

일체 구조형식 교량의 설계 및 시공기법 연구

Design and Construction of Integral Abutment Bridge

이 성우* 나 경우** 조 남훈***
Lee, SungWoo Na, JungWoo Jo, NamHoon

ABSTRACT

In this study design and construction technique for joint-less integral abutment for short to mid span bridges was developed. Expansion of superstructure due to thermal effect was absorbed in the flexible pile-type abutment in stead of expansion joint in the conventional bridges. Design method for pile subject to vertical and horizontal force was proposed. Backfill, approach slab and details of its connection joint with pavement was also proposed.

1. 서 론

성수대교 붕괴 이후 교량의 유지관리에 각별한 관심이 고조되고 있는 현재, 기존의 신축이음 장치가 있는 길이가 짧은 교량에 대해 교량전체에 신축이음장치를 두지 않는 일체구조 형식으로 건설하여 신축이음 파손으로 인하여 가속화되는 노후화 현상을 저감시켜 교량의 수명을 연장시키고, 유지관리 비용을 현저히 절감할 수 있는 무신축이음 일체구조기법의 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

교량의 길이가 긴 교량은 온도에 의한 신축을 흡수하기 위한 신축이음장치가 반드시 필요하게 된다. 그러나 길이가 짧은 교량은 해외에서는 교량 전체에 이러한 신축이음장치를 제거하여 일체식 구조로 건설하고 있다.^{[2][7]} 하지만, 국내에서는 현재까지도 신설되는 짧은 교량의 교량에 대해서 지간장, 구조형식, 사용 재료에 상관없이 일부 콘크리트 라멘식 교량을 제외하고는 전부 신축이음장치를 설치하여 시공하고 있는 실정이다. 신설 교량 뿐만 아니라 기 건설되어 있는 전국 대부분의 짧은 길이 교량에도 신축이음장치가 설치되어 있으며 신축이음장치의 파손으로 인한 유지 보수비의 증가와 교량 수명의 단축으로 인해 막대한 경제적 손실을 유발시키고 있다.

본 연구에서는 현재 해외에서 적용되고 있는 일체식 교량의 문제점을 보완하고 국내 현실에 맞도록 연구 개발하여 교장이 짧은교량에 대해 신축이음이 없이 상부구조와 교대가 일체식 구조로 된 교량을 개발한다.

2. 일체식 교량 일반

2.1. 일체식 교량의 원리

무신축이음 일체식교량이란 교량전체에 신축이음장치를 두지 않고 상부구조를 교대에 일체시킨 일체구조 형식의 교량을 말한다. 온도변화에 의한 신축으로 발생하는 수평변위와 교대 접합부에 발생하는 모멘트, 교대의 회전 등을 파일지지식 교대의 유연한 파일이 전담하도록 하는 방법이다.

* 국민대학교 토목환경 공학과 교수
** 주식회사 동일기술공사 상무
*** 국민대학교 토목환경 공학과 석사과정

일체구조식 교량에서 연속교의 교대는 한줄로 병렬 배치된 파일로 지지되어 상부 구조물에 일체로 연결되어 있고, 교각들은 가동 교좌장치에 의해 상부구조물을 지지하고 있다. 그림1에는 기존의 신축이음장치가 있는 교량의 형태를 보여주고 있고 그림 2에는 일체식 교량의 대표적인 형태를 보여주고 있다.

