

프리캐스트 콘크리트의 접합부의 상세기준

Standard Precast Concrete Connections
by PCI Committee on Connection Details



임홍철*

1. 머리말

미국 프리캐스트 프리스트레스트 콘크리트 협회 (Precast/Prestressed Concrete Institute, PCI)는 PCI Journal 1998년 7/8 월호에 프리캐스트 접합부 상세기준 (Standard Precast Connections)에 관한 중간보고서를 게재하였다. 이 보고서는 PCI 접합부상세위원회 (Committee on Connection Details)에서 제출한 것으로서, 최종보고서가 나오기 전, 그 내용에 대한 독자들의 사전 검토를 구하기 위해 공개된 것이다.

위원회가 발간하게되는 최종보고서는 "Standard Connections - Design and Details"라는 제목으로, 각종 프리캐스트 콘크리트 접합부를 그 용량과 사용방법에 따라 구분하여, 설명하는 내용을 담게 된다. 이 최종보고서의 목적은 지난 수년간

프리캐스트 콘크리트구조물 시공에 사용된 접합부위 중 아무런 문제없이 견디온 접합부상세를 널리 알리기 위한 것이다.

이번 호 해외 주요기사 소개에서는 i) PCI 협회를 간략하게 소개하고, ii) Precast/Prestressed Concrete의 기본 원리를 살펴본 후, iii) PCI의 설계집, 그리고 iv) 접합부상세에 관한 이번 PCI의 중간보고서 내용을 다루기로 한다.

2. PCI 소개

Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI)는 precast concrete와 prestressed concrete의 사용과 이해를 더욱 증진시키기 위하여 만들어진 기구이다. PCI는 미국 시카고에 본부를 두고 있으며, 다수의 기술전문가들과 마케팅 전문가들을 보유하고 전세계적으로 회원을 가지

*정회원, 연세대학교 건축공학과 조교수

고 있다. 또한, PCI는 precast concrete와 prestressed concrete 제품을 만드는데 대한 연구를 수행하고, 많은 발행물들을 간행하고 있다. PCI는 건설에서 precast concrete와 prestressed concrete를 사용할 때의 이점 (디자인, 기능상의 이점등)을 알리며 건설에 필요한 제품, hollow core slab, 구조적 제품, precast pole, precast housing, soundwall 등에 대한 정보와 기술을 보유 제공하고 있다. 또, 격월간지인 PCI저널을 비롯, precast concrete와 prestressed concrete에 대한 여러 가지 매뉴얼과 핸드북을 발행하고 있는데 발행 물들의 종류는 표1과 같다.

3. 프리스트레스트 콘크리트의 기본원리

다음은 프리스트레스트 콘크리트의 기본원리를 간략히 살펴보기로 한다.

콘크리트는 인장력에는 약하고 압축력에는 강하다. 이런 재료의 성질을 최대한 이용하기 위해서 하중이 가해지기 전에 고강도 prestressing 와이어나 철근을 이용하여 부재에 압축력이 생기도록 한다. 결과적으로 콘크리트 단면이 사용 중에 압축력을 받게 만들어진다. 이때 주어진 부재의 하중과 모양등 특정조건을 만족시키는

prestressing force는 역학과 응력-변형도 관계에 의해서 결정된다. 그리고 재료의 성질을 균질이고 탄성이라고 가정을 한다.

한 예로 중앙에 prestressing force, P를 받고있는 단순보를 생각해보자. 이때, 이 보는 전체적으로 압축응력 $f = -\frac{P}{A}$ 를 받게된다. (A는 단면의 면적, -는 압축응력임을 표시한다.) 이 보에 수직 등분포하중이 작용하면 중앙부에 최대 모멘트 M이 만들어지고 중앙부에서 압축 축과 인장 축의 응력은 식 (1), (2)와 같다.

$$f^t = -\frac{P}{A} - \frac{Mc}{I_g} \quad (1)$$

$$f^b = -\frac{P}{A} + \frac{Mc}{I_g} \quad (2)$$

여기서, I_g 는 단면이차모멘트이고 c는 도심에서 끝단까지 거리이다.

