

교량 구조물 이동시스템의 평가 및 설계에 대한 요소역할적 관점과 전체적관점

Elementalistic and Holistic Views for the Evaluation and Design of Movement Systems for Structures



유 성 근*

교량 구조물의 이동시스템(joint, 베어링, 유연(flexible)부재, 유연지점 등)의 설계방법으로 요소역할적 관점(Elementalistic View)에 근거하여 설계를 수행하여 적지 않은 문제가 발생하는 경우가 있다. 특히 안전진단 수행시 손상이 발견된 구조물을 통하여 이러한 설계 및 시공의 오류를 여러번 경험하고 확인할 수 있다. 이와 같은 문제점은 설계자들이 구조물을 이루고 있는 개개의 요소들에 대한 세부설계에 몰입하여 각 요소의 기능을 조합하여 이해한 전체적 관점(Holistic View)의 접근방법을 인식하지 못하는 경우가 많기 때문이다. 그러므로 두 시각(요소적, 전체적)을 이용한 문제접근 방법은 특히 설계자가 의도하는 구조물의 이동장치계를 적절하게 구성, 결정하여 여러 요소의 복합체인 구조물에 예상되는 모든 단기, 장기이동을 만족시키게 할 수 있다. 실제적으로 설계업무와 교량시공을 담당하는 기술자는 상세 설계시 특히 이러한 능력이 매우 필요하다. 그러므로 두 관점에서 교량 이동부의 기동을 인식하여

노력하고 생각하는 기술자로서의 발전을 위하여 제 75회 미국 TRB 총회(Jan. 1996)에 소개된 Martin P. Burke Jr.의 Elementalistic and Holistic Views for the Evaluation and Design of Movement Systems for Structures 를 번역, 소개한다.

1. 서 론

본 논문은 최근 새롭게 재구성된 미국 Transportation Research Board(TRB)의 교량 joints와 베어링 소분과의 영향으로 작성하게 되었다. 이전에는 독립적인 두개의 소분과가 교량 joints와 베어링 분야에 관련하여 존재하였다. 두 개의 독립적 분과의 존재는 joints와 교좌장치를 교량에서 단일 이동시스템의 두 개의 조화를 이루는 측면보다는 구조적으로 독립적인 요소로서 취급하는 잘못된 합법성을 부여할 수 있음에 관하여 논쟁이 되어 왔다. 본 논문은 설계과정 중 요소역할적 관점에 기초하여 완성된 구조물이 이로 인하여 손상이 초래되었으나 만일 보충적으로 전체적

* 동아건설산업(주) 선임연구원, 공학박사

관점의 시각이 도입되었다면 구조물의 손상을 피할 수 있는 경우의 예제를 통하여 이러한 이견(異見, 1개 소분과와 2개 소분과 운영의 합당성)을 입증하기 위하여 작성되었다. 효과적인 교량설계는 설계과정 중의 요소역할적 관점과 전체적 관점의 상호보조관계로서 이루어진다. 단순한 정정구조물의 설계에서는 요소적 관점의 주된 적용이 적절할 수 있으나 전체적 관점에서의 시각은 구조물이 복잡해지고 부정정 차수가 증가함에 따라서 이에 대한 중요성을 인식할 수 있다. 설계를 확증하거나, 보조하기 위한 전체적 관점 없다면 구조물은 추후 사용중 부적절한 구조물로 판명될 수 있다. 중형교량의 경우 손상은 주로 구조물의 이동시스템과 밀접한 관련을 맺고 있다. 그림 1은 교량공학에서 전체 합성구조물과 분리되어 고려되는 요소들을 보여준다.

