

## 비돌출식 철도교 신축이음공법



조병창, (주)코리아나 엔지니어링 대표이사

### 1. 기술개발 배경

철도 교량의 신축이음장치는 일반적인 도로교와는 달리 신축이음장치 설치 완료 후 후속공정인 궤도이설 작업이 진행되는 특수성이 있다. 궤도이설 작업이란 교량이 완성된 후 열차의 통행을 위한 후속공정으로서 중장비에 의한 레일, P.C 침목 및 자갈 등의 운반과 설치를 포함하며 이러한 후속 작업 시 발생하는 외력들은 기존에 널리 사용되던 돌출식 세트앵커 볼트체결 구조를 지닌 철도교량의 신축이음장치에 충격하중을 쉽게 가하게 됨으로서 열차가 통행하기도 전에 신축이음장치에 하자를 발생시키는 구조적 요인으로 작용되어 왔다. 국내 조사결과에 따르면 대부분의 신축이음장치들은 초기 5년~10년 이내에 파손되는 것으로 조사되었다. 따라서 후속공정에 따른 외력의 영향을 전혀 받지 않는 철도교량용 신축이음장치의 필요성이 대두되었고 기존 철도교량의 신축이음장치의 구조적 문제점을 개선하여 외력의 영향을 전혀 받지 않는 매립형 앵커에 의한 비돌출식 신축이음장치공법을 개발하게 되었다.

### 2. 신공법의 특징

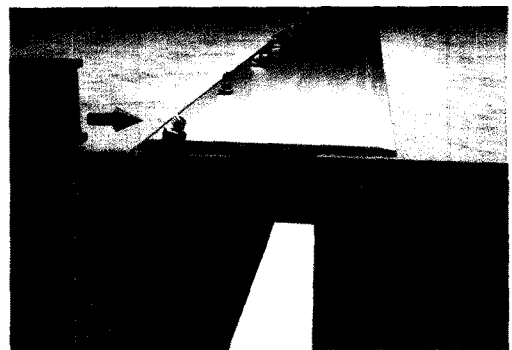
#### 1) 신공법의 개요

비돌출식 매립형 앵커체결구조를 지닌 철도교 신축이음장치구성은 신축유간부에 방수를 목적으로 설치되는 신축이음재(탄성봉합재)와 도상자갈로부터 신축이음재의 파손을 방지하기 위한 강재덮개판으로 구성되어진다.

우선, 기존에 일반적으로 사용되던 강재덮개판의 앵커체결구조를 살펴보면 돌출형태의 세트앵커( $\phi 16\text{mm}$ , 길이 140-160mm정도)를 사용하였으나 이러한 체결구조는 외력에 의한 충격하중을 쉽게 받을 수 있을 뿐만 아니라 열차진동에 대하여 볼트가 쉽게 풀리게 되는 구조였다. 또한 신축유간 단부로부터 연단거리를 고려하지 않고 앵커를 단부에 가깝게 설치함으로써 콘크리트 모재가 쉽게 파괴될 수 있는 구조였다. 신공법에서는 이를 개선하여 돌출식 세트앵커를 비돌출식의 완전 매립형앵커 구조로 변경하여 어떠한 외부응력이나 또는 충격하중에도 전혀 영향을 받지 않게 하였으며 또한 신축이음 단부로



P.C 침목(200kg/EA)설치작업



기존의 돌출식 세트앵커 체결구조

부터 콘크리트 보재의 연단파괴 발생을 고려한 앵커의 삽입위치와 정착 깊이를 구조적으로 해석하여 앵커볼트의 설치 위치를 검토하였고, 열차의 진동에도 전혀 풀리지 않는 구조의 앵커볼트를 새롭게 개발하여 적용함으로써 신축이음장치의 구조적 결함으로 발생될 수 있는 하자 발생요인을 사전에 제거하여 고내구성을 유지할 수 있게 되었다.