f^b 를 보면 prestressing force가 휨응력을 감소시키는 것을 알 수 있다. 이것으로 인장력을 조절할 수가 있다. 그러나 이 경우 상단을 보면 외부하중 때문에 생길 수 있는 허용 가능한 압축응력이 prestressing force에 의해 생기는 압축응

표 1 PCI 발행물의 주제별 색인

· ACOUSTICS	· PARKING STRUCTURES
· ARCHITECTURAL CONCRETE	· PARTIAL PRESTRESSING
· BRIDGES	· PILES
· BUILDING SYSTEMS	· PLANT AND ERECTION SAFETY
· COMMITTEE REPORTS	· POLES
· CONNECTIONS	· POST-TENSIONED
· DESIGN	· PRESTRESSING STEEL
· DRAFTING	· PRODUCTION
· DURABILITY	· QUALITY CONTROL & CERTIFICATION
· ERECTION	· RAILWAY TIES
· FIRE RESISTANCE	· RECOMMENDED PRACTICES
· GLASS FIBER REINFORCED CONCRETE	· RESEARCH REPORTS
· GUIDE SPECIFICATIONS & STANDARDS	· SEGMENTAL CONSTRUCTION
· GYMNASIUMS AND STADIUMS	· SEISMIC DESIGN
· HANDBOOKS	· TANKS
· HISTORY	· TEES
· HOLLOW-CORE SLABS	· THERMAL DESIGN
· HOUSING	· VIDEOS, SLIDES & SOFTWARE
· MATERIALS	

력으로 인해 감소하게 된다. 이런 단점을 막기 위해 실제로는 그림 1과 같이 편심을 받도록 prestressing 철근을 넣게 된다. 이때의 중앙부에서 압축 측과 인장 측의 응력은 식 (3), (4)와 같다

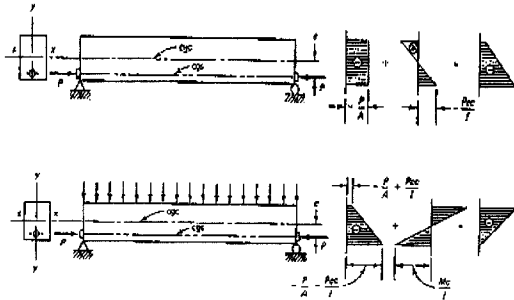
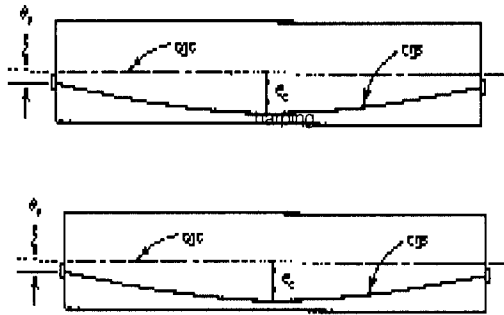


그림 1 프리스트레스트 보 (편심)

$$f^t = -\frac{P}{A} + \frac{Pec}{I_g} - \frac{Mc}{I_g} \quad (3)$$

$$f^b = -\frac{P}{A} - \frac{Pec}{I_g} + \frac{Mc}{I_g} \quad (4)$$



draping
그림 2 편심거리 변화 방법

이 경우 지점에서 외부하중에 의한 휨응력이 없는 반면, 편심하중에서의 인장응력이 생기므로 지점에서 편심거리 e 를 중심부에서 보다 줄여 주어야 한다. 중앙부에서 지점까지 편심거리를 변화시킬 때는 prestressing 철근을 중앙부에서 지점까지 같은 기울기로 올리는 경우 (harping)와 포물선의 형태로 올리는 경우 (draping)가 있다. 일반적으로 그림 2에서와 같이 harping은 프리

텐션공법에 많이 쓰이고 draping은 포스트텐션 공법에 많이 쓰인다.