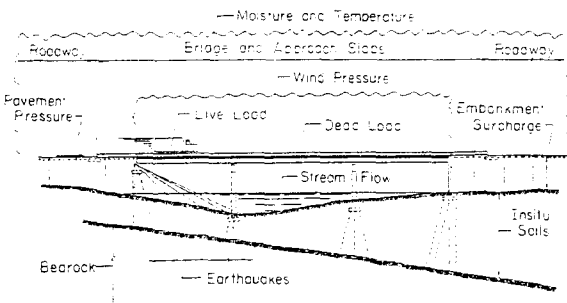


Fig.1 A composite structure(consisting of superstructure, piers, abutments, foundations, pavements, embankments, in situ subsoils, etc.).

2. 본 론

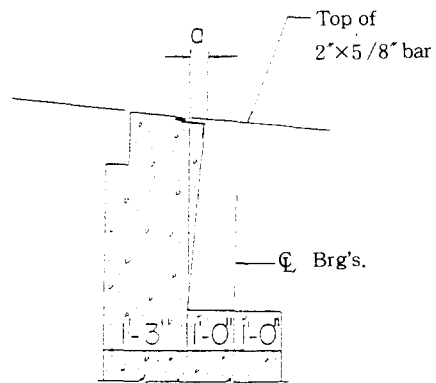
교량공학에서 중요하게 사용되는 요소적 관점의 명확한 예는 무수히 많다. 대표적인 예를 고려하면 다음과 같다.

(1) 관련서류/Documents)

교량의 베어링과 deck joint에 대한 제조업체의 제품 설명서와 주정부의 표준도면에는 이 부재들의 사용성 조합에 관련된 설명이 존재하지 않는다. 이와 같은 관련서류들은 joint와 베어링이 단

일 이동계 혹은 단일 이동시스템의 양면성을 지칭하는 단순한 이름이라는 것과 두 요소가 각 요소의 특성에 맞게 서로 조화를 이루어 사용되어야 하는 특성을 이해토록 하는데 도움을 제공하지 못하고 있다. 많은 경우에 있어 설계교과, 설계관행과 더불어서 관련서류들은 무의식적으로 교량공학자 혹은 기술자들이 joint와 교좌장치의 이동 및 지점의 통합적인 전체특성을 고려하기보다는 단순히 조건에 맞게 사용부재 요소를 고르고 상세설계를 실시하도록 한다. 그 결과 많은 구조물에서 사용되는 이동 장치요소들의 부적합은 구조물의 변형과 이동을 구속하는 사례가 많다.

(2) Deck joints, 베어링, 경사도(Grade)



Faces of backwall shall be sloped normal to grade where "a" exceeds 1/2"

Fig.2 Elementalism in the design of deck joints

그림 2는 deck joint와 베어링에 관련하여 가장 논란이 많은 요소적 관점에 기초한 설계의 대표적 사례중 하나이다. 주 표준도면에서 발췌된 위 그림은 급경사 도로에서 교대배면과 deck joint의 배치를 보여준다. 교좌의 위치가 도면에 표시되었지만 수평한 교좌위치를 보여주는 도면은 신중함 고려없이 작성된 것 같다. 요소적 관점에서 설계의 초점은 전체적인 교량의 이동시스템을 고려하지 않고 대신에 도로경사와 deck joint의 경사의 일치만을 고려한 것으로 보인다. 만일 그림 2의 구

조물에 그림 3a와 같은 슬라이딩 joint가 설치되었다면 상부구조의 신장에 의하여 joint 요소에 힘이 작용하고 노면과 평행하게 이동하는 상부구조를 이동베어링으로 부터 이격시킨다. 상부구조의 교축 교대방향 이동은 반력과 joint의 마찰력에 의하여 저항된다. 결과적으로 이동베어링은 하중을 지지할 수 없으며 상부구조의 이동에 대하여도 효과적으로 작동할 수 없다. 합리적인 설계라면 joint와 베어링은 구조물에서 발생 예측되는 이동을 두 장치의 조화를 이용하여 처리할 수 있도록 설계되어야 한다.

