

# 철근트러스 압접 데크플레이트 바닥 구조의 설계 프로그램

## Design Program of Deck Plate Slab System with Non-welding Truss Type Reinforced Bar

윤명호\*, 오상훈\*\*  
Yoon, Myung-Ho, Oh, Sang-Hoon

### Abstract

There are many problems in present truss-deck slab system for example welding defect, segregation, water leakage, rust and tarnish etc. These problems may be caused by spot welding thin galvanized steel plate and lattice bar. The TOX Joining Systems is to join metal sheets of different material and thickness with and without coating or painting without adding heat or a joining part. Newly developed TOX-deck slab system using non-welding joint is free from above mentioned problems.

The objects of this study are suggestion of design strength of TOX joint by experimental and statistical analyses and development of window based program to design the TOX-deck slab system.

키워드 : 점용접, 아연도 강판, 무용접, 윈도우기반 설계프로그램

Keywords : Spot welding, Galvanized steel plate, Non-welding, Window based program

### 1. 서론

일반적으로 구조용으로 사용되는 데크는 일반합성데크(골데크)와 철선 일체형 데크(트러스데크)로 분류 된다. 최근들어 건물의 장스팬화, 고층화 및 삶의 질 향상에 따른 요구 등으로 인해 일반합성데크에 비해 트러스데크에 대한 수요가 급증하고 있다. 일반적인 트러스데크는 고강도 이형철선을 래티스 형태로 제작하여 아연도 강판에 점용접으로 일체화 시킨 바닥구조체이다. 트러스 데크는 시공용이성, 구조 성능 면에서 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 래티스를 얇은 아연도 강판( $t=0.5\text{mm}$ )에 용접하게 되므로 용접 입열에 의해 시공후 용접부위에서 녹이 발생하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완했다고 하는 제품이 있기는 하나 근본적으로 해결되었다고 볼 수는 없다.

기존 트러스 데크는 아연도 강판이 얇아 트러스 거더의 철선과 강판이 용접될 때 불량이 다수 발생하게 된다. 용접을 할 경우 표면의 도금이 손상되고 강판과 트러스 거더가 완벽하게 접합되지 않고, 강판균열이 발생할 수

있다. 기존 용접접합 트러스 데크는 용접 불량, 탈락, 누수, 외관, 녹 발생 등의 문제를 가지고 있다.

본 연구에서는 기존의 점용접 대신 판금접합이라고 하는 방식으로 래티스를 아연도 강판과 일체화시킨 압접 트러스데크를 대상으로 한다. 신데크는 용접접합이 아닌 새로운 기술을 적용하여 이러한 문제점들을 해소할 수 있다. 그림1~2에 기존의 트러스데크와 압접트러스데크의 하부면을 비교해서 나타낸다.

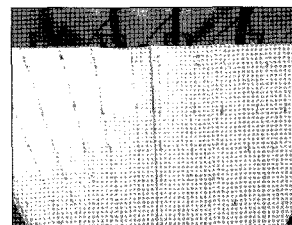


그림1. 기존 트러스데크

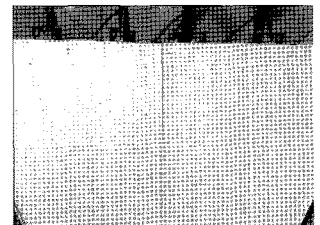


그림2. 압접 트러스데크

앞서 기술한 압접트러스데크는 신개념 판금접합공법인 TOX<sup>1)</sup> 접합을 이용해서 제작하게 된다. 이 기술은 독일의 TOX-Pressotechnik GmbH & Co. KG사가 개발한 것

\* 정회원, 국립공주대학교 천안공과대학 건축학부 교수  
(교신전자:mhyoon@kongju.ac.kr)

\*\* 정회원, 국립부산대학교 공과대학 건축학부 조교수  
이 연구는 2006년도 POSCO 위탁과제 연구 결과의 일부임

1) TOX<sup>®</sup>는 독일의 TOX-PRESSOTECHNIK GmbH & Co. KG의 등록 상표이다.