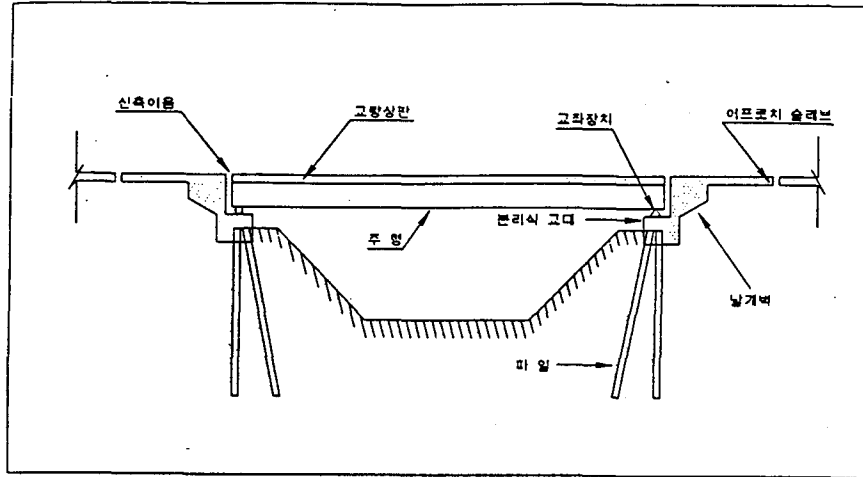


그림 1 기존의 신축이음장치가 있는 교량

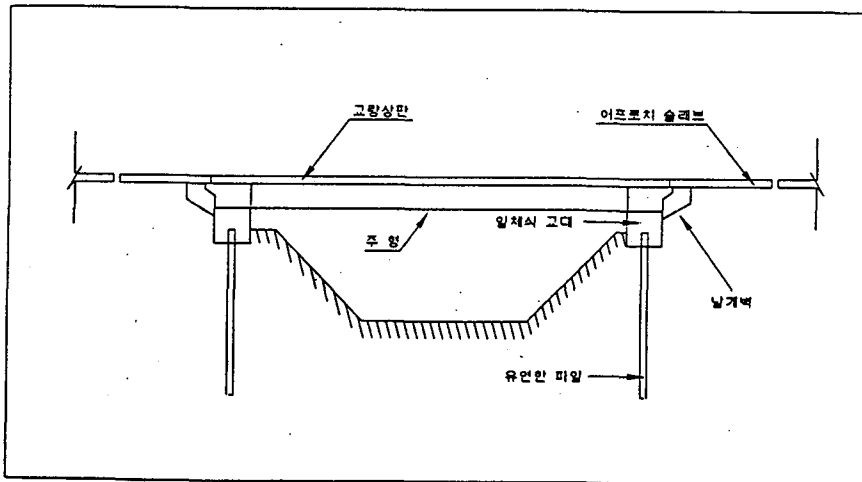


그림 2 무신축이음 일체식 교량

2.2. 일체식 교량의 장점

일체식 교량의 신축이음 장치가 없고 상부구조물과 교대가 일체화되어 생기는 장점을 기술하면 다음과 같다.¹³⁾

1) 구조적인 장점

- ① 프레임 효과로 인한 저항력 증가
- ② 지진에 대한 저항력 증가
- ③ 신축이음 장치 및 교좌장치 불필요
- ④ 정모멘트 감소
- ⑤ 교량상판 균열 감소

2) 경제적인 장점

- ① 유지관리 용이
- ② 건설 비용 절감
 - i) 신축이음장치, 교좌장치 미설치로 초기 건설 비용절감

- ii) 중력벽식 교대 형식을 말뚝지지 교대 방식으로 대체함에 따른 교대부 건설비용 절감
- iii) 보 중앙의 모멘트 감소로 인하여 단면을 줄여 줄 수 있고 교각의 단면도 줄여줄 수 있다.
- iv) 신축이음부의 하부 구조물을 보호하기 위해 쓰이던 도장이 필요하지 않다.

3) 시공상의 장점

- ① 신축이음 장치 교량에 비해 상부구조와 교대부의 일체구조 부분이 상대적으로 단순하여 공기를 단축할 수 있다.
- ② 교량단부의 횡방향 다이어그램을 만드는데 요구되는 노동력과 재료를 최소화 하거나 제거할 수 있다.
- ③ 신축이음 교량 건설시 요구되는 노동집약적 시공이 일체식 교량 건설에서는 실질적으로 필요없거나 단순화 된다.

3. 일체식 교량의 설계제안 사항

일체식 교량에서는 상부구조의 온도변화로 인한 횡방향 변위를 유연한 파일식 교대가 흡수할 수 있어야 하므로 본 연구에서는 이러한 현상을 적절히 고려하여 교대의 파일은 수직하중과 수평하중을 받을 수 있는 설계 기법을 제시하였다. 또한 상부구조와 교대, 파일과 교대의 접속부는 일체화 될 수 있도록 콘크리트교와 강교에 대한 연결부 상세를 제안하였다. 보다 상세한 내용은 참고문헌 [1]을 참고하기 바란다.

