



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0008560
(43) 공개일자 2017년01월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E01D 19/14 (2006.01) E01D 19/16 (2006.01)
E01D 2/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
E01D 19/14 (2013.01)
E01D 19/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0099886
(22) 출원일자 2015년07월14일
심사청구일자 2015년07월14일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인하로 100, 인하대학교 (용현동)
(72) 발명자
연정흠
인천광역시 연수구 한나루로158번길 31, 1동 202호 (옥련동, 벽산빌리지)
(74) 대리인
양성보

전체 청구항 수 : 총 6 항

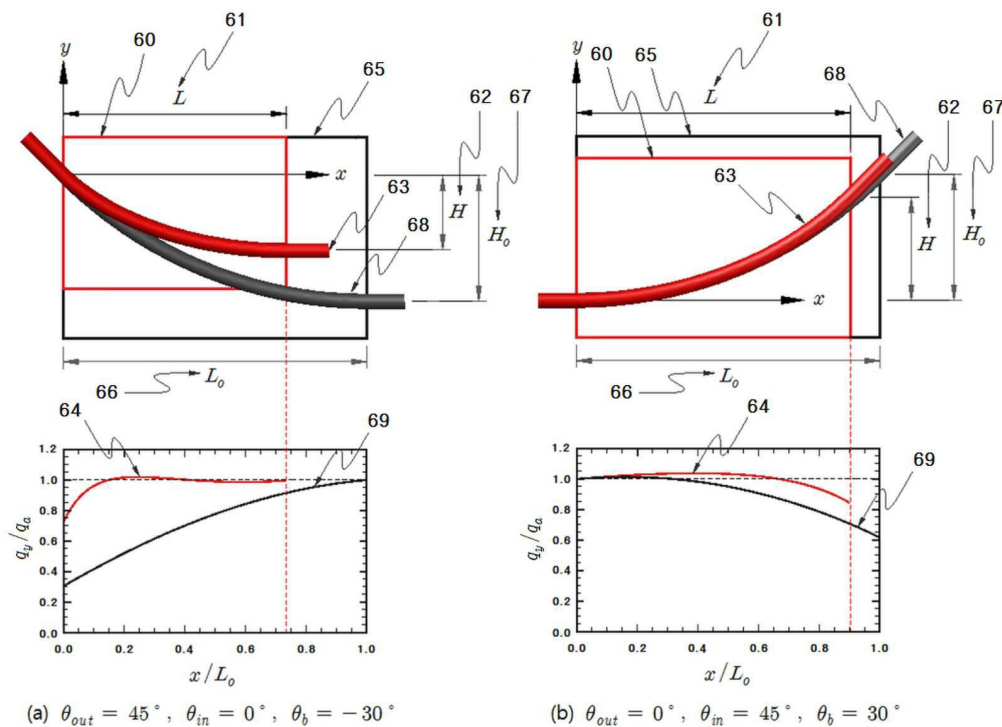
(54) 발명의 명칭 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법

(57) 요약

타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법이 제시된다. 프리스트레스트(Prestressed, PS) 콘크리트 박스형 거더(girder)의 방향변환블록 또는 사장교 주탑에 대한 새들(saddle)부에서 긴장재 또는 케이블이 통과하는 덕트(duct)가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법에 있어서, 원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6



도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정하는 단계; 상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 타원의 장단축 길이를 결정하는 단계; 상기 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 상기 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 결정하고, 정착 철근과 추가 철근의 배근 및 피복 두께 중 적어도 하나 이상을 이용하여 상기 방향변환블록의 크기를 결정하는 단계; 상기 방향변환블록의 길이와 덕트의 높이차를 만족하도록 강관 또는 쉬스(sheath)를 상기 타원의 형상으로 구부리고, 상기 강관 또는 쉬스를 철근 배근과 함께 상기 방향변환블록의 거푸집에 설치하는 단계; 및 콘크리트를 타설하여 타원형 덕트를 만드는 단계를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

E01D 2/04 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

프리스트레스트(Prestressed, PS) 콘크리트 박스형 거더(girder)의 방향변환블록 또는 사장교 주탑에 대한 새들(saddle)부에서 긴장재 또는 케이블이 통과하는 덕트(duct)가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법에 있어서,

원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정하는 단계;

상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 타원의 장단축 길이를 결정하는 단계;