으로서 선진국에서는 이미 1992년부터 자동차, 가전 등 여러 분야에서 활용되어 기술적, 경제적 가치가 입증되었다.

원리는 그림1과 같이 상부의 원형 펀치가 다이(die) 속으로 소재를 압입하여 펀치측 소재가 다이(die)측 소재속으로 밀려들어가게 되는 것이다. 그림3에 개념도를 나타낸다.

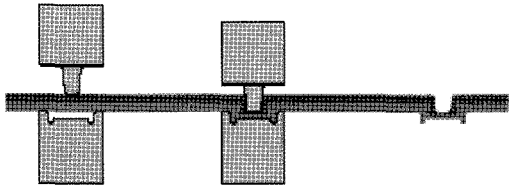


그림3. TOX 접합 개념도

그 결과 아연도 강판 결합 부분에 누수나 부식이 발생할 수 있는 날카로운 면이 생기지 않으며 미관상으로도 미려한 단추 모양으로 깨끗하게 접합되며 알루미늄도금, 아연 도금 처리된 재질의 경우에도 도금층이 소재와 함께 소성 변형되므로 부식을 방지하는 성질이 그대로 남아 있게 된다.

본 연구의 목적은 점용접 대신 판금접합이라고 하는 방식으로 래티스를 아연도 강판과 일체화 시킨 일종의 무용접테크의 개발을 전제로 하여, 압접부의 성능시험 결과를 확률통계적으로 분석하여 설계 내력을 정하고 새로운 철근트러스테크 바닥시스템 설계용 원도우기반 일관 설계프로그램을 개발하는 것이다.

## 2. TOX압접부의 성능 평가

### 2.1 실험계획

TOX압접부에 대한 실험의 종류는 인장실험과 전단실험 2가지로 계획 하였다.

인장 시험의 목적은 연직하중(시공시 하중 및 합성후 시용하중)에 대해 압접부의 탈락 여부에 대한 안전성 확인 및 내력 검토에 있다.

전단 시험의 목적은 시공시 및 사용시 바닥의 처짐에 의해 압접부에는 전단력이 걸릴 수 있으므로 전단에 대한 안전성 확인 및 내력 검토에 있다.

그림4~5에 인장시편 형상 및 인장시험 개념도를 나타낸다.

그림6~7에 전단시편 형상 및 전단시험의 개념도를 나타낸다.

### 2.2 실험결과의 통계분석

그림8에 TOX부 인장시험 결과를 나타낸다.

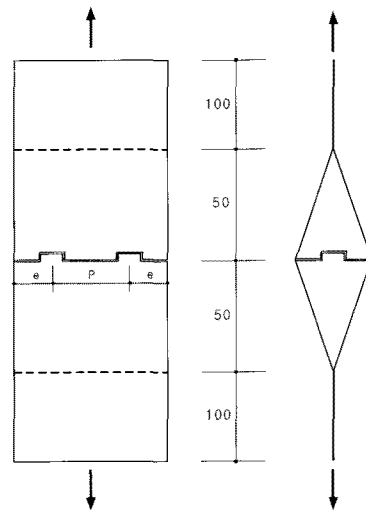


그림4. 인장시편 형상

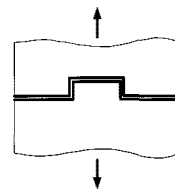


그림5. 인장시험 개념도

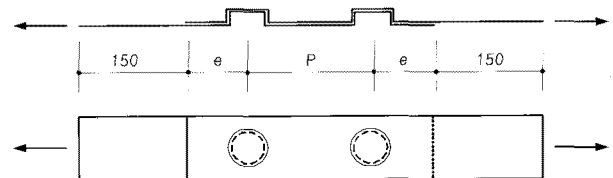


그림6. 전단시편 형상



그림7. 전단시험 개념도

그림 8 TOX압접부 인장시험 결과(6Φ TOX한개당)

인장 실험 결과 데이터를 통계 처리한 결과

평균치 (Average)  $m = 592.47\text{N}$  (1)

표준편차 (Standard deviation)  $\sigma = 44.03\text{N}$  (2)  
 를 얻었다.