4. PCI 설계집 (Design Handbook)

PCI 설계집 (Design Handbook)은 precast/prestressed concrete 구조물을 설계하고 제작, 시공하는데 도움이 되도록 만들어져 있다. PCI는 계속되는 개정판을 통해 각 분야의 변화와 발전된 내용을 싣고 있으며, 이번 접합상세부에 관한 보고 내용도 궁극적으로 다음 설계집 개정판에 포함될 것이다.

PCI Design Handbook의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- Assembly Concept : 단층, 복층 건물에서의 prestressed concrete의 사용 예를 보이고 있다.
- Product Information and Capability : 현재 precast concrete industry에서 기준이 되는 shape 들에 대한 기술적 자료를 제공한다. 설계자가 부재를 선택하는데 있어서 길잡이 역할을 한다.
- Design of Precast, Prestressed Concrete Components : precast, prestressed 부재의 설계 이론과 과정을 요약하고 있다.
- Analysis and Design of Precast, Prestressed Concrete Structures : 구조체를 구성하는 요소별로 design criteria를 설명한다.
- Design of Connections : precast, prestressed concrete의 접합 상세 해석과 수식을 설명한다.
- Related Consideration : 온도, 음향적 성질과 방화, 기계, 전기, 그 외의 다른 부수 요소와의 조화에 대하여 설명한다.
- Specifications and References
- General Design Information : 하중 산정표와 재료적 특성, 단면의 성질을 나열해 놓고 있다.

5. 접합부 상세기준

(Standard Precast Connections)

PCI 접합부 상세위원회 (Connection Details Committee)에서 마련한 접합상세기준은 다음과 같은 7개의 장으로 이루어져 있다.

- 1장. INTRODUCTION
- 2장. FOUNDATION CONNECTION
- 3장. BEAM-TO-COLUMN-TO-DOUBLE TEE-TO-SPANDREL
- 4장. DOUBLE TEE-TO-WALL CONNECTIONS
- 5장. WALL-TO-WALL CONNECTIONS
- 6장. ARCHITECTURAL CLADDING
- 7장. MISCELLANEOUS CONNECTIONS

PCI 저널 최근호에는 총 7장 중에서 제1장, 3장, 6장의 발췌된 부분만이 실렸다. 제1장은 개요이고, 제3장과 6장은 접합상세 예제로 이루어져 있다. 접합상세위원회는 독자가 설계 예제의 설명방식과 범위에 대하여 전문기술자적 측면에서 견해를 알려주기를 바라고 있다.

또한, 여기에 실린 예제들은 주어진 가정된 조건하에서 대표적인 접합방법에 대한 설명이며, 다른 어떠한 설계규준과 마찬가지로, 궁극적인 설계에 대한 판단과 책임은 구조기술자에게 있음을 보고서에서 밝히고 있다.

다음은 PCI 중간보고서를 간추린 내용이다.

5.1. 개요 (Introduction)

5.1.1. 배경 (Scope)

접합 (connection)은 사용된 재료에 상관없이 모든 건물에 있어서 필수요소이다. 접합의 목적은 하중 분산과 안정성 (stability)을 확보하는 것이다. 그러므로 접합부 설계는 precast/prestressed concrete 구조물 설계에서 가장 중요한 단계 중 하나이다. 이 보고서는 표준 (standard) 접합을 주 내용으로 하고 있다.

5.1.2. 표준화 (Standardization)

접합은 실용성, 경제성, 좋은 설계와 연관되므로 강도 (strength), 사용성 (serviceability), 연성 (ductility), 생산방법 (production method), 시

공방법 (erection techniques), 미학, 경제성과 같은 요소에 대한 이해가 필요하다.

5.1.3. 접합의 구성

(Organization of Connection)

이 보고서에 설명된 접합은 일반적으로 다음과 같이 분류된다.