상기 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 상기 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 결정하고, 정착 철근과 추가 철근의 배근 및 피복 두께 중 적어도 하나 이상을 이용하여 상기 방향변환블록의 크기를 결정하는 단계;

상기 방향변환블록의 길이와 덕트의 높이차를 만족하도록 강관 또는 쉬스(sheath)를 상기 타원의 형상으로 구부리고, 상기 강관 또는 쉬스를 철근 배근과 함께 상기 방향변환블록의 거푸집에 설치하는 단계; 및

콘크리트를 타설하여 타원형 덕트를 만드는 단계

를 포함하는 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 방향변환블록의 양생 후 상기 긴장재 또는 케이블을 상기 타원형 덕트의 상기 삽입부에 삽입하고, 상기 인출부에서 상기 긴장재 또는 케이블을 당겨서 상기 방향변환블록에 방향 변환력 또는 인발력을 도입하는 단계

를 더 포함하는 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정하는 단계는,

상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 다음의 수학식 1을 적용하여 결정하고,

[수학식 1]

$$\text{원형 덕트 곡률반경} \quad : \quad R_o = P_o e^{\mu \theta_{out}} / q_a$$

$$\text{등분포 인발력 곡률반경} \quad : \quad R_b = R_o \cdot e^{-\mu \theta_b} (\cos \theta_b + 2\mu \sin \theta_b) \cos \theta_b$$

여기서, P_o 와 θ_{out} 는 각각 인출부의 긴장력과 접선각도, θ_b 는 임의의 기준 접선각도,

μ 는 긴장재와 덕트의 마찰계수, q_a 는 허용 단위길이 인발력

인 것을 특징으로 하는 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 타원의 장단축 길이를 결정

하는 단계는,

상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 다음의 수학적 2 또는 기준 접선각도 30도에 대한 수학적 3으로 상기 타원의 장단축 길이를 결정하고,

[수학적 2]

$$\begin{aligned} \text{타원의 단축:} \quad b &= R_o \cdot \frac{(R_b/R_o)^{2/3} \tan^2 \theta_b}{1 + \tan^2 \theta_b - (R_b/R_o)^{2/3}} \\ \text{타원의 장축:} \quad a &= \sqrt{b R_o} \end{aligned}$$

[수학적 3]

$$\begin{aligned} \text{기준접선각도 } \theta_b = -30^\circ : \quad b &= R_o(0.542 - 0.61\mu) \\ \text{기준접선각도 } \theta_b = 30^\circ : \quad b &= R_o(0.542 + 0.56\mu) \end{aligned}$$

인 것을 특징으로 하는 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 방향변환블록의 크기를 결정하는 단계는,

상기 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 상기 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 다음의 수학적 5를 이용하여 결정하고,

[수학적 5]

$$\begin{aligned} \text{타원 수평 좌표:} \quad x(\theta) &= \frac{(a^2/b) \tan \theta}{\sqrt{1 + (a/b)^2 \tan^2 \theta}} \\ \text{타원 연직 좌표:} \quad y(\theta) &= -\frac{b}{\sqrt{1 + (a/b)^2 \tan^2 \theta}} \end{aligned}$$

여기서, θ 는 접선각도

인 것을 특징으로 하는 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법.

청구항 6

외부 긴장(external prestressing)과 사장교의 주탑 및 케이블의 고정장치 등에는 긴장재(tendon) 또는 케이블(cable)의 방향 변환을 위해 사용되는 방향변환블록; 및

상기 방향변환블록에 형성되어 긴장재 또는 케이블이 통과하는 타원형 덕트(duct)

를 포함하고,

상기 타원형 덕트는,

원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정하여, 상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 상기 타원의 장단축 길이를 결정하며,

상기 방향변환블록은,

상기 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 상기 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 결정하고, 정착 철근과 추가 철근의 배근 및 피복 두께 중 적어도 하나 이상을 이용하여 상기 방향변환블록의 크기를 결정하는 것

을 특징으로 하는 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 아래의 실시예들은 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법에 관한 것이다. 더욱 상세하게는, 방향변환블록에 타원형 덕트를 설치하기 위한 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]외부 긴장(external prestressing)과 사장교의 주탑 및 케이블의 고정장치 등에는 긴장재(tendon) 또는 케이블(cable)의 방향 변환을 위해 방향변환블록(deviation saddle)이 사용된다.

[0003]도 1은 일 실시예에 따른 PS 콘크리트 박스형 거더의 방향변환블록을 개략적으로 나타내는 도면이다.