확률통계 분석을 위해서 표1에 인장시험에 대한 정규성 검정(Normality Test) 결과를 나타낸다.

표1. Normality Test for Tension(Shapiro-Wilk)

Dataset	N	W	P Value	Decision
TENSION	15	0.88244	0.05201	Normal at 0.01 level

표1로부터 인장 시험 결과 데이터 집합에 대해서 유의수준 1%에서 정규성을 채택할 수 있다.

따라서 설계용 인장항복강도로서는 충분한 안전을 고려하기 위해서 평균치에서 여섯 배의 표준편차를 뺀 값을 채택하기로 한다.

즉 TOX접합 한 개당 인장항복강도( $f_{Xt}$ )는 다음식과 같이 계산한다.

$$f_{Xt} = m - 6 \cdot \sigma \quad (4)$$

$$= 328.29\text{N/ea} \quad (5)$$

따라서 설계용 인장항복강도( $f_{Xt}$ )는

$$f_{Xt} = 320\text{N/ea} \quad (6)$$

$$= 0.32\text{kN/ea} \quad (7)$$

로 규정한다.

그림9에 전단시험 결과를 나타낸다.

평균치 (Average)  $m = 1393.75\text{N}$  (8)

표준편차 (Standard deviation)  $\sigma = 38.12\text{N}$  (9)

표2. Normality Test for Tension(Shapiro-Wilk)

Dataset	N	W	P Value	Decision
TENSION	12	0.89106	0.11631	Normal at 0.01 level

표2에 전단시험에 대한 정규성 검정(Normality Test) 결과를 나타낸다.

표2로부터 전단 시험 결과 데이터 집합에 대해서도 유의수준 1%에서 정규성을 채택할 수 있다.

TOX접합 한 개당 전단항복강도( $f_{Xv}$ )는 다음식과 같이 계산한다.

$$f_{Xv} = m - 6 \cdot \sigma \quad (10)$$

$$= 1165.03\text{N/ea} \quad (11)$$

따라서 설계용 전단항복강도( $f_{Xv}$ )는

$$f_{Xt} = 1160\text{N/ea} \quad (12)$$

$$= 1.16\text{kN/ea} \quad (13)$$

으로 규정한다.

### 3. 설계 일반사항

#### 3.1 구조계획 및 해석

① 본연구에서 건물 골조는 철골조를 대상으로 하고, 모든 하중은 TOX데크가 일방향으로 지지하는 것으로 가정 한다.

구조형식은 시공시나 사용시 모두 1경간 단순지지, 2경간 연속지지, 3경간 연속지지, 캔틸레버의 4가지 종류로 한다.

② 설계방법은 한계상태 설계법을 사용한다.

③ 사용단위는 SI단위를 사용한다.

④ 슬래브의 구조해석은 탄성이론에 의한 해석으로 하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 부분적으로 소성이론도 적용할 수 있다.

#### 3.2 경간

① 시공시는 콘크리트 보와 강재 보 공히 양단 지지보 사이의 순경간에 양쪽 방향으로 각각 50mm씩을 더한 값을 설계용 경간으로 하여 부재력과 처짐을 산정한다. 단, 캔틸레버인 경우는 순경간에 한쪽 방향으로 50mm를 더한 값을 설계용 경간으로 한다.

② 사용시는 콘크리트 보와 강재 보 공히 슬래브 콘크리트와 일체로 되어 있는 경우 순경간을 설계용 경간으로

그림 9 TOX압접부 전단시험 결과(6Φ TOX한개당)

로 하여 부재력과 처짐을 산정한다. 단, 받침보와 슬래브 콘크리트가 일체로 되어있지 않은 경우에는 순경간에 슬래브의 두께를 더한 값을 설계용 경간으로 한다.

**3.3 설계 하중**

① 건축물의 슬래브 해석 및 설계에 사용되는 설계 하중 및 외력은 건설교통부 제정 「건축구조설계기준 제3장 설계하중」의 규정에 따른다.

② 일반적으로 사용하는 고정하중과 활하중 이외에도 시공 중 발생할 수 있는 작업하중을 고려하여야 한다.