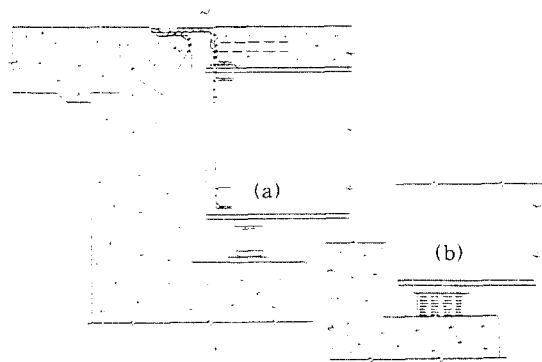


Fig.3 Compatible (a) and Incompatible (b) bearings and joints

(3) Deck joints와 베어링

슬라이딩 plate deck joint와 강 베어링을 가지는 연속교량의 차선증대로 인한 상판 확장공사 필요시 및 공용하중 증대에 따른 신설교량 설치시와 같이 이동장치부의 변경이 필수적인 경우, 잦은 오류가 발생된다. Deck joint 밑에 위치하는 베어링의 교체작업은 베어링 부식으로 인하여 필수적 작업이 된다. 당연히 설계자는 이러한 목적에 적합한 부식 저항성이 있는 그림 3b와 같은 elastomeric 베어링을 사용한다. 이러한 결정과정에서 rigid joints와 압축성 베어링이 사하중과 활하중의 작용에 의한 상대적 반응을 전체적 시각으로 관찰하는데 많은 실수를 한다. 만일 위와 같은 joint와 베어링의 조합을 사용하는 경우, 신설 콘크리트 상판은 베어링을 압축하게 되어 상부구조는 내려가게 된다. 그러나 이같은 상부구조의 변형은 교

대 배면 joint의 armor angles에 위치한 deck joint 베어링의 plate에 의하여 저항된다(그림 3a). 결과적으로 사하중과 활하중의 반력은 압축 베어링으로 전달되지 않고 joint 요소를 통하여 교대 배면에 작용된다. 이 같은 상황하의 elastomeric 베어링은 원 설계자의 의도대로의 작동을 정지하게 된다. 대신에 joint 요소의 마찰력과 함께 작용되는 상부구조의 단부반력은 교량의 종방향변형으로 교대배면에 균열을 유발하거나 점진적으로 교대를 끌어 당겨서 결국에는 교대배면과 상부구조의 간격을 없애지게 한다. 교량의 교좌장치와 이동 시스템의 역할을 고려한 적절한 joint와 베어링의 교체가 없다면 이와 같은 손상은 점진적으로 진행될 것이다.

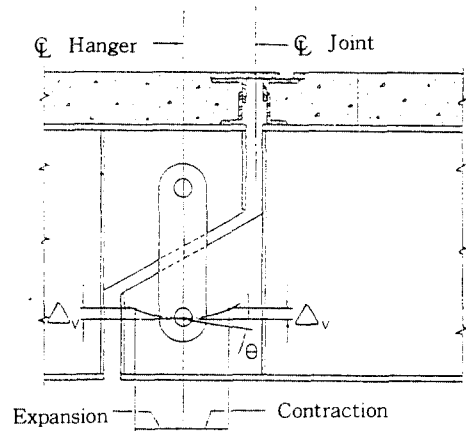


Fig.4 Deck joints and hangers

(4) Deck joints와 hangers

또 다른 유사한 예가 연속구조의 중간이동 deck joint를 인접한 강거더에 hanger를 이용하여 지지하는 교량형식에서 흔히 발견된다. 그림 4와 같은 suspended 거더의 상, 하부 핀에 의한 교량 종방향 온도신축(양방향)은 하부 핀을 중심으로 원주를 회전하면서 Δv 만큼의 수직변위를 유발한다.