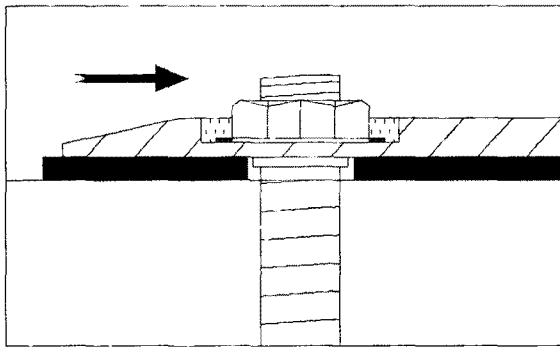
2) 돌출식 세트앵커 구조를 비돌출식 매립형앵커 체결구조로 변경

철도 교량의 신축이음부 설계유간의 폭은 각 구조물의 신축량에 따라 다양하게 설계되고 있다. 그중에서 설계 유간의 폭이 40mm인 경우 강재덮개판의 철판 두께는 일반적으로 9mm를 사용하게 된다. 그러나 기존에 사용되던 돌출식 세트앵커 볼트는 직경 16mm, 길이

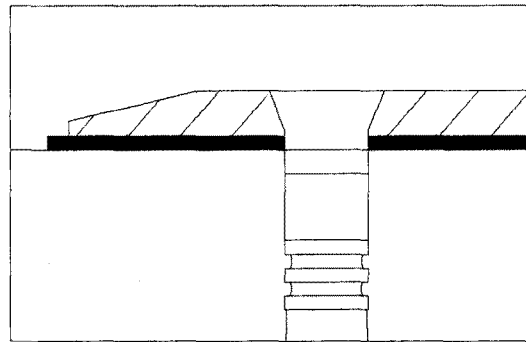
140mm-160mm인 세트앵커와 너트로 구성되어있어 두께가 9mm인 강재 덮개판을 구조물에 정착시키기 위해서는 너트의 머리 부분이 강재 덮개판 상부로 돌출될 수밖에 없는 구조를 가지게 됨으로서 외부의 충격하중에 쉽게 노출되어 왔다. 그러나 이와 같은 구조형태를 비돌출식의 매립형앵커 볼트체결 구조로 변경함으로써 외부로부터의 충격하중을 받지 않도록 개선하였다.

3) 연단거리를 고려한 앵커 개발

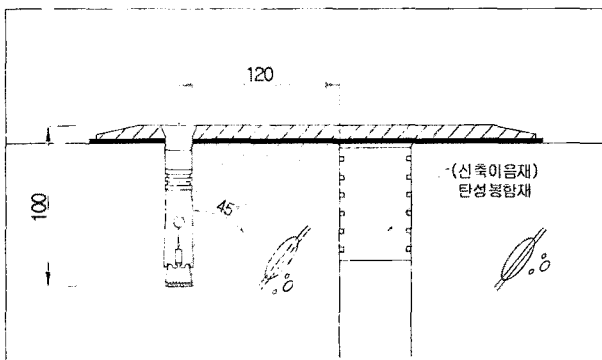
비돌출식 매립형앵커 볼트는 콘크리트 보재의 단부파괴를 고려하여 단부로부터 120mm 되는 지점을 앵커의 정착위치로 하고 파괴모드의 안전각도를 고려하여 앵커의 길이를 100mm로 하는 고하중용의 앵커를 개발하게 되었다.



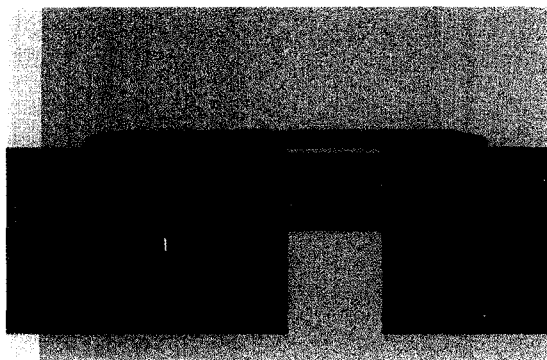
돌출식 세트앵커 구조단면



비돌출식 매립형앵커 구조단면



(ACI349-85 설계기준에 의한)