③ 시공시 작업하중은 충격하중을 포함하여 1.5 kN/m<sup>2</sup>으로 한다.

④ 시공시의 처짐 산정시에는 작업하중을 포함하지 않는다.

⑤ 시공시 젖은 콘크리트의 무게는 일반 무근 콘크리트인 경우 비중2.3을 사용하되 5%를 할증한 값을 사용한다.

⑥ 사용시 철근 콘크리트 단위 체적당 무게는 다음 표 3에 따른다. 다만, 활하중은 합리적인 방법에 의하여 조사된 값을 사용하거나 「건축물 하중기준 및 해설」의 값을 사용할 수 있다.

표3. 콘크리트 중량

콘크리트종류	철근 콘크리트 단위 체적당 중량
일반 콘크리트	24kN/m <sup>3</sup>
경량 콘크리트	20kN/m <sup>3</sup>

⑦ 하중조합

시공시 고정하중:  $w_D$

$$w_D = w_{sl} + w_{dk} \quad (14)$$

단,  $w_{sl}$ : 젖은 콘크리트 자중[kN/m<sup>2</sup>]

$w_{dk}$ : TOX테크 자중[kN/m<sup>2</sup>]

시공시 활하중:  $w_C$ [kN/m<sup>2</sup>]

작업하중을 의미한다.

시공시 조합하중은,

강도 검토용  $w_u = 1.2w_D + 1.6w_C$  (15)

처짐 검토용  $w_u = w_D$  (16)

사용시 조합하중은,

강도 검토용  $w_u = 1.4w_D + 1.7w_L$  (17)

단,  $w_L$ : 용도별 바닥 적재하중

장기처짐 검토용  $w_s = w_D + 0.5w_L$  (18)

활하중의 50%를 지속하중으로 본다.

**3.4 처짐**

① TOX테크의 처짐값은 다음과 같이 산정한다.

$$\delta_{tot} = \delta_b + \delta_v \quad (19)$$

단,  $\delta_b$ : 휨변형에 의한 처짐값,

$\delta_v$ : 전단변형에 의한 처짐값.

휨변형에 의한 처짐은 탄성계수  $E$ 와 상부철선, 하부철선 및 하부강판의 단면을 사용한 단면2차모멘트  $I$ 에 의해 다음과 같이 결정된다.

단순지지인 경우 :  $\delta_b = \frac{5wl^4}{384EI}$  (20)

캔틸레버인 경우 :  $\delta_b = \frac{wl^4}{8EI}$  (21)

전단변형에 의한 처짐은 전단탄성계수  $G$ 와 전단면적  $A_v$ 에 의해 다음과 같이 결정된다.

단순지지인 경우 :  $\delta_v = \frac{wl^2}{8GA_v}$  (22)

캔틸레버인 경우 :  $\delta_v = \frac{wl^2}{2GA_v}$  (23)

전단강성값  $GA_v$ 는 실험적인 연구에 의해 결정한 값으로서, 래티스재의 축력에 의한 변형과 래티스재와 하부철선간의 편심 절첩에 따른 즉, 비렌디얼 영향에 의한 변형을 고려한 값으로서 설계식은 다음과 같다.

$$GA_v = \frac{57E}{\frac{h(0.85+50/h)^3}{d_L^2} + \frac{36,000}{d_B^4}} \quad (24)$$

여기서,  $E$ 는 강재의 탄성계수,  $h$ 는 TOX테크의 공칭 높이로서 하부철선의 하단부터 상부철선의 상단까지의 거리,  $d_L$ 은 래티스재의 지름,  $d_B$ 는 하부철선의 지름이다.

② 시공시 처짐값

$$\delta = \delta_{tot} - \delta_{cam} \quad (25)$$

단,  $\delta_{tot}$ : 휨변형에 의한 처짐과 전단변형에 의한 처짐의 합

$\delta_{cam}$ : 치울림 값, 단순지지인 경우에만 적용한다.