슬라이딩 plate 혹은 finger plate type joint를 그림 4와 같이 사용할 경우, 종방향으로 발생하는 suspended 지간의 온도신축변위는 suspended 지간을 들어올리게 되고 따라서 캔틸레버 joint plat-

e도 상승된다. 수직변위에 대한 deck joint plate의 횡저항은 슬라이딩 표면에 압축력을 유도하고 plate 연결부에는 인장, plate에는 휨, hanger에는 비틀림, 그리고 핀에는 전단력을 발생한다. Joint의 압축력과 표면에 발생하는 마찰력은 suspended 지간의 온도신축 변형을 충분히 억제하며 이는 상부구조의 종방향 이동의 구속을 의미한다.

구속효과로 인하여 발생하는 종방향 힘은 고정 지점 혹은 교각에 전달된다. 이러한 상황은 joint plate가 먼저 설치되고 콘크리트 상판의 타설전에 거더에 강결되었다면 발생할 수 있다. 위치에 따라서 연결 plate의 맞음(fit)과 유연성, 하부 핀에 대한 suspended 지간의 회전각, 상판의 사하중 작용에 의한 회전각 등은 온도신축과 유사한 응력을 유발할 수 있다. 두 경우 모두 한 쪽의 deck joint 다른 쪽에 대하여 상향변형이 발생한다. 만일 joint plate가 이와 같은 변형을 구속한다면 결과적으로 joint의 파손이 발생하게 된다.

전체적 관점의 일체 합성구조물의 움직임은 볼 수 없다면 이동, 변형 등과 같은 부적절한 장치의 사용조합으로 인하여 발생하는 거동을 인식하지 못하게 된다. 다른 한편으로 전체적 관점에서의 세심한 관찰은 예상되는 구조물의 이동을 수용할 수 있는 시스템의 필요를 조절하고 그 특성을 파악할 수 있도록 한다.

(5) 곡률(Curvature)

곡선교량에서 deck joint의 curb plate와 도로의 곡률원점(orienting)을 결정하는 과정에서 많은 설계자들은 요소적인 관점에 입각하여 plate를 도로의 중심선과 평행하게 일치시킨다. 그러나 전체적 시각에서는 이동축은 지지 베어링의 이동방향 축과 평행하다.(그림 5) Joint 지지대(support bar)를 국부 중심선에 배치시키는 modular joint 제작업체에서 유사한 오류가 자주 발생된다. 곡선교의 경우는 교대 베어링이 구속되지 않는 한 교대이동 베어링과 상부구조의 중립점(neutral point) 사이의 중앙선과 평행하게 교축방향으로 이동한다(상부구조의 중립점은 종, 횡방향 이동의 중심을 지칭한다. 이 점은 일반적으로 교각의 고정 베

어링에 위치한다. 인접 교각간에 고정된 상부구조의 중립점은 교각의 상대 유연도와 베어링의 수평 이동저항에 의하여 결정되며 양고정 교각의 어느 점에 위치한다). 그림 5에서 같이 finger사이의 양측면 공간이 상부구조와 교대의 사이에 불일치된 이동 차이량을 허용하여도 같은 높이로 설치된 curb 혹은 barrier plate, 도로의 finger plate와 curb plate의 밀착은 curb plate가 깨어지고 변형될 때까지 지속적으로 구조물의 두 요소간의 불일치된 이동량을 구속한다.

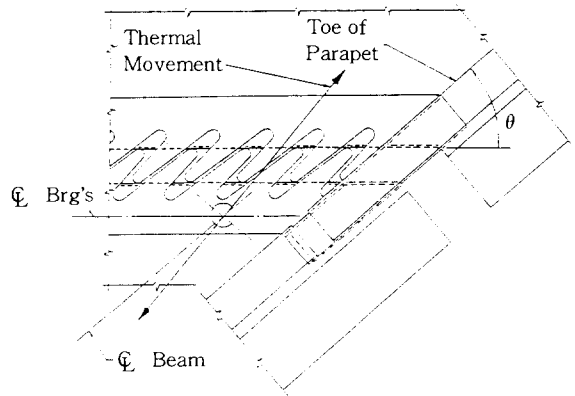


Fig.5 Misoriented joint plates of a curved structure

(6) 평면사각(Skew)

Deck 형태를 사용한 상부구조의 세로보와 같이 복잡하고 중요한 부재를 설계하는 과정은 설계측면에서 상부구조를 중요한 각각의 부재, 혹은 정역학적으로 분리된 부재의 집합체로 보고 있다.