- Foundation Connections
- Beam-to-Column-to-Double Tee-to-Spandrel Framing
- Double Tee-to-Wall Connections
- Architectural Claddings
- Miscellaneous

5.1.4. 접합부 설계 (Connection Design Criteria)

접합에 관계된 다음 topic들이 실려있다.

- Loads and Load Factors
- Design Criteria
- Hardware and Load Transfer Devices
- Friction
- Shear Friction

Precast concrete connection은 다양한 설계 기능면을 만족시켜야 한다. 설계방식은 다음과 같다.

- Strength
- Ductility
- Volume Change Accommodation
- Durability
- Fire Resistance
- Constructability
- Aesthetics
- Seismic Requirement

설계자는 다양한 접합부 설계 단계에서 적용하중의 결정에 중요한 역할을 하는 위의 요소들 모두 다 고려해야 한다. 적용된 하중이 주어진 디자인 가정하의 용량을 넘지 않게 하는 것은 설계자의 책임이다. 특별한 접합부 용량을 얻기 위해 사용된 디자인 방법을 설명하기 위해 각 용량표 다음에 설계 예가 제시되어 있다.

5.1.5. 제한 (Limitations)

건물 설계의 가장 중요한 고려사항들 중 일부 -building layout, configuration, precast 부재의 유형선정-는 PCI 설계집에 설명되어 있다. 이 보고서는 어떤 한 접합부설계 방식을 표준화 방식으로 결정하는데 참고가 될 것이다. 특별한 경우, 설계자는 그 프로젝트에 특이한 사항을 분석하고, 이 보고서에 명시된 설계방식이 바람직하고 적용가능한지 결정해야 한다. 각 접합부 문제와 설계 방법에 적절한 해법이 있을 수 있고, 이 보고서에 포함된 예제는 유일한 것이 아니다. 이 보고서는 구조역학과 구조설계에 대한 이해를 가진 사람이 사용하도록 만들어졌으며, 어떤 경우라도 올바른 구조기술자의 전문적 판단을 대신할 수 없다.

5.1.6. 힘과 반작용의 표기 방법

전단력 : V_u or H_u in kips

인장력 : T_u or P_u in kips

압축력 : C_u in kips

축방향 인장과 압축에 관계된 모멘트는 위의 T_u 와 C_u 를 사용해서 그림 3에서와같이 나타내게 된다.

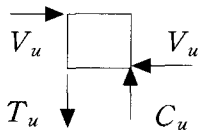


그림 3

5.2. DOUBLE TEE-INVERTED TEE BEAM CONNECTION (그림 4)

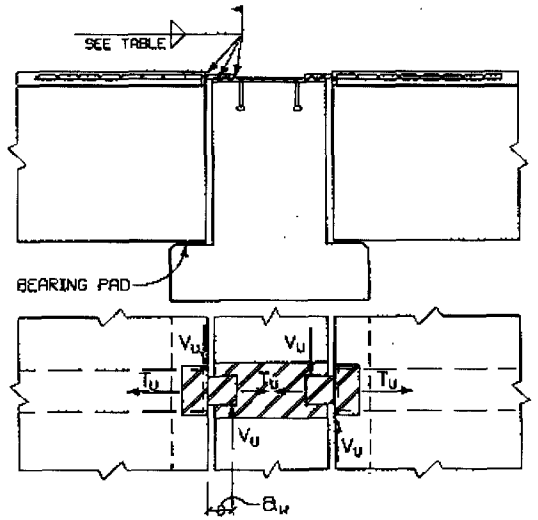


그림 4

설계의 기본 가정

- * 접합부가 연속성을 가지고 있다.
- * 접합부에서 인장력은 전단력의 1/2 값을 가진다.