(비돌출식 매립형앵커 구조의 철도교 신축이음공법)

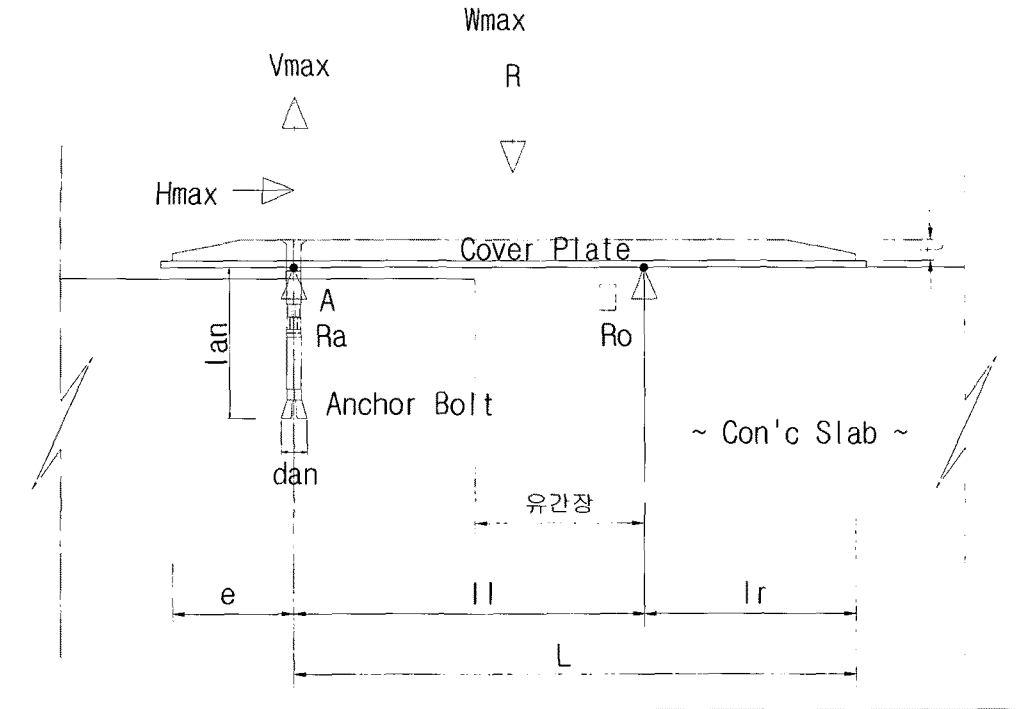


그림5. 작용하중 및 단면가정

4) 비돌출식 매립형 Anchor Bolt 검토

가. 하중 계산

- L : Ra~자유단 하중작용전체길이 = 26 [cm]
- ll : Ra~Ro 하중작용길이 = 16 [cm]
- lr : Ro~자유단 하중작용길이 = 10 [cm]
- Be : Anchor Bolt의 간격 = 30 [cm]
- Bq : Anchor Bolt의 개수 = 4 [EA]
- Lc : Cover Plate의 길이 = 120 [cm]
- e : Cover Plate의 연단길이 = 6 [cm]
- Cl : Con'c의 연단길이 = 12 [cm]
- $\mu$  : 강재와 Concrete의 마찰계수 = 0,5

① 전체 연직하중

$$\begin{aligned}
 R &= \omega_{\max} \times L \\
 &= 2,72 \times 26 \\
 &= 70,72 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

② Cover Plate와 Concrete와의 마찰에 의한 수평력

$$\begin{aligned}
 H\mu &= R \times \mu \\
 &= 70,72 \times 0,5 \\
 &= 35,36 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

③ Rail과 Cover Plate와의 충돌에 의한 수평력: Hp  
 레일 작업 및 침목 작업시 레일 및 침목등에 의한 Cover Plate와의 충돌하중은 Cover Plate 단부 모따기 및 고정 Anchor Bolt의 비돌출 형식을 통해 발생하지 않는다.