이 과정은 설계자들이 복잡한 구조계를 대표하는 부재요소를 해석하고 적절한 구조특성을 설정하기 위하여 요소적 시각으로 간략화한 것이다.

AASHTO 설계규준은 격리된 세로보가 적절한 분량의 활하중을 분담할 수 있도록 활하중 분배계수를 적용함으로써 위의 요소적 관점의 시각을 합당화하고 있다. 이러한 시점은 설계 목적상 상판 슬라브와 세로보가 상부구조의 독립적인 부분으로 가정될 때 더욱 확실하게 나타난다. 위와 같은 가정 하에서 설계된 구조물은 특히 단기간 교량과 각이 적은 사교에서는 적절한 사용수명을 보여준

다. 그러나 장시간, 각이 큰 사교가 이러한 요소적 관점에 의하여 설계되는 경우는 구조적 변경과 많은 보수비용을 필요로 하게 된다.

전체적인 관점은 큰 각을 갖고 있는 사교의 뼈대구조 연결과 세로보 베어링의 거동을 고려 할 경우 매우 중요하다. 사교의 경우 사하중과 이동 하중의 재하로 유발되는 상부구조의 종, 횡방향 변형은 지점부에 집중적으로 뒤틀림 변형(distortion)으로 나타난다. 물론 연석과 난간은 상판 단부의 강성을 증대시켜 인접 상부구조의 변형에 영향을 미치지만 주로 구조시스템의 횡방향 하중 분배 부재와 인접된 사지점(Skewed support)의 stiffening 효과에 의하여 뒤틀림이 발생한다. 일체된 상부구조 시스템의 지점변형은 연결부에 직접적인 응력전달 경로가 없는 횡, 종, 부재간의 연결부에서 국부변형과 피로균열을 수반하게 된다.

이와 같이 발생하는 문제와 파괴를 예측하고 피하기 위하여 사교와 일체식 상부구조의 변형을 전체적 시각에서 주의깊은 관찰이 필요하고 특별히 대변형에 취약한 연결부는 더욱 세심한 주의를 요구한다.(주로, 횡부재 복부에 연결되고 하부 플랜지는 베어링에 의하여 구속되어 있는 외측 세로보의 복부) 전체적 시각의 관찰은 피로저항이 큰 연결부와 내구성이 탁월한 구조를 이룰 수 있게 한다.

사지점의 베어링에서 이동 차량하중에 의한 일체 상부구조 거동을 전체적 관점으로 관찰하면 사교 구조계는 요소적 관점에서의 세로보의 복부에 수직하는 축이 아니라 모든 하부구조의 베어링을 통과하는 축을 중심으로 회전하는 경향을 파악할 수 있다.(하부구조와 평행한 축) 결과적으로, 일반형식의 mechanical 베어링(rocker, bolster)을 사용하는 구조물에서 상부구조의 회전은 베어링의 선단의 하중작용, 세로보의 뒤틀림, 과대한 교량 지압응력을 유발한다. 납판이 장치되는 베어링의 경우는 rocker와 bolster 베어링에 작용되는 이와 같은 주기적인 하중으로 인하여 납판이 압축되어 퍼지게 되며 그림 6과 같은 형상으로 납판이 터져 나오게 된다.