* $f_c(\text{Precast}) = 5 \text{ ksi}$

$F_y(\text{Plate, angles}) = 36 \text{ ksi}$

$F_y(\text{A706 Reinf.}) = 60 \text{ ksi}$

표 2 용량표

Connection MARK	Loose Coil rod	Double Tee Stem Embed Plate	Maximum Allowable	
			V_u	T_u
PBT-1	1" dia. x 2'-0" Coil rod		15.2 Kips	7.6 Kips
PBT-2	1 1/4" dia. x 2'-0" Coil rod		17.5 Kips	8.8 Kips

$$F_t(\text{H.S.A}) = 60 \text{ ksi}$$

* Double-Tee를 이용한 접합부는 수직으로만 작용한다.

$$* a_w = 3.5 \text{ inch (maximum)}$$

DOUBLE TEE-TO-BEAM 접합부설계 : BT-1

기본사항 : $V_u = 11.5 \text{ kips (Shear at joint)}$

$$T_u = V_u/2 = 5.75 \text{ kips}$$

(Tension across joint)

$$a_w = 3.5 \text{ inch, } M_u = V_u a_w = 40.25 \text{ in.-kips}$$

a) Loose plate 검토 (그림 6)

$$\phi V_n = 0.55 t d_p F_y$$

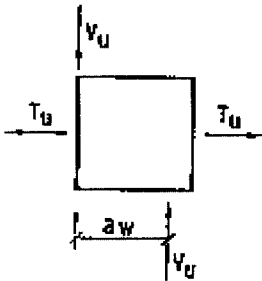


그림 5

$$\phi M_n = 0.92 Z F_y$$

$$\phi T_n = 0.9 A_p F_y$$

$$\frac{T_u}{\phi T_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} < 1.0 \quad \text{O.K.}$$

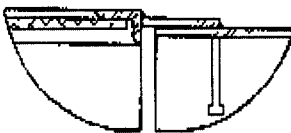


그림 6

b) Angle anchorage cast in double tee 검토

$$\phi T_a = 0.9 A_{sl} f_{ya}$$

$$\phi V_a = 0.75 A_{sl} f_{ya}$$

$$T_{ua} = T_u/2 + V_u (e/ y_a)$$

$$\left[\frac{T_{ua}}{\phi T_a} \right]^2 + \left[\frac{V_a}{2\phi V_a} \right]^2 < 1.0 \quad \text{O.K.}$$

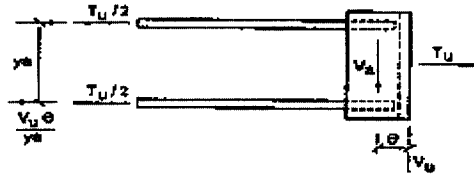


그림 7

c) 용접 검토

1) to angle in double tee :

$$f_{ra} = \sqrt{f_v^2 + f_t^2}, \quad \frac{f_{ra}}{\phi f_w} < 1.0 \quad \text{O.K.}$$

2) to plate in beam :

$$f_r = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad \frac{f_r}{\phi f_w} < 1.0 \quad \text{O.K.}$$

d) 보에서 Plate cast 검토 (그림 8)