[0004]도 1에 도시된 바와 같이, 외부 긴장재(12)가 배치된 PS 콘크리트 박스형 거더(box girder, 11)의 방향변환블록의 형태(13, 14)를 나타낼 수 있다. 그리고 방향변환블록에는 긴장재가 통과하게 될 구멍인 방향변환블록의 덕트(duct)가 형성될 수 있다.

[0005]도 2는 기존의 원형의 덕트가 적용된 방향변환블록을 나타내는 도면이다.

[0006]도 2를 참조하면, 박스형 거더 단면의 복부(web)와 플랜지(flange)의 접합부에 설치되고 원형의 덕트가 적용된 기존 방향변환블록을 나타낼 수 있다. 긴장재가 통과하게 될 구멍인 방향변환블록의 덕트(duct)는 인출각도(26)와 삽입각도(27)에 따라 원의 일부인 호(arc)의 형태로 구부러진 강관 또는 쉬스(sheath)(22)를 방향변환블록의 거푸집에 미리 설치하고 콘크리트 타설하는 방법으로 제작된다.

[0007]원형으로 제작된 덕트에 작용하는 단위길이 인발력(pull-out force)의 분포는 접선각도 0도 근처에서 최대이고, 긴장재의 변환각도가 10도를 넘어 증가하면 급격히 감소한다. 이로 인해 긴장재의 방향변환각도가 상대적으로 크게 되면, 원형 덕트가 사용되는 방향변환블록은 비효율적으로 큰 크기로 설계되어야 한다.

[0008]한국공개특허 10-2013-0095713호[특허문헌 1]는 이러한 등분포 인발력이 작용하는 방향변환블록의 덕트 모양 설치 공법에 관한 것으로, 단위길이 인발력의 분포가 일정하도록 접선각도의 변화에 따라 곡률반경이 변하는 모양의 덕트를 설치하는 방법에 관한 것이다.

[0009]이러한 방법으로 제작된 방향변환블록은 최적화된 크기로 방향변환 각도가 클수록 원형 덕트가 사용된 방향변환블록보다 크기를 상당히 줄일 수 있다. 그러나 등분포 인발력이 작용하는 덕트의 설치에는 긴장재의 접선각도 변화에 따라 곡률과 각 곡률에 따른 긴장재의 위치를 계산하는 복잡한 식이 적용되어야 하기 때문에 덕트의 제작에 많은 시간과 비용을 필요로 한다.

[0010]그리고, 한국공개특허 10-2013-0047720호[특허문헌 2]는 이러한 콘크리트 곡선형 박스단면을 가로질러 배치하는 방법에 의한 케이블의 거더 정착공법에 관한 것으로, 사장교 또는 엑스트라도즈교와 같이 케이블에 지지되는 콘크리트 박스 거더에서 케이블의 거더 정착 방법에 관한 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 1. 한국공개특허 10-2013-0095713호
(특허문헌 0002) 2. 한국공개특허 10-2013-0047720호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012]실시예들은 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법에 관하여 기술하며, 보다 구체적으로

PS(prestressed) 콘크리트 박스(box)형 거더(girder)에 적용된 긴장재가 박스형 단면의 복부나 플랜 외부에 배치되는 외부긴장(external prestressing) 공법에서 긴장재 방향을 변환하기 위한 타원형 덕트(duct)가 형성된 방향변환블록(deviation saddle)에 관한 기술을 제공한다.

[0013] 실시예들은 방향변환블록에 타원형 덕트를 형성함으로써, 방향변환블록에서 등분포 인발력(pull-out force)이 작용하는 덕트의 효율성과 원형 덕트 사용의 제작 편의성을 최대한 유지하기 위한 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0014] 일 실시예에 따른 프리스트레스트(Prestressed, PS) 콘크리트 박스형 거더(girder)의 방향변환블록 또는 사장교 주탑에 대한 새들(saddle)부에서 긴장재 또는 케이블이 통과하는 덕트(duct)가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법에 있어서, 원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정하는 단계; 상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 타원의 장단축 길이를 결정하는 단계; 상기 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 상기 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 결정하고, 정착 철근과 추가 철근의 배근 및 피복 두께 중 적어도 하나 이상을 이용하여 상기 방향변환블록의 크기를 결정하는 단계; 상기 방향변환블록의 길이와 덕트의 높이차를 만족하도록 강관 또는 쉬스(sheath)를 상기 타원의 형상으로 구부리고, 상기 강관 또는 쉬스를 철근 배근과 함께 상기 방향변환블록의 거푸집에 설치하는 단계; 및 콘크리트를 타설하여 타원형 덕트를 만드는 단계를 포함한다.