즉 상부구조의 거동에 관련된 전체적 관점에서 의 지속적인 사고는 사교의 단점을 파악하게 하여

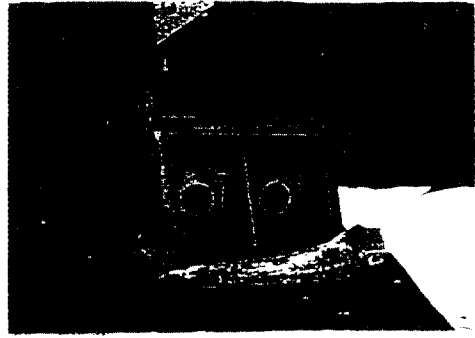


Fig.6 High bearing pressures manifested by extrusion of the sheet lead bearing pad. Note that the most extrusion(highest pressures) occurs at the front edge of this abutment bearing

일반 mechanical 베어링의 사용보다는 사교지점에서 비정상적인 회전을 쉽게 처리할 수 있는 elastomeric 혹은 compound 베어링을 사용하는 것이 합리적이라는 것을 알 수 있도록 한다.

(7) 교대변위

그림 1의 교량 구조물의 우측 교대 상세도는 그림 7과 같다. 설계 목적상 대부분의 기술자는 교대 구조물을 수직 사하중과 활하중, 토압에 의한 횡하중을 받으며 상부구조의 이동에 저항하는 힘을 받고 있는 교량과 분리된 구조물로 취급한다. 모든 하중과 토압에 기초하여 교대와 기초의 제원이 결정되고 기초의 지반 반력과 파일 하중이 규정된 값 이내인지를 확인하는 과정을 수행하게 된다. 교대의 완성 후, 교대가 상부구조에 대하여 종방향 변위를 발생하여 deck joint의 간격이 없어지고 세로보의 베어링에 편심하중이 작용되는 현상을 발견할 수 있다. 이동 deck joint는 습기, 온도, 크리이프 발생되는 변화를 상부구조가 수용하는 장치로서 간격이 없어진 deck joint는 joint와 베어링의 작용을 잘못 고려한 설계이다. 교과서적 이론과 설계법이 사용되고 교량의 설계시방 기준내의 하중, 외력과 응력을 사용함에 불구하고 이는 잘못된 설계이다.

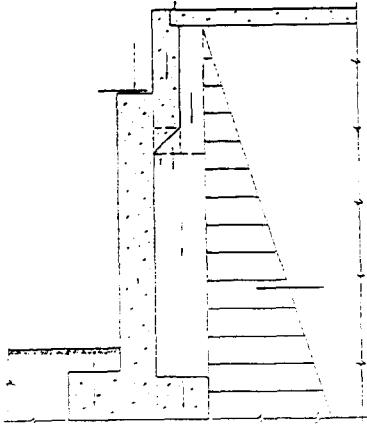


Fig.7 An elementalistic view during abutment design

적절한 교대의 설계와 deck joint 기능을 이루기 위하여는 복합구조(상부구조, 하부구조, 기초, 포장, 뒤채움, 토질 상태등)에 대한 체계적인 전체적 시각이 필요하다. 결과적으로 설계자는 시공 중, 시공후의 복합적 구조물의 변위(translation), 압밀(consolidation), 이동(movement)에 대한 거동을 형상화하고 인식하여야 한다. 예로서, 다음의 현상들은 교대이동과 설치된 deck joint와 베어링의 사용 적합성에 영향을 미친다.

- 주동토압에 의한 교대의 처짐
- 균일하지 않은 지반력과 파일기초에 의한 기울어짐
- 제방(embankment)아래 위치한 지반압밀에 의한 지반, 기초, 교대의 횡방향 변위
- 접속도로의 신축에 의한 증가하는 압력에 의한 교대의 횡처짐 변위

이와 같은 다양한 현상들의 특성을 고려한 전체적 관점의 시각을 이용하여 설계자는 완성된 교대, deck joint, 베어링 등이 설계시 머리속에 형상화 하였던 구조물과 같도록 설계시 다음 각 사항들을 제공하여야 한다.