3.1. 일체식 교량 적용 제한 기준

일체식 교량에서는 상부 구조물의 온도변화에 의한 신축을 파일식 교대가 수용해야 하므로 본 연구로 제시한 일체식 교량을 적용할 수 있는 교량의 길이 제한기준을 다음과 같이 제시한다. 일체식 교량을 사교에 적용할 경우 사각이 크면 비틀림 효과 등으로 인해 교대부에 발생하는 복합 응력이 증가하므로 제시한 일체식 교량기법이 적용 가능한 사교의 사각제한 기준을 다음과 같이 제시한다. 일체식 교량의 지반조건 제한 기준은 파일의 횡방향 거동부분과 고정부분의 적절한 길이가 요구되므로 수직하중에 대한 소요지지력이 충분하더라도 파일식 교대의 파일 근입 깊이는 원지반에서부터 다음의 깊이 이상이 확보되도록 제시한다. 또한 지반이 교란되었을 때, 지반 침하가 우려되는 경우에는 적용하는 것을 제한한다.^[3]

<표 1> 일체식 교량 적용길이, 사각 제한 기준

구분	적용길이 제한기준(m)	사교의 사각 제한기준(°)
강교량	80	70
프리스트레스 콘크리트 교량	150	60
철근 콘크리트 교량	120	60

<표 2> 일체식 교량적용 지반 조건 제한 기준

구분	지반 제한기준
파일 최소 근입 깊이	10m
지반 상태 제한 조건	지반 교란 지반침하 우려 지역

3.2. 교대벽체 및 뒷채움 설계

일체식 교량에서는 상부구조의 온도변화로 인한 횡방향 변위를 유연한 파일식 교대가 흡수할 수 있어야 하므로 설계시 이를 적절히 고려하여야 한다. 일체식 교량의 교대는 상부 구조물과 파일을 강결로 연결시켜 주는 역할을 한다. 상부구조에 일체화시킨 교대 벽체는 교대가 상부 구조물의 열팽창에 의해 벽체의 방향으로 변형한다고 가정하여 Rankine 수동 토압이 벽체 전체에 작용하는 것으로 설계한다. 교대는 강체로 작용한다고 가정하지만 벽체의 횡방향 휨을 고려하기 위해 거더 교량인 경우 벽체는 거

더 단부에서 파일 상단에 지지된 연속보와 같이 거동한다고 가정하고 슬래브 교량인 경우 벽체는 슬래브의 하면으로 부터 캔틸레버로 거동한다고 가정하여 설계한다.

그림 3과 그림 4에는 본 신기술로 제안하는 온도에 의한 신축을 받을 수 있는 유연한 파일식 교대예 대한 전형적인 일체식 강교량 및 콘크리트 교량의 교대 상세를 보여주고 있다.

파일캡은 각각의 파일에 지지된 연속보로 계산하여 횡방향 응력과 수직방향 응력에 대하여 인장부 철근을 배치하도록 설계하고 파일캡과 벽체사이에는 시공이음을 둔다.

교대 뒷체움은 교대에 작용하는 토압을 줄여주고 상부 구조물의 신축을 용이하게 수용하며 뒷체움 토사의 침하나 배수로 인한 토사 유실 등에 의한 어프로치 슬래브의 파손을 방지하기 위해 다짐하지 않은 자갈재를 뒷체움재로 사용하였으며, 뒷체움 토사의 침하등으로 어프로치 슬래브 하단에 공간이 발생하는 문제점^[6]을 개선하기 위하여 뒷체움 자갈재 사이에 PVC코팅 철재 그물망을 설치하였고, 그림 5에서 보여주는 것처럼 배수를 원활히 하기위해 뒷체움재 바닥면에 배수막과 폴리에틸렌 슈트를 설치한다.