[0015] 여기서, 상기 방향변환블록의 양생 후 상기 긴장재 또는 케이블을 상기 타원형 덕트의 상기 삽입부에 삽입하고, 상기 인출부에서 상기 긴장재 또는 케이블을 당겨서 상기 방향변환블록에 방향 변환력 또는 인발력을 도입하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정하는 단계는, 상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 다음의 수학적 1을 적용하여 결정할 수 있다.

[0017] [수학적 1]

$$\begin{aligned} \text{원형 덕트 곡률반경} &: R_o = P_o e^{\mu \theta_{out}} / q_a \\ \text{등분포 인발력 곡률반경} &: R_b = R_o \cdot e^{-\mu \theta_b} (\cos \theta_b + 2\mu \sin \theta_b) \cos \theta_b \\ \text{여기서, } P_o \text{와 } \theta_{out} &\text{는 각각 인출부의 긴장력과 접선각도, } \theta_b \text{는 임의의 기준 접선각도,} \\ &\mu \text{는 긴장재와 덕트의 마찰계수, } q_a \text{는 허용 단위길이 인발력} \end{aligned}$$

[0018]

[0019] 상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 타원의 장단축 길이를 결정하는 단계는, 상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 다음의 수학적 2 또는 기준 접선각도 30도에 대한 수학적 3으로 상기 타원의 장단축 길이를 결정할 수 있다.

[0020] [수학적 2]

$$\begin{aligned} \text{타원의 단축:} & b = R_o \cdot \frac{(R_b/R_o)^{2/3} \tan^2 \theta_b}{1 + \tan^2 \theta_b - (R_b/R_o)^{2/3}} \\ \text{타원의 장축:} & a = \sqrt{b R_o} \end{aligned}$$

[0021]

[0022] [수학적 3]

$$\begin{aligned} \text{기준접선각도 } \theta_b = -30^\circ: & b = R_o(0.542 - 0.61\mu) \\ \text{기준접선각도 } \theta_b = 30^\circ: & b = R_o(0.542 + 0.56\mu) \end{aligned}$$

[0023]

[0024] 상기 방향변환블록의 크기를 결정하는 단계는, 상기 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 상기 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 다음의 수학적 5를 이용하여 결정할 수 있다.

다.

[0025] [수학식 5]

$$\begin{aligned} \text{타원 수평 좌표:} \quad x(\theta) &= \frac{(a^2/b)\tan\theta}{\sqrt{1 + (a/b)^2\tan^2\theta}} \\ \text{타원 연직 좌표:} \quad y(\theta) &= -\frac{b}{\sqrt{1 + (a/b)^2\tan^2\theta}} \end{aligned}$$

여기서, θ 는 접선각도

[0026]

[0027] 다른 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록에 있어서, 프리스트레스트(Prestressed, PS) 콘크리트 박스형 거더(girder)의 방향변환블록; 및 상기 방향변환블록에 형성되어 긴장재 또는 케이블이 통과하는 타원형 덕트(duct)를 포함하고, 상기 타원형 덕트는 원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정하여, 상기 원형 덕트의 반경과 상기 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 상기 타원의 장단축 길이를 결정하며, 상기 방향변환블록은 상기 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 상기 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 결정하고, 정착 철근과 추가 철근의 배근 및 피복 두께 중 적어도 하나 이상을 이용하여 상기 방향변환블록의 크기를 결정한다.

발명의 효과

[0028] 실시예들에 따르면 PS(pre stressed) 콘크리트 박스(box)형 거더(girder)에 적용된 긴장재가 박스형 단면의 복부나 플랜 외부에 배치되는 외부긴장(external prestressing) 공법에서 긴장재 방향을 변환하기 위한 타원형 덕트(duct)가 형성된 방향변환블록(deviation saddle)을 제공할 수 있다.

[0029] 실시예들에 따르면 방향변환블록에 타원형 덕트를 형성함으로써, 방향변환블록에서 등분포 인발력(pull-out force)이 작용하는 덕트의 효율성과 원형 덕트 사용의 제작 편의성을 최대한 유지하기 위한 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 일 실시예에 따른 PS 콘크리트 박스형 거더의 방향변환블록을 개략적으로 나타내는 도면이다.

