴와 강재바퀴의 신뢰성 비교연구, **한국도로학회 논문집**, 제7권, 제2호, pp. 97-107.
 AASHTO LRFD Bridge Design Specification (1998) Live Load Distribution Factor for a Three Span Continuous Precast Girder Bridge, 2nd Edition.
 Chang, P.S. and Chang, S.S. (2001) Continuous Composite Bridges with Precast Decks, Steel Structures I, pp. 123-132.
 Culmo, P. M. (2000) Rapid Bridge Deck Replacement Using Full Depth Precast Concrete Slabs, Paper No., TRB00-1220.
 FHWA (2000) The Feasibility of Using Precast Concrete Panels to Expedite Highway Pavement Construction, Rep. No. FHWA/Tx-01/1517-1.
 Hargett, Emil R. (1970) Prestressed Concrete Panels for Pavement Construction, PCI Journal, pp. 43-49.
 P. Benson Shing and Kerri Anne Borli (2003) Evaluation of a bridge deck with CFRP Prestressed Panels under Fatigue Load Cycles, REP. NO. CDOT-DTD-R-2003-11.
 Talley, N. (1998) Design of Modern Highway Bridges, McGraw-Hill, New York.
 Virginia Transportation Research Council (2004) Structural Load Testing and Flexure analysis of the Route 701 Bridge I Louisa county, virginia, VTRC 04-R12.
 Willy, F. Grimmke, Kyle, M. Vanderwater, (2004) Design, Fabrication, and Erection of Precast Concrete Deck Panels, Washington County.

◎ 논문접수일 : 11년 05월 11일
 ◎ 심사의뢰일 : 11년 05월 17일
 ◎ 심사완료일 : 11년 06월 29일