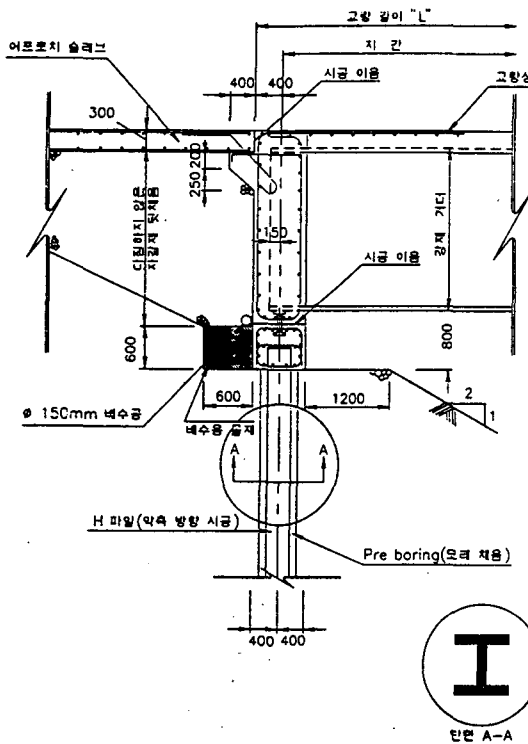


그림 3 일체식 강교량의 교대설계

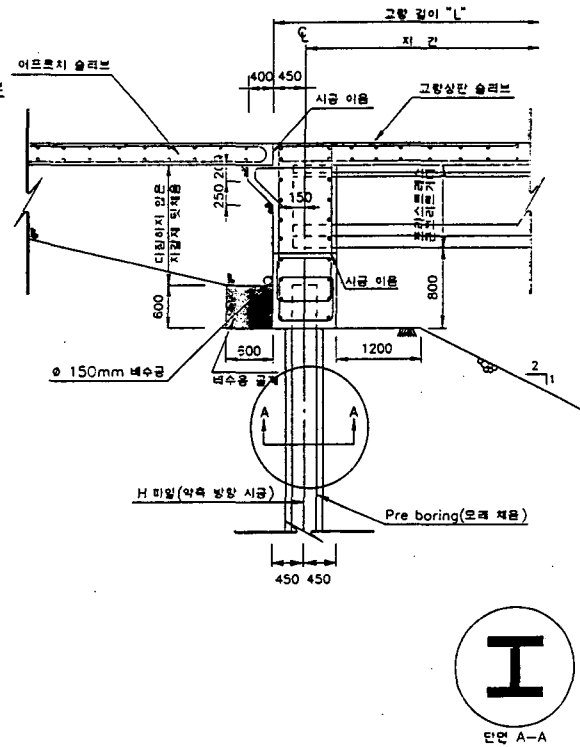


그림 4 일체식 콘크리트 교량의 교대설계 상세

3.3. 파일 설계

일체식 교량 파일식 교대에는 강제 H형 파일을 사용한다. 파일은 교량 상부 구조물의 팽창과 수축에 따라 유연하게 거동할 수 있도록 파일의 약축이 교축방향으로 배열되도록 하고 파일을 교축 직각방향으로 일렬 배치한다. 일체식 교대의 파일은 유연한 거동을 할 수 있도록 Preboring을 하며 그 깊이는 3m 이상으로 해야 하고 파일을 향타한 후에는 이부분에 모래나 잔 자갈로 채워 넣도록 한다.^{[5][7]} 그림 5에는 일체식 교량의 유연한 파일식 교대에 대한 전형적인 파일 상세를 보여주고 있다.

3.3.1. 파일의 극한지지력계산

일체식 교량에서 파일의 극한지지력 P_U (단위 kips)는 다음에서 기술한 슬립 파괴메카니즘으로 구한 극한 지지력 P_S 와 횡방향 파괴 메카니즘으로 구한 극한 지지력 P_L 중에서 작은 값을 택한다.^[5]

$$P_U = \min(P_S, P_L) \quad (1)$$

1) 슬립 파괴 메카니즘(Slip Failure Mechanism)으로 계산한 극한지지력 P_S

슬립 메카니즘에서 구하는 극한지지력은 파일의 파괴가 파일의 횡방향 변위에 무관한 것으로 간주해서 계산한다. 이 파괴 메카니즘은 횡방향 변위 (Δ_b)가 작은 마찰파일에서 주로 일어난다. 이 슬립파괴 메카니즘으로 계산된 파일 극한 지지력은 Δ_b 에 영향을 받지 않는다.

$$P_s = \text{주변 마찰 지지력} + \text{선단 지지력} \\ = f_{\max} \cdot L + q_{\max} \cdot A_e \quad (2)$$

여기서, f_{\max} : 파일과 토질 사이에 발생하는 최대 전단응력

q_{\max} : 최대 선단 지지응력

L : 파일 근입장

A_e : 파일 유효 선단면적 (H파일인 경우 $A_e = d \cdot b_f$)