도 2는 기존의 원형의 덕트가 적용된 방향변환블록을 나타내는 도면이다.

도 3은 긴장력의 방향변환에 의한 마찰손실과 콘크리트 단면의 단위길이 단면력의 평형조건을 설명하기 위한 도면이다.

도 4는 일 실시예에 따른 타원의 기하학적 형상과 타원 특성의 접선각도를 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 일 실시예에 따른 타원 단축길이의 원형 반경에 대한 비율의 곡률 마찰계수의 변화를 나타내는 도면이다.

도 6은 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록의 크기 및 단위길이 인발력 비율을 설명하기 위한 도면이다.

도 7은 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록의 단위길이 인발력의 허용 인발력에 대한 비율을 설명하기 위한 도면이다.

도 8은 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록의 인출부 접선각도와 삽입부 접선각도의 증가에 따른 방향변환블록의 길이 감소효과를 설명하기 위한 도면이다.

도 9는 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록의 인출부 접선각도와 삽입부 접선각도의 증가에 따른 덕트의 높이차에 대한 감소효과를 설명하기 위한 도면이다.

도 10은 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법을 나타내는 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0031] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 설명한다. 그러나, 기술되는 실시예들은 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 이하 설명되는 실시예들에 의하여 한정되는 것은 아니다. 또한, 여러 실시예들은 당해 기술분야에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해서 제공되는 것이다. 도면에서 요소들의 형상 및 크기 등은 보다 명확한 설명을 위해 과장될 수 있다.
- [0032] 실시예들은 PS(prestressed) 콘크리트 박스(box)형 거더(girder)에 적용된 긴장재가 박스형 단면의 복부나 플랜 외부에 배치되는 외부긴장(external prestressing) 공법에서 긴장재 방향을 변환하기 위한 방향변환블록(deviation saddle)의 덕트(duct)에 관한 것이다. 보다 상세하게는 방향변환블록의 기존 등분포 인발력(pull-out force)을 위한 덕트보다 제작이 수월하면서도 기존의 원형 덕트보다 단위길이 인발력을 효율적으로 작용시킬 수 있는 방향변환블록의 타원형 덕트(duct)의 설치에 관한 것이다.
- [0033] 즉, 실시예들은 방향변환블록에서 등분포 인발력이 작용하는 덕트의 효율성과 원형 덕트 사용의 제작 편의성을 최대한 유지하기 위한 것으로, 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법에 관한 것이다.
- [0034] 도 3은 긴장력의 방향변환에 의한 마찰손실과 콘크리트 단면의 단위길이 단면력의 평형조건을 설명하기 위한 도면이다.
- [0035] 도 3을 참조하면, 긴장력의 방향변환에 의한 마찰손실과 콘크리트 단면의 단위길이 단면력의 평형조건과 이들의 계산식을 나타내는 것으로, 임의의 곡률반경(30)과 접선각도(31)에서 긴장재가 미소각도로 방향을 변환하는 경우에 [특허문헌 2]에서 유도된 긴장재의 방향변환에 의해 덕트에 발생하는 법선력(normal force)(32)과 마찰력(33) 그리고 이로 인해 콘크리트 블록에 발생하는 인발력(34)과 수평력(35)의 계산공식을 얻을 수 있다. 일반적으로 방향변환블록은 길이가 상대적으로 짧기 때문에 과상마찰계수(K)에 의한 손실은 고려되지 않으며, 곡률마찰계수($51, \mu$)만 고려된다.
- [0036] 도 2에 도시된 곡률반경(21)이 일정한 기존의 원형 덕트에 의한 연직방향 단위길이 인발력(34)은 도 3에 도시된 단위길이 단면력 유도식으로부터 유도된 [수학식 1]로부터 계산될 수 있으며, 접선각도에 대한 단위길이 인발력비의 분포는 도 7과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, [수학식 1]은 아래에서 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0037] 도 7을 참조하면, 접선각도(31)의 변화가 10도보다 작은 원형 덕트에서 단위길이 인발력(34)의 분포의 차이는 10% 이내로 원형 덕트의 적용이 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 10도보다 큰 접선각도(31)의 변화와 특히 삽입부의 접선각도(27)가 작고 인출부의 접선각도(26)가 크면, 단위길이 인발력(34) 분포의 급격히 감소로 인해 최대 단위길이 인발력에 의해 설계되는 원형 덕트의 방향변환블록은 비효율인 크기로 설계되어야 한다.
- [0038] 이러한 문제를 해결하기 위해 [특허문헌 1]에서는 덕트의 형상을 [수학식 1]의 등분포 인발력에 대한 곡률반경식으로부터 각 접선각도(26)에 대한 곡률반경을 갖도록 덕트를 설치하여 최적화된 크기로 방향변환블록을 설계할 수 있다. 그러나 등분포 인발력이 작용하는 덕트를 만들기 위해서는 곡률반경식의 적분으로 계산되는 좌표의 복잡한 식이 계산되어야 하고, 정확한 덕트의 모양을 제작하기 위해서는 많은 시간과 비용을 필요로 하는 단점이 있다.
- [0039] 실시예들은 상기와 같은 기존 방향변환블록의 장단점 중에서 장점을 최대한 활용하기 위한 것으로 타원형의 덕트를 방향변환블록에 적용하여 등분포와 유사한 인발력의 분포를 보이면서도 덕트의 설치를 용이하도록 하는 데 목적이 있다.
- [0040] 방향변환블록에 타원형의 덕트를 적용하기 위해서는 방향변환블록에 작용하게 되는 연직방향 인발력과 타원에 대한 장단축의 크기가 결정되어야 한다. 여기서, 연직방향 인발력(25)은 도 2에 도시되어 있다. 그리고 타원에 대한 장단축의 크기에 대해서는 아래에서 도 4를 참조하여 설명하기로 한다.
- [0041] 도 4는 일 실시예에 따른 타원의 기하학적 형상과 타원 특성의 접선각도를 설명하기 위한 도면이다.
- [0042] 도 4를 참조하면, 타원의 기하학적 형상과 타원 특성의 접선각도에 대한 공식을 나타낼 수 있다. 타원에 대한 장단축의 크기(43,44)가 결정하기 위해서 타원 곡률반경식과 [수학식 1]의 곡률반경식으로부터 방향변환블록에 요구되는 타원형 덕트의 장단축의 크기(43,44)를 결정할 수 있다.