④ 상향력 : Vp

$$\begin{aligned}
 Vp &= Ra \\
 &= 30,26 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

⑤ 장비에 의한 상향력: Veq

도상 자갈 작업에 사용되는 Ballast Regulator, Ballast Cleaner의 삽날에 의한 상향력은 Cover Plate

단부 보따기름 통해 발생하지 않는다.

⑥ Anchor Bolt 1개에 작용하는 최대 상향력 적용:

$$V_{max} = \frac{Vp \times Lc}{Bq} = \frac{30.26 \times 120}{4.00} = 907.8 \text{ kg}$$

⑦ Anchor Bolt 1개에 작용하는 최대 수평력 적용:

$$H_{max} = \frac{Hp \times Lc}{Bq} = \frac{35.36 \times 120}{4.00} = 1060.8 \text{ kg}$$

나. 비둘출식 매립형 Anchor Bolt 검토

\*\* Bolt의 종류: M12 × ϕ17.5 × 100

dan : Anchor Bolt의 정착부 직경 = 1.75 [cm]

lan : Anchor Bolt의 정착길이 = 8.8 [cm]

① 상향력에 의한 단입장 검토(Anchor Bolt & Concrete의 부착응력)

$$V_{max} = 907.8 \text{ kg} < Va = 1680 \text{ kg} \therefore \text{O.K}$$

② 수평력에 의한 전단 응력 검토(Anchor Bolt의 직경)

$$H_{max} = 1060.8 \text{ kg} < Va = 2260 \text{ kg} \therefore \text{O.K}$$

③ Bolt에 의한 Cover Plate 연단 거리 검토

$$\tau = \frac{P}{2 \times t \times t} = \frac{1060.8}{2 \times 6.000 \times 0.9} = 98.222 \text{ kg/cm}^2 < \tau_a = 800 \text{ kg/cm}^2 \therefore \text{O.K}$$

$$S.F = \frac{\tau_a}{\tau} = \frac{800}{98.222} = 8.145 > 2.0 \therefore \text{O.K}$$

④ 상향력에 의한 Con'c Cone 파괴 검토 : Nn

$$c1 = 12 \leq 1.5lan = 13.2 \text{ [cm]}$$

$$Be = 30 > 3lan = 26.4 \text{ [cm]}$$

$$An = (c1 + 1.5lan) \times 3lan = 665.280 \text{ cm}^2$$

$$Ano = 9lan^2 = 696.960 \text{ cm}^2$$

$$\psi = 0.7 + (0.3 \times \frac{c1}{1.5lan}) = 0.973$$

$$Nno = 13.5 \times \sqrt{fck} \times lan^{1.5} = 13.5 \times 16.432 \times 26.105$$

$$= 5790.92 \text{ kg}$$

$$Nn = \frac{Av}{Avo} \times \psi \times Nno = 5378.45 \text{ kg} > V_{max} = 907.8 \text{ kg} \therefore \text{O.K}$$

⑤ 수평력에 의한 Con'c 단부 파괴 검토 : Vno

$$Av = (3c1 + Be) \times 1.5c1 = 1188 \text{ cm}^2$$

$$Avo = 4.5c1^2$$

$$= 4.5 \times 12^2 = 648 \text{ cm}^2$$

$$Vno = (\frac{lan}{dan})^{0.2} \times \sqrt{dan} \times \sqrt{fck} \times c1^2$$

$$= 1.381 \times 1.322 \times 16.432 \times 144$$

$$= 4319.940 \text{ kg}$$

$$Vn = \frac{Av}{Avo} \times Vno$$

$$= \frac{1188}{648} \times 4319.940$$

$$= 7919.890 \text{ kg} > H_{max} = 1060.8 \text{ kg} \therefore \text{O.K}$$

**<참고> 앵커 연단거리에 의한 콘크리트의 콘파괴 이론**

**인발에 의한 모재파괴 형태**

**전단력에 의한 모재파괴**

일반적으로 앵커의 구조는 앵커나 앵커군의 삽입 깊이가 앵커 강재의 인장력을 발생시킬 수 있도록 충분해야 하지만 앵커의 full 콘강도 발생에 장애가