2) 횡방향 파괴 메카니즘(Lateral Failure Mechanism)으로 계산한 극한 지지력 P_L

일체식교량의 파일은 횡방향 변위를 받기 때문에 파일의 파괴가 파일의 횡방향 변위에 관계가 있다. 그 이유는 횡방향 변위 Δ_h 가 증가함에 따라 소성하중 V_p 가 감소하기 때문이다. 이 파괴 메카니즘은 선단지지 파일이나 Δ_h 가 큰 마찰 파일인 경우 주로 일어난다.

$$P_L = \frac{V_{\sigma} \cdot V_p}{V_{\sigma} + V_p} \quad (3)$$

여기서, V_{σ} : 탄성좌굴 하중

V_p : 소성하중

a) 탄성좌굴하중(Elastic Buckling Load) V_{σ} 계산

$$V_{\sigma} = \frac{U' EI}{R^2} \quad (4)$$

여기서 I : 파일 단면 2차 모멘트

E : 파일 탄성계수

R : 상대 강성계수

$$= 4 \sqrt{\frac{EI}{k_h}}$$

k_h : 토질의 횡방향 강성 계수

U' : 좌굴계수

b) 소성 하중(Plastic Mechanism Load) V_p 계산

H형 파일인 경우에 약축방향이 휨을 받는 경우

$$\text{파일 상부가 힌지인 경우 : } V_p = \frac{2M_p'}{\Delta_h} \quad (5)$$

$$\text{파일 상부가 고정인 경우 : } V_p = \frac{4M_p'}{\Delta_h} \quad (6)$$

여기서, M_p' : 파일의 수정 소성 모멘트

$$M_p' = M_p \quad ; V \leq 0.4V_y$$

$$M_p' = 1.19M_p[1-(V/V_y)^2] \quad ; 0.4V_y \leq V < V_y$$

M_p : 파일의 소성 모멘트

V : 파일에 작용하는 축하중

V_y : 파일의 항복 하중

Δ_h : 횡방향 변위

3.3.2. 파일 허용 지지력(P_a)

$$P_a = \frac{P_U}{n} \quad (7)$$

여기서, P_U = 파일 한본당 극한 지지력

n = 안전율(표 3참조)