- [0043] 이미 알려진 타원의 기하학적 형상과 타원의 식 그리고 접선각도에 대한 기울기와 법선 및 곡률반경의 식은 도 4와 같이 나타낼 수 있다. 접선각도(31) 0에 대한 타원의 곡률반경은 이 점에서 접하는 원의 곡률반경(21)이며, 상기 곡률반경은 상기의 접선각도(31) 0에서 법선 값의 역수로 장축길이(43)의 제곱을 단축길이(44)로 나눈 값이 될 수 있다.
- [0044] 방향변환블록의 설계에 주어지는 인출부의 접선각도(26)와 긴장력(23) 그리고 곡률 마찰계수(51)와 허용 단위길이 인발력에 대해 원형 덕트에 요구되는 반경(21)과 임의 기준 접선각도(52)에 대한 곡률반경은 [수학식 1]의 등분포 인발력 곡률반경식으로 계산될 수 있다.
- [0045] 임의 기준 접선각도(52)에 대한 상기 곡률반경을 곡률반경식에 대입하면 타원의 단축길이(44)는 [수학식 2]와 같이 계산될 수 있다. 여기서, 타원 장축길이(43)는 접선각도(31) 0도에서 타원에 접하는 원의 곡률반경과 타원의 장단축길이(43,44)의 관계로부터 계산될 수 있다. 여기서, [수학식 2]는 아래에서 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0046] 도 5는 일 실시예에 따른 타원 단축길이의 원형 반경에 대한 비율의 곡률 마찰계수의 변화를 나타내는 도면이다.
- [0047] 도 5를 참조하면, 기본 접선각도(52) 30도에서 타원 단축길이(44)의 원형 반경에 대한 비율의 곡률 마찰계수(51)에 대한 변화를 나타내는 것으로, 원으로 표시된 기호는 기준 접선각도(52) 30도에서 원형 덕트의 반경(또는 원형 덕트의 곡률반경, 21)에 대한 단축길이(44)의 비율이다. 일반적으로 적용되는 곡률 마찰계수(51)의 범위 0.05~0.30에 대해 상기 단축길이(44)의 비율은 직선의 형태를 보일 수 있다. 도 5에서 [수학식 3]의 곡률 마찰계수(51)에 대한 단순 직선식으로 계산되는 단축길이(44)의 [수학식 2]에 대한 최대 오차는 0.3%보다 작다.
- [0048] 상기와 같이 타원의 장단축의 길이(43,44)가 결정되면 타원형 덕트(63)에 작용하는 단위길이 인발력(34)의 허용 단위길이 인발력에 대한 비율은 도 4의 타원 곡률반경식을 [수학식 1]의 단위길이 인발력(34) 식에 대입하여 유도된 [수학식 4]로 계산될 수 있다. 또한, 타원형 덕트(63)가 적용된 방향변환블록(60)의 크기를 결정하기 위한 상기 타원의 좌표식은 도 4의 기울기 식으로부터 유도된 [수학식 5]로부터 계산될 수 있다.
- [0049] 위에서 유도된 수학식들로부터 인출부의 접선각도(26)와 긴장력(23) 그리고 곡률 마찰계수(51)와 허용 단위길이 인발력에 요구되는 방향변환블록(60)의 타원형 덕트(63)는 다음의 자료를 활용하여 설계될 수 있다.
- [0050] 즉, [수학식 1]로부터 계산되는 원형 덕트의 곡률반경(21)과 임의 기준 접선각도(52)에서 타원의 곡률반경을 획득할 수 있으며, [수학식 2] 또는 [수학식 3]으로 계산되는 타원 장단축의 길이(43,44)를 계산할 수 있다. 또한, [수학식 5]로 계산되는 타원의 중심에 대한 임의 접선각도(31)에서 좌표를 구할 수 있다.
- [0051] 아래에서 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0052] 도 10은 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법을 나타내는 흐름도이다. 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법은 도 2 내지 도 6을 참조하여 더 구체적으로 설명할 수 있다.
- [0053] 단계(110)에서, 프리스트레스트(Prestressed, PS) 콘크리트 박스형 거더(girder)의 방향변환블록 또는 사장교 주탑에 대한 새들(saddle)부에서 긴장재 또는 케이블이 통과하는 덕트(duct)가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법에 있어서, 원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정할 수 있다.
- [0054] 다시 말하면, 설계조건으로 주어지는 인출부의 접선각도(26)와 긴장력(23) 및 곡률 마찰계수(51)와 허용 단위길이 인발력을 다음의 [수학식 1]에 적용하여 접선각도(31) 0도에서 곡률반경, 즉 원형 덕트의 곡률반경(21)을 결정할 수 있다.