$$V_{stud} = \frac{M_N}{d_{bp} - 2 e_{stud}}$$

$$\phi V_{stud} = 2 \times 0.75 A_{st} F_s$$

$$\frac{V_{stud}}{\phi V_{stud}} < 0.1 \quad \text{O.K.}$$

$$\phi T_{nbp} = 0.9 A_{bp} F_y$$

$$\phi M_{nbp} = 0.9 Z_{bp} F_y$$

$$\frac{T_u}{\phi T_{nbp}} + \frac{m_n}{\phi m_{nbp}} < 1.0 \quad \text{O.K.}$$

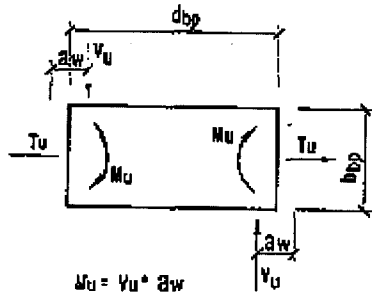


그림 8

5.3 KNIFE EDGE SUPPORT AT CONCRETE OR STEEL BEAM(그림 9)

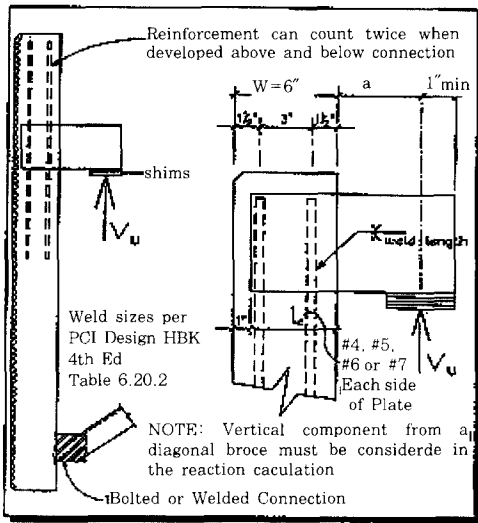


그림 9

설계의 기본 가정

- * Normal WT Concrete, 6" 두께 panel
- * 1" 두께 plate
 - plate에 작용하는 수평력은 bond에 의해 저항
 - factored bond stress가 250 psi를 초과하면 plate의 옆면에 stud를 추가
- * F_y (plate) = 36 ksi $f'_c = 5000$ psi
- * A706 reinforcement Weld E 70 Electrode
- * PCI Design Handbook, 4th Ed., Sect

6.12 참조

- $b = 2.5(1") = 2.5"$ (압축 영역의 유효폭)
- $a = 6"$ or $9"$ (전단 span)
- $s = 3"$ (rebar 간격)
- $e = a + (5"/2)$ (하중 편심)
- $l_e = 5"$ (embedment 길이)
- $h = 1"$ 두께 plate의 height

* No externally applied horizontal force is applied to bearing assembly : Separate tieback at top near bearing. Lateral forces can be taken by this connection

Panel reinforcing must be adequate to transmit bending into panel

Development length , l_d , ACI 318-95, Sect.12.2.3

a) 변수 정의 (Variables defined)

- $l_e = 5$ in. embedment of plate into panel
- $s = 3$ in. plate 위의 reinforcing bar 간격
- $t = 1$ in. plate 두께
- $h =$ height of plate
- $a = 6$ or 8 in. back of precast concrete to bearing
- $e = a + l_e/2$

$b = 2.5$ in. 가정된 유효 압축 영역

b) 재료의 성질 (Material properties)

- $\phi_c = 0.85$ $f'_c = 5$ $\phi_s = 0.9$ $f_{yp} = 36$ ksi
- $f_{yr} = 60$ ksi

c) 용량 (Capacities)

PCI Design Handbook, 4판 Section 6.12, Structural and Steel Haunches 참조

Nominal capacity of section based on concrete and reinforcement on plate :

4개의 variation($i = 1...4$), 2개의 shear span ($j = 0...1$)

$$A_{s,i} = \text{if } \{ i=1, 4 \times 0.2, \text{ if } \{ i=2, 4 \times 0.31, \text{ if } (i=3, 4 \times 0.44, 4 \times 0.60) \}$$

$$a_{j,i} = \text{if } (j=0, 6, 9) ; e_{j,i} = a_{j,i} + (l_e/2)$$

$$h_{j,i} = \text{if } \{ i = 1, 5, \text{ if } \{ i = 2, 6, \text{ if } (i=3, 7, 8) \}$$

표 2 용량표

connx mark	shear span (a)	Height of 1" plate	Rebar Size	l _d	V _u			
					E70 Weld Lenght	Rebar Below Only: (Top of Panel)	Conc. + Rebar Below Only	Conc. + Rebar Above and Below
KN-1	6"	5"	#4	17"	2"	6.35 Kip	12.69 Kip	19.04 Kip
KN-2	6"	6"	#5	24"	2 1/2"	9.84 Kip	16.18 Kip	26.03 Kip
KN-3	6"	7"	#6	33"	3"	13.97 Kip	20.31 Kip	34.28 Kip
KN-4	6"	8"	#7	52"	3 1/4"	19.05 Kip	25.39 Kip	44.44 Kip
KN-5	9"	5"	#4	17"	2"	4.89 Kip	9.76 Kip	14.65 Kip
KN-6	9"	6"	#5	24"	2 1/2"	7.58 Kip	12.45 Kip	20.03 Kip
KN-7	9"	7"	#6	33"	3"	10.76 Kip	15.63 Kip	26.39 Kip
KN-8	9"	8"	#7	52"	3 1/4"	14.68 Kip	19.54 Kip	34.22 Kip