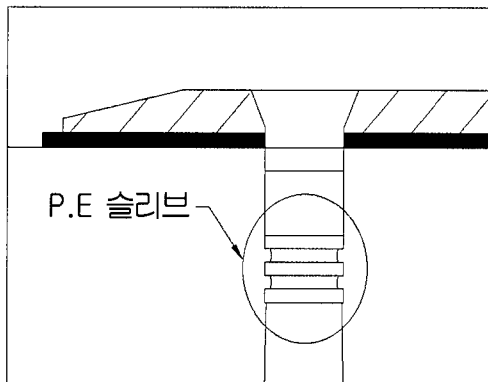
되는 연단거리 또는 앵커 간격일 때는 앵커의 내력은 감소하게 된다.

①인발력에 의한 콘크리트 모재의 콘파괴 형태  
 앵커볼트의 콘파괴 각도는 ACI349-85 설계기준에 의하면 앵커의 축으로부터 45°이다. 또한 앵커의 정착위치가 구조물의 연단 모서리 거리와 너무 근접한 경우 앵커의 내력은 감소하게 되며 콘크리트의 콘강도가 발생되기 전에 먼저 파괴된다.

②전단력에 의한 콘크리트 모재의 단부 파괴 형태  
 모재의 모서리에 가까운 앵커는 전단하중을 받을 경우 콘크리트의 콘파괴를 보인다. 모든 종류의 앵커들에 대해서 파괴 하중은 콘크리트의 인장력, 연단거리, 매설깊이, 그리고 앵커의 강성에 영향을 받는다. 파괴면은 콘 모양을 가지는데 얇은 매설깊이에 대해서는 매설된 앵커의 끝으로부터 그리고 깊은 매설 깊이에 대해서는 앵커 정착부의 상단 부분으로부터 시작된다.

### 5) 플립 방지기능의 앵커개발

또한, 철도교는 열차의 통행으로 인한 반복적인 강한 진동을 받는 구조로 되어 있다. 하지만 기존의 돌출식 세트앵커 볼트체결 구조는 너트 회전에 의한 체결 방식으로 플립방지 기능이 없어 진동에 의해 너트가 쉽게 풀려 강재덮개판의 체결력이 감소되고 강재덮개판 하부도상자갈 등이 유입되어 신축이음재인 탄성봉합재가 파



손되고 이로 인한 누수가 발생될 수 있기 때문에 이러한 점을 개선하여 플립방지 기능이 있는 앵커를 개발하게 되었다. 이는 앵커를 구성하는 요소 중 하나인 P.E 슬리브가 앵커체결시 압축력을 받으면 상하로 반력을 발생시키게 함으로서 앵커 스스로가 회전할 수 없도록 개선하였다.

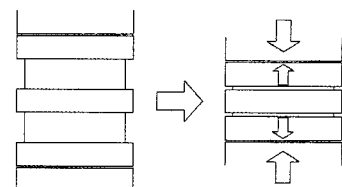
### 6) 신축이음재(탄성봉합재)의 물성

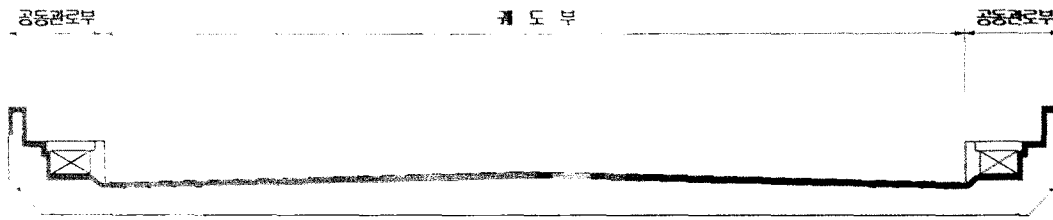
본 공법의 신축이음재로 사용되는 탄성봉합재는 저밀도 밀폐형의 고분자 화합물로 완전 방수형 탄성체 품으로서 물을 전혀 흡수하지 않기 때문에 동해에 무관하며 100% 완전 방수성능을 가진다. 영하 -70℃~영상 71℃의 극심한 온도 변화에도 완벽한 신축기능을 발휘하며 모든 구조적 거동 압축(60%), 인장(30%), 전단(100%), 회전(100%)을 수용한다. 진동과 충격 에너지를 자체 흡수할 수 있어 내진 설계 적용 및 철도교에 최적이며 소음에 대한 흡음 효과가 탁월하여 환경 친화적이고 내화확성이 강하여 염산에 끓여도 녹지 않으며, 해수에 영향을 전혀 받지 않는다.