③ 시공시의 TOX테크 허용처짐은 "ASCE, ANSI, Standard for the Structural Design of Composite Slabs"에 명시된 값을 적용하여 양단 지지인 경우 L/180 또는 20mm 중에서 작은 값으로 한다. 캔틸레버인 경우는 "ASCE, ANSI, Standard for the Structural Design of Composite Slabs"에 명시가 안 되어 있으며, 단순지지구조와 동일한 곡률인 경우 L/90이 되지만 보다 작은 값으로서 L/120로 한다.

④ 시공시의 TOX테크 허용처짐을 강화할 필요가 있는 구조는 보다 작은 값을 적용한다. 예를 들어, 양단지지인 경우 L/360 또는 10mm 중에서 작은 값으로 할 수 있으며, 캔틸레버인 경우 L/180로 할 수 있다.

### 3.5 TOX테크 단면

그림10에 TOX테크 단면 현상 및 주요 제원을 나타낸다.

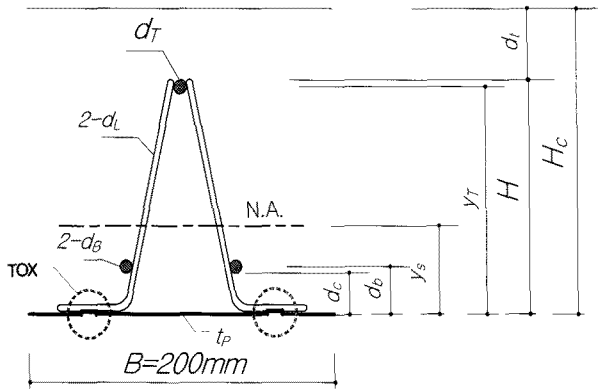


그림10. TOX테크 단면 및 제원

- $d_T$  : 상부철선 직경 [mm]
- $d_L$  : 래티스철선 직경 [mm]
- $d_B$  : 하부철선 직경 [mm]
- $t_P$  : 하부강판 두께 [mm]
- $H$  : TOX테크 높이 [mm]
- $H_C$  : 슬래브(토폽콘크리트 두께) [mm]
- $d_T$  : 상부 피복두께 [mm]
- $d_c$  : 하부 피복두께 [mm]
- $y_s$  : TOX테크의 중립축 거리 [mm]
- $d_b$  : 하부강판에서 하부철선 중심까지의 거리 [mm]
- $y_T$  : 하부강판에서 상부철선 중심까지의 거리 [mm]

### 3.6 TOX부 검토

#### ① TOX인장에 대한 검토

시공시 TOX 한 개에 걸리는 인장력은 다음 식으로 산정한다.

$$P_{Xt} = \frac{w_u}{n_X} \quad [\text{kN}] \quad (26)$$

단,  $n_X$ : 1m×1m 당 TOX 개수로서 20cm×20cm 당 4개씩이므로  $n_X = 100$  이 된다.

설계인장강도는,

$$\phi_t \cdot P_n = 0.9 \times f_{Xt} \quad [\text{kN}] \quad (27)$$

검토식은

$$\phi_t \cdot P_n \geq P_{Xt} \quad \text{이면 O.K} \quad (28)$$

이다.

#### ② TOX전단에 대한 검토

수평전단력은 다음 식으로 산정한다.

$$V_h = \frac{M_u \cdot y_s}{I} \quad (29)$$

시공시 TOX 한개에 걸리는 전단력

$$P_{Xv} = \frac{V_h}{n_{X1}} \quad (30)$$

단,  $n_{X1}$ : 폭 1m당 1열의 TOX개수로서 20cm 당 4개씩이므로  $n_{X1} = 20$

설계전단강도

$$\phi_v \cdot P_n = 0.9 \times f_{Xv} \quad [\text{kN}] \quad (31)$$

검토식은

$$\phi_v \cdot P_n \geq P_{Xv} \quad \text{이면 O.K} \quad (32)$$

이다.