- 파일관입 작업 전 현장의 흙의 압밀을 유도하기 위한 제방설치.
- 실제적으로 제방의 압밀, 교대기초 설치전의 기초지반의 압밀과 이동을 최적화하기 위하여 제방 완공 후 유예시간의 설정.

- 기초지반의 압밀과 변위를 촉진시키기 위한 단기 상재하중의 제방 위 상재.
 - 교대배면과 베어링 설치 전 교대를 교좌장치 높이까지 건설하고 뒤채움재를 노상까지 실시하여 교대의 처짐을 유도하는 작업.
 - 교량 접속부에 효과적인 압력제거(pressure relief)장치를 설치한다.
- 위의 사항의 적용은 시공 도중, 이후에 발생하는 교대의 이동을 최소화할 수 있다.

(8) 지점침하(Settlement)

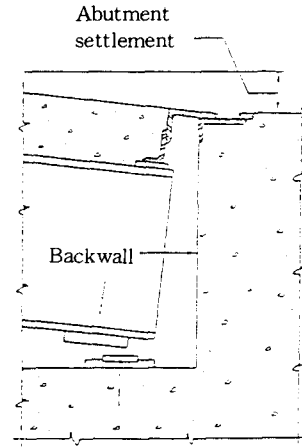


Fig.8 Joints, bearings and settlement

그림 8은 요소적인 관점에 의하여 설계된 교대의 joint와 베어링이 과다한 지반침하가 발생한 경우의 작동상태를 표현하였다. 교대 침하후 상부구조의 반력은 베어링을 통하지 않고 deck joint와 교대배면을 통하여 전달된다. joint 표면에 발생되는 마찰력과 함께 교대 joint에 작용하는 상부구조의 반력은 상부구조의 종방향 이동에 대하여 joint의 유격 감소, 교대의 기울어짐, 당김(drag)을 발생시키기에 충분하다. 또 다른 예로서 교량 보도부에는 통행자의 안전을 위하여 joint의 개구부에 cantilever plate가 사용된 경우이다. 전체적 관점에서의 이같은 시스템의 관찰은 정상적인 침하에 대한 joint와 베어링간의 이동 변화량을 수용할 수 있는 보도부 plate의 밀착표면에 적당한 유격사용을 제시한다. 이는 하부기초의 선택이 deck joint

와 베어링의 작동성능에 많은 영향을 미치는 것을 의미한다. 즉 구조물의 설계전, 기초공학 기술자는 침하량을 예측하여 상세 설계자에게 구조물의 침하 가능성에 대하여 충분한 경고를 하여야 한다.

다음은 교량 설계시의 대표적인 요소적 관점의 문제접근 방법이다.

- 전체적인 관점에서 문제해결 방법의 충분한 검토 없이 요소적 관점의 접근방법
- 강체 뼈대 구조물과 연속 구조해석에 대하여 기본 교육과정이 소홀한 토목교과 구성
- 전체구조물을 이루는 여러 부재의 상호작용에 관련하여 전체적 관점의 고려없이 설계를 위하여 교량부재를 여러가지로 나누는 설계
- 지반이동에 대한 복합구조의 반응을 전체적 관점에서 보지 않고 요소적 관점만을 고려하여 제반규정을 만족시키는 부재를 사용하는 설계
- 전체적 관점에서 발생하는 수분량의 변화를 고려하지 않고 콘크리트 부재의 온도 gradient 변화의 영향에 대하여 요소적 관점의 수치해석 방법을 제안하는 경우
- 구조계의 한 요소적 측면을 연구하여 전체 구조물에 미치는 영향에 대한 검토없이 그 결과를 제안하는 경우

(9) 다차원적 시각(Multidimensional view)