내기후성이 강하여 풍화작용에 영향을 받지 않고 탄성 회복율이 탁월한 반영구적인 신축이음재로 철도교 신축이음재로 널리 사용하고 있다.

### 7) 신축이음재(탄성봉합재)의 시공성

구조물에 Block-Out 없이 설치 할 수 있어 시공성이 간편하고 궤도부와 보도부를 이음매 없이 연속적으로 설치할 수 있어 방수성이 우수하며 구조물 조인트의 모든





탄성봉함재 일체화 연속 시공도

형태(직각, 곡선, 교차점, 굴곡지점 등)에 대하여 자유롭게 설계할 수 있고, 구조물의 다양한 구조적변형에 대하여 우수한 저항성을 갖는다. 시공성과 품질이 매우 우수하며 공사비가 저렴하다

및 재조립이 용이하여 설계, 시공, 유지관리 측면에서 개선된 우수한 품질을 가진 안전한 공법이다.

### 3. 신공법의 기대효과

#### 1) 공기단축

신축이음부의 Block Out 및 후타 콘크리트의 타설 작업이 없어 신축이음장치 설치의 공사기간을 상당히 줄일 수 있다.

#### 2) 경제성

개선된 구조에 따른 신축이음장치의 초기 파손발생을 방지하는 효과와 제품의 수명이 연장되어 현장 적용 시 장기간 투입될 유지비용을 포함해 얻어지는 경제적인 효과는 매우 클 것으로 기대한다.

#### 3) 시공성

구조물 신축이음부의 모든 형태(직각, 곡선, 교차점, 굴곡지점)에 자유롭게 연속적으로 설치할 수 있어 구조적 변형에 대한 우수한 저항성이 있고 시공 시 모든 공정이 간편하여 탁월한 시공성을 가진 간편한 공법이다.

#### 4) 안전성

비둘출식 앵커매립형 구조로 외력에 의한 강재덮개판 및 본구조물의 손상을 사전에 방지하고 반복적인 진동에 의한 풀림방지 기능, 이중 잠금장치 기능과 앵커의 해체

### 4. 주요 적용사례

발 주 처	Project Name	시 공 사	공법적용일자	비고
한국철도시설공단	장항선(천안-온양)노반공사	롯데건설(주)	2004.2	
한국철도시설공단	장항선(천안-온양)노반공사	한진중공업	2003.12	
한국철도시설공단	장항선 1-1공구 노반공사	SK건설(주)	2005.11	
한국철도시설공단	장항선 1-2공구 노반공사	남광토건(주)	2005.10	
한국철도시설공단	장항선 2-1공구 노반공사	남광토건(주)	2005.11	
한국철도시설공단	장항선 2-2공구 노반공사	삼환기업(주)	2005.1	
한국철도시설공단	장항선 3공구 노반공사	남광토건(주)	2005.10	
한국철도시설공단	장항선 4공구 노반공사	풍림산업,흥진건설	2004.9	
한국철도시설공단	장항선 5공구 노반공사	경남기업(주)	2007.1	
한국철도시설공단	장항-군산 노반공사	남광토건(주)	2004.6	
한국철도시설공단	경부선옥천-지탄 노반공사	GS건설(주)	2006.5	
한국철도시설공단	대구선 3공구 노반공사	삼환기업(주)	2005.12	