<표 3> 파일의 안전율

구분	안전율(n)
지지파일	3
마찰파일	4

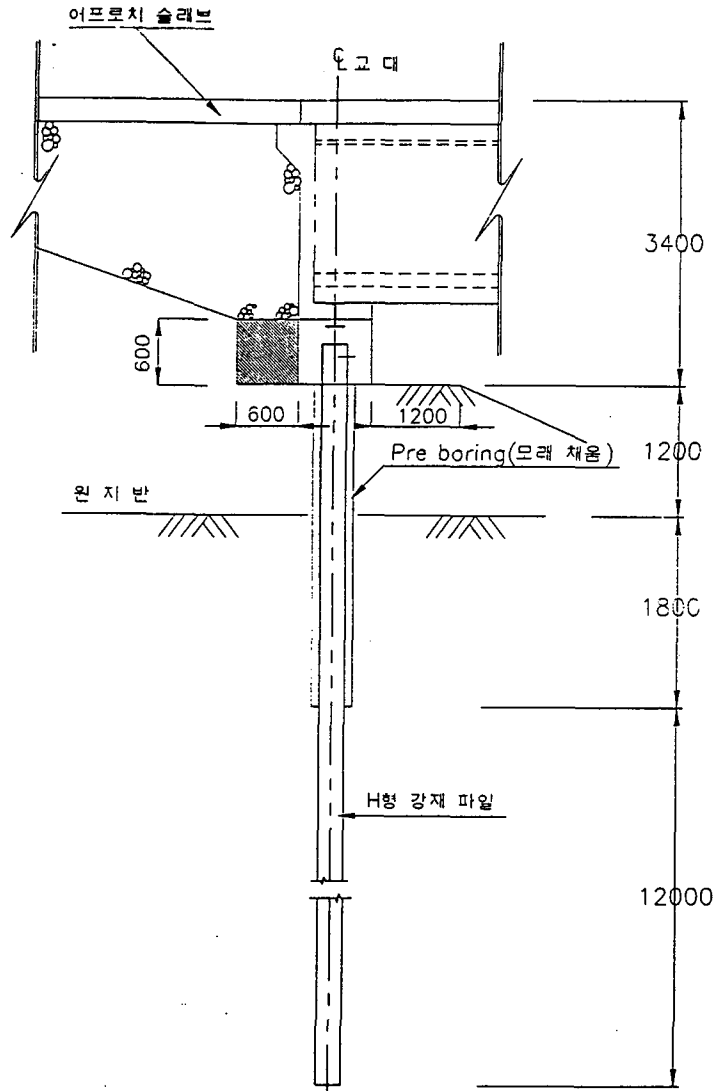


그림 5 일체식 교량의 파일설계 상세

3.4. 어프로치 슬래브 설계

어프로치 슬래브는 차량 통행에 의한 상재하중으로 교대의 뒷채움이 압밀되지 않도록하여 교대에 작용하는 수동 토압을 줄여주며, 교대에서부터 도로까지의 진입로로 사용됨에 따라 정상적인 주행 표면을 계속 유지시켜주고, 교량과 도로간의 차량 이동시에 충격을 최소화 시켜주는 역할을 한다.¹⁴⁾ 따라서 어프로치 슬래브는 상부 구조물의 온도변화에 따른 팽창과 수축의 반복으로 도로부가 교량과 이탈되는 것을 방지하기 위해 일체식 교량에 이음부를 두어 접합 시킨다.

본 연구에서는 어프로치 슬래브의 신축이동을 쉽게 하기위해 어프로치 슬래브 하면에 폴리에틸렌 쉬트를 설치하였다. 또한, 어프로치 슬래브와 콘크리트포장부의 연결 부분에 활동 슬래브를 설치하여 신축량을 2중으로 흡수할 수 있도록 하여 이음부의 균열 및 파손을 방지할 수 있도록 하였으며, 어프로치 슬래브 길이를 6m로 제시하며 이음부 설계는 어프로치 슬래브 자체의 온도에 의한 변위와 전체 교량의 온도 변위를 고려하여 합한다.

도로부와 활동 슬래브, 어프로치 슬래브와 활동 슬래브 사이의 연결 이음부에는 수밀하면서도 신축이 잘 이루어 질 수 있는 신축 이음계가 필요하며 본 제안에서는 이러한 역할에 최적으로 평가되는 Evazote 380을 사용하도록 제시하였다. 그림 6에는 일체식 교량의 어프로치 슬래브 상세를 보여주고 있다.