## 4. 설계 프로그램

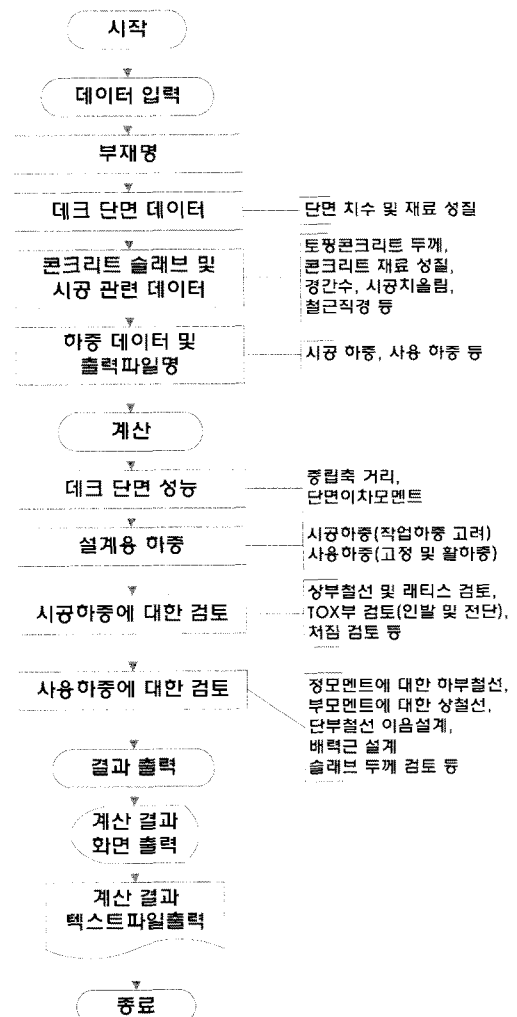


그림11. Flow Chart

#### 4.1 프로그램 개요

설계 프로그램에서 사용한 설계법은 한계상태 설계법이다. TOX부에 대한 강도 검토는 본 연구에서 제안한 값을 사용한다.

설계 프로그램의 흐름도(Flow chart)는 그림11과 같다.

프로그램 실행시 초기화면을 그림12에 나타낸다.

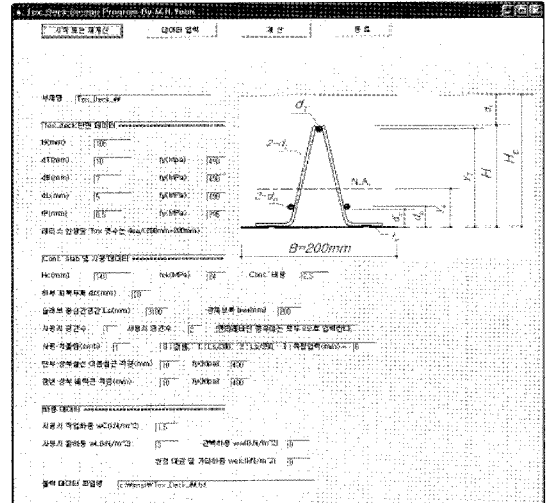


그림12. 프로그램 실행 초기 화면

#### 4.2 초기화면의 입력예

그림13에 부재명 및 단면데이터 입력예를 나타낸다.