전체적인 관점의 시각은 일차원적인 관점에 한정된 사항은 아니다. 많은 경우에 있어서 일차원적 개념의 변형으로 부재거동(상판 세로보, 교각의 뼈대구조)을 예측하는 방법으로 충분하다. 이차원적 거동 예측은 때때로 유용한 경우가 있다(사교의 상부구조, 교각). 그러나 경우에 따라 삼차원적인 관점이 꼭 필요한 경우가 다수 존재한다. 실례로서 삼차원의 전체적 관점에서 segmented elastomeric joint seal의 상부구조의 종방향 변위에 대한 반응은 제조업체에 경종을 울렸으며, seal segment의 현장 연결부의 유지관리에 많은 어려움을 설계자들에게 인식하게 하였다. deck joint seal은 탄성구조체이므로 특히 장시간 혹은

사교의 segment seal은 횡방향과 수직의 뒤틀림은 물론 심각한 종방향의 뒤틀림을 받는 경우가 있다. 바로 이와 같은 deck joint의 중심선과 평행한 종방향 변형은 현재까지 가용한 현장접합 접착제의 저항응력을 초과하는 응력을 유발한다. 결과적으로 이 종류 seal의 성능(방수)은 좋지 않은 평가를 받게되어 segmented seal은 널리 사용되지 못하고 있다.

3. 결 론

위의 몇 가지 사례와 설명으로 joint, 베어링, 유연부재, 포장, 하부구조, 기초지반, 토질상태 등을 포함하는 교량은 모든 부재의 복합 구조체임을 분명히 하였다. 결과적으로 교량 공학자는 전체적 관점에 기초한 복합구조체에 대한 체계적인 이해가 필요하며 그렇게 함으로써 동역학적, 장기적 구조거동을 예측하고 대비할 수 있다. 유한요소법과 프로그램의 발전으로 인한 이동 구조체의 삼차원적인 변형까지도 보여주는 컴퓨터의 발전은 관련분야의 학생, 교수, 기술자에게 전체적 관점의 구조거동을 제공하여준다. 그러므로 현재의 교량 관련 분야에 입문하는 기술자는 선배들이 수많은 실수와 배움과 깨우침을 통하여 해결한 문제들을 쉽게 알게될 것으로 생각된다. 결과적으로, 위에 열거된 많은 종류의 실패는 교량 기술자들이 현재의 기술연구와 개발된 기술을 교량거동에 대하여 확대된 안목으로 이용할 때 큰 발전이 있을 것이다.

용어해설(Nomenclature)

- Elementalistic Views(요소 역할적 관점) : Elementalistic views are mental images or visualizations of part or element of a composite structure, or line simulations of an element, responding to a portion of the total static and dynamic loads. These views may or may not include the effects of environmental transitions(temperature, moisture, etc.) and material changes(creep, etc.)

These views may be given substance by means of computer screen displays or manual sketches.

- Holistic views(전체적 관점) : Holistic views are comprehensive mental images or visualizations of a composite structure, responding(deforming, deflecting, moving, etc.) to static and dynamic loads, to environmental transitions(temperature, moisture, etc.) and material changes(creep, consolidation, etc.). These views may be given substance by means of moving displays on computer screens or by a series of manual sketches.

1. Burke, M. P. Jr., "The Abnormal Rotations of Skewed and Curved Bridges," Transportation Research Record 903, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1983.
2. Moulton, L. K., "Observations of Highway Bridge Movements and Their Effects on Joints and Bearings," Transportation Research Record 903, TRB, National Research Council, Washington, D. C., 1983, pp. 93-94.
3. Burke, M. P., Jr., Bridge Deck Joints, NCHRP Synthesis 141, TRB, National Research Council, Washington, D. C., pp. 51-55, 1989, pp. 51-55.
4. Burke, M. P., Jr., "Bridge Approach Pavements, Integral Bridges and Cycle Control Joints," Transportation Research Board's 66th Annual Meeting., Jan., 1987. □