Reinforcing bar below only ; no concrete above (그림 10)

$$\phi V_{c1,i} = \phi_c \left[\frac{A_{si} f_{yr}}{\left(\frac{6 e_{j,i}}{l_e} \right)} \right] \left[1 + \frac{\left(\frac{4.8 s}{l_e} - 1 \right)}{\left(\frac{4.8 s}{l_e} - 1 \right)} \right]$$

Reinforcing bar below only (그림 11)

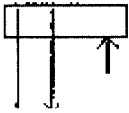


그림 10

$$\phi V_{c2,i} = \phi_c$$

$$\left[1 + \frac{3.6 e_{j,i}}{l_e} \right] + \frac{A_{si} f_{yr}}{\left(\frac{6 e_{j,i}}{l_e} \right)} \left[1 + \frac{\left(\frac{4.8 s}{l_e} - 1 \right)}{\left(\frac{4.8 s}{l_e} - 1 \right)} \right]$$

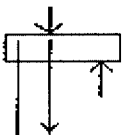


그림 11

Reinforcing bar below and above (그림 12)

$$\phi V_{c3,i} = \phi_c$$

$$\left[1 + \frac{3.6 e_{j,i}}{l_e} \right] + \frac{2 A_{si} f_{yr}}{\left(\frac{6 e_{j,i}}{l_e} \right)} \left[1 + \frac{\left(\frac{4.8 s}{l_e} - 1 \right)}{\left(\frac{4.8 s}{l_e} - 1 \right)} \right]$$

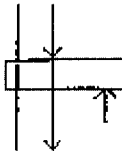


그림 12

Nominal capacity of section based on steel shear bar

Steel plate shear capacity

$$\phi V_{s1,i} = \phi_s (0.6 f_{yp} h_{j,i} t)$$

Steel plate flexure capacity

$$A_{j,i} = a_{j,i} \phi_c f'_{cb}$$

$$B_{j,i} = \frac{\phi_s (0.25) t (h_{j,i})^2 f_{yp} A_{j,i}}{a_{j,i}}$$

$$\phi V_{f1,i} = \frac{\sqrt{(A_{j,i})^2 + (4B_{j,i})} - A_{j,i}}{2}$$

참고문헌

1. American Concrete Institute (1995), "Building code requirements for structural concrete and commentary".
2. Connolly, W.H. (1960), "Design of prestressed concrete beams", Dodge Corp., New York.
3. Edward, G.N., "Reinforced concrete", Prentice Hall.
4. Koncz, T. (1968), "Manual of precast concrete construction", Bauverlag GMBH, Wiesbaden.
5. Leonhardt, F. (1964), "Prestressed concrete", Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin.
6. Libby, J.R. (1971), "Modern prestressed concrete", Van Nostrand Reinhold, New York.
7. Libby, J.R. (1961), "Prestressed concrete", Ronald Press Company, New York.
8. Magnel, G. (1954), "Prestressed concrete", McGraw-Hill Book Co., New York.
9. Precast/Prestressed Concrete Institute, "PCI design handbook".
10. Preston, H.K. and Sollenberger, N.J. (1967), "Modern prestressed concrete", McGraw-Hill Book Co., New York.
11. Preston, H.K. (1960), "Practical prestressed concrete", McGraw-Hill Book Co., New York.
12. Wilby, C.B. (1981), "Post-tensioned prestressed concrete", Applied Science Publishers Ltd, London.
13. Wilson, J.G. (1964), "Exposed concrete finishes", C. R. Books, London. 