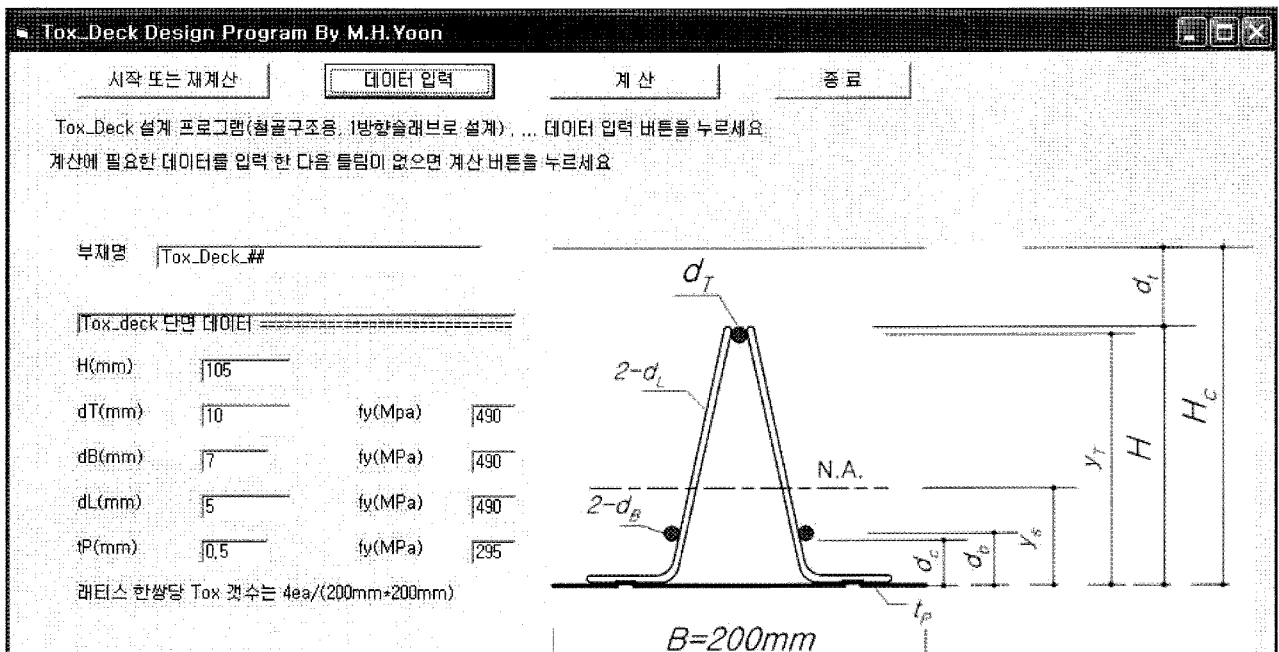


그림13. 부재명 및 단면데이터 입력화면

슬래브 및 시공관련 입력데이터 입력 예를 그림14에 나타낸다.

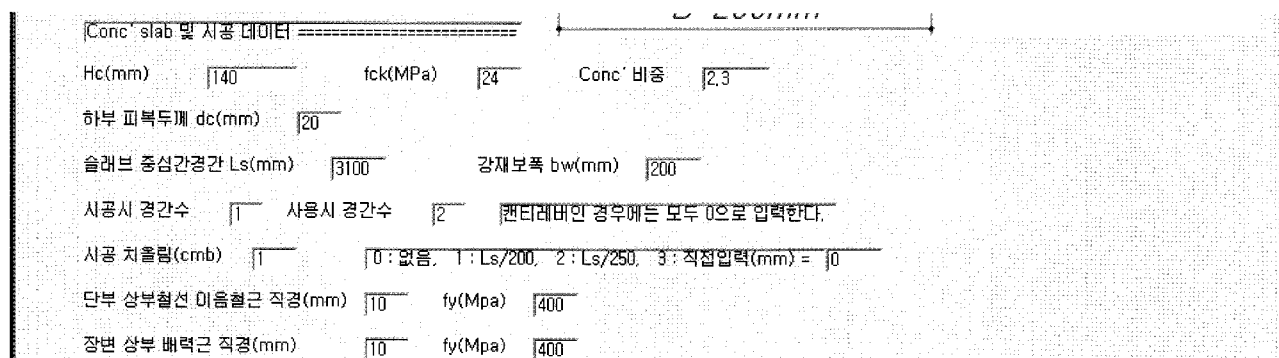


그림14. 슬래브 및 시공데이터 입력화면



5. 결 론

- 1) 신개념 판금접합법인 TOX® 접합부(φ6)의 강도시험 통계분석 결과 아래와 같은 설계기준강도를 제안한다.  
설계기준 인장항복강도:  
 $f_{xt} = 0.32 \text{ kN/ea}$   
설계기준 전단항복강도:  
 $f_{xv} = 1.16 \text{ kN/ea}$
- 2) 트러스테크에서 래티스와 하부강관의 접합 수단으로서의 TOX접합은 기존의 용접 강도와 동등 이상의 강도를 가진다.
- 3) 개발된 윈도우베이스 TOX테크 설계 프로그램은 철골구조용으로 1방향슬래브 적용하는 경우 설계 가능하다.
- 4) 개발 프로그램은 시공치올림(Camber)은 물론 다양한 시공조건 등을 고려 한 설계가 가능하다.