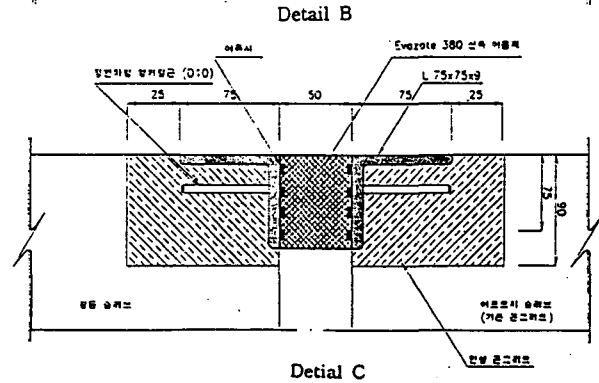
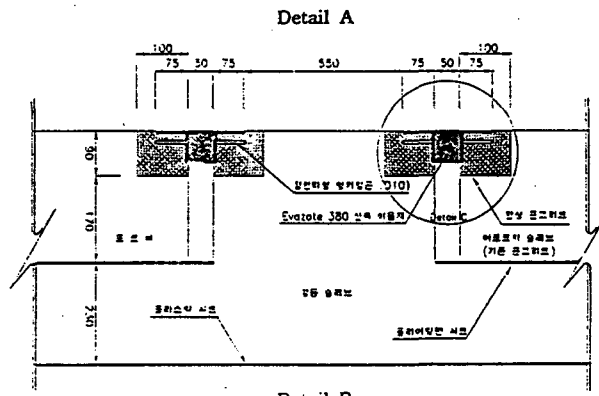
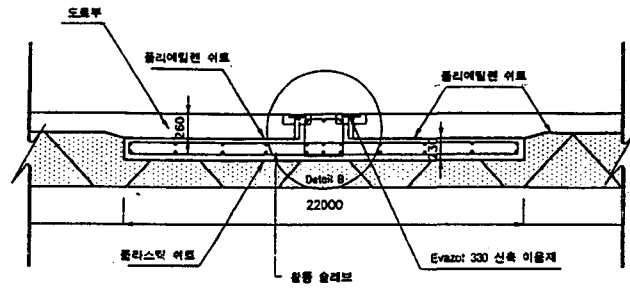
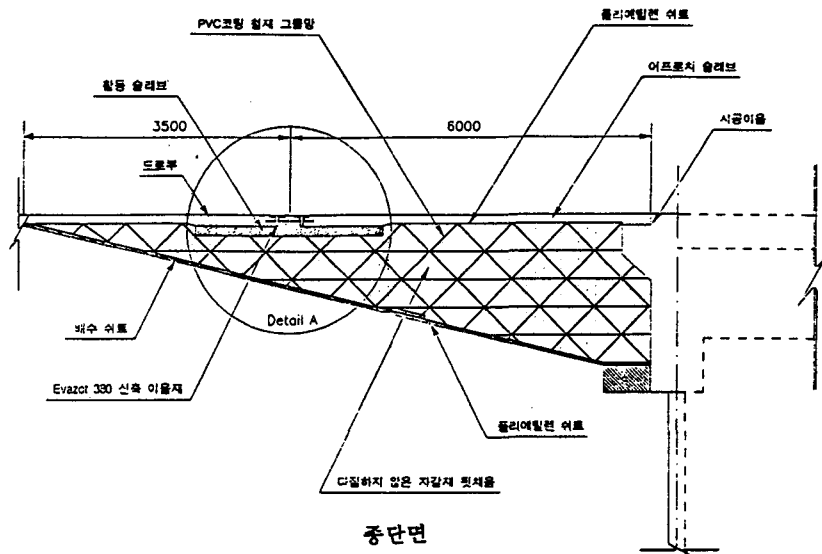


그림 6 일체식 교량의 이프로치 슬래브 상세
- 127 -

4. 결론

본 연구에서는 단경간 교량에 대해 종래의 신축이음장치를 없애고 상부구조의 온도변화로 인한 횡방향 변위를 유연한 파일식 교대가 흡수할 수 있는 일체식 교량의 설계 및 시공 기법을 제시하였다. 교대의 파일 설계시 수직하중과 수평하중을 받을 수 있는 방법을 제안하였고 뒷채움 및 어프로치 슬래브와 연결 이음부 상세도 제안하였다. 또한 본 연구에서 제시한 일체식 교량의 적용할 수 있는 교장 제한 기준, 사교의 사각 제한 기준 및 지반조건 제한 기준도 제시하였다.

본 연구에서 제안하는 무신축이음 일체구조식 교량 기술을 활용하여 앞으로 건설될 단경간 및 중경간의 짧은 교량에 적용할 경우 기존의 신축이음장치가 있는 교량의 문제점을 근원적으로 해결할 수 있어 교량의 수명을 연장시킬 수 있으며, 상대적으로 유지관리가 매우 간편하여 막대한 유지관리 비용을 절감할 수 있을 것으로 전망된다.

5. 참고문헌

- 1) 이성우, "유지관리가 용이한 무신축이음 교량의 일체 구조기법 개발", 국민대학교 구조안전연구소, 연구보고서, KMU/SSRC-96/05, 1996.5.
- 2) Martin P. Burke, Jr., Integral Bridges, Transportation Research Record 1275, 1990
- 3) Martin P. Burke, Jr., Integral Bridges : Attributes and Limitations, Transportation Research Record 1393, 1993
- 4) Harvey E. Wahls, Design and Construction of Bridge Approaches, National Cooperative Highway Research Program, Synthesis of Highway Practice 159, 1990
- 5) Greimann, L. F. et al, Design of Piles for Integral Abutment Bridges, Iowa Department of Transportation, 1984.
- 6) Schaefer, V. R., Void Development Under Bridge Approaches, South Dakota Department of Transportation, 1992
- 7) Wolde, A. M., et al, Integral Abutment Bridge Design and Construction, Maryland Department of Transportation, 1987.