참고문헌

1. ASCE Standards, Standard for the Structural Design : Composite Slabs,ANSI/ASCE3-91, 1992
2. Steel Deck Institute, Composite Deck Design Handbook, March 1997.
3. Steel Deck Institute, Metal Deck and Concrete Quantity, 1987 (Rev.1994)
4. Steel Deck Institute, Standard Practice Details for Composite Floor Deck, Non-Composite Form Deck, Steel Roof Deck, 1992.
5. Steel Deck Institute, Diagram Design Manual, First Edition, 1981.
6. Steel Deck Institute, File , Steel Composite Floor Decks, Steel Form Decks Steel Roof Decks, Electrical Raceway Decks. 1995.
7. Eurocode Design Handbook, Designer's Handbook to Eurocode, Eurocode 4 Part 1.1: Design of Composite Steel and Concrete Structure, 1993.
8. BS 5950 Part4 1982, Structural Use of Steelwork Building, Part4 Code of Practice for Design of Floors with Profiled Steel Sheeting
9. BS 5400 Part5, 1997, Steel, Concrete and Composite Bridges, Part5 Code of Practice for Design of Composite Bridges
10. BS 5950 Part8, 1990, Structural Use of Steelworks in

- Building Part 8, Code of Practice for Fire Resistant Design
11. ANSI, Cold Formed Steel Design Manual, 1986.
12. DELTABEAM, Technical Data for Steel-Concrete Composite Beam, 2001
13. NEWMAN, G.M. The fire resistance of composite floors with steel decking (2nd Edition) The Steel Construction Institute, 1991
14. THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE and THE BRITISH CONSTRUCTIONAL STEELWORK ASSOCIATION Joints in steel construction: Moment connections SCI/BCSA, 1995
15. BRITISH STANDARDS INSTITUTION BS 8110: The structural use of concrete Part 1: Code of practice for design and construction BSI, 1997
16. CEB, "CEB-FIP Model Code 1990", 1990.
17. Tagawa, Y., "Behavior of Composite Beams In Steel Frame under Hysteretic Loading", ASCE, Journal of Structural Engineering. Vol 115, No 8, 1989, pp.2029~2045.
18. Johnson, R.P., and Anderson, d., "Designer's Handbook to Eurocode 4" Thomas Telford, London, 1993.
19. CEN, "Eurocode 3: Design of steel structure", 1993.
20. Mullett, D.L., "Composite Floor Systems", The Steel Construction Institute, 1998.
21. 대한건축학회, Composite Metal Deck Slab System 연구 최종보고서, 1996.
22. 대한건축학회, 합성테크 바닥구조 설계기준(안) 및 해설, 1998. 5
23. 대한건축학회, 합성테크 바닥구조 시공지침서, 1998. 5
24. 덕신철강공업(주), "스피드테크시스템의 구조성능평가에 관한 연구", 2005.11
25. (주)제일테크노스, "제일 NT DECK 구조설계편람", 2005. 4
26. 日本建築學會, Deck Plate와 Concrete와의 Composite Slab의 構造設計指針-同解説
27. 日本鋼材俱樂部, Deck Plate Slab Structure의 設計-施工規準, 1987.
28. 建設省住宅局建築指導課, デッキプレート床構造設計-施工規準, 1991.
29. 日本建築學會, 鋼構造設計施工指針, 同解説, 1992.
30. 社團法人 鋼材俱樂部 合成スラブ研究委員會, 米國合成スラブ事情調査團報告書, 1991.
31. 住金鋼材工業株式会社,エンボス付きデッキプレートをを用いた合成スラブ構造,1985.
32. 合成スラブ工業會, 合成スラブの設計-施工マニュアル, 平成9年12月増補
33. 鋼材俱樂部, デッキプレート床構造設計-施工基準, 技報堂出版, 1991. 3. 15
34. 日本建築學會, 建築物荷重指針-同解説, 1993

(접수 : 2008. 2)