수학식 1

원형 덕트 곡률반경(21): $R_o = P_o e^{\mu\theta_{out}}/q_a$

등분포 인발력 곡률반경: $R_b = R_o \cdot e^{-\mu\theta_b}(\cos\theta_b + 2\mu\sin\theta_b)\cos\theta_b$

여기서, P_o 와 θ_{out} 는 각각 인출부의 긴장력과 접선각도, θ_b 는 임의의 기준 접선각도,

μ 는 긴장재와 덕트의 마찰계수, q_a 는 허용 단위길이 인발력임.

그리고, 단위길이 인발력은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

단위길이 인발력(34): $q_y(\theta) = P_o \frac{e^{-\mu(\theta-\theta_{out})}}{R} \cdot (\cos\theta + 2\mu\sin\theta)\cos\theta \leq q_a$

※ 허용 단위길이 인발력 q_a 는 도로교설계기준(2010) 4.15.6.3(5)⑧(나)로부터 정착철근(28)의

단면적 A_s 와 종방향 중심간격 s 및 항복강도 f_y 에 대해 $q_a = 0.5f_y(A_s/s)$ 을 적용한다.

단계(120)에서, 원형 덕트의 반경과 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 타원의 장단축 길이를 결정할 수 있다.

다시 말하면, 원형 덕트의 곡률반경(21)과 임의의 기준 접선각도(52)에 대한 다음 [수학식 2]로부터 타원의 장단축 길이(43,44)를 결정할 수 있다.

수학식 2

타원의 단축(44): $b = R_o \cdot \frac{(R_b/R_o)^{2/3}\tan^2\theta_b}{1 + \tan^2\theta_b - (R_b/R_o)^{2/3}}$

타원의 장축(43): $a = \sqrt{bR_o}$

또는, 기준 접선각도 30도에 대한 다음 [수학식 3]으로부터 타원의 장단축 길이(43,44)를 결정할 수 있다.

수학식 3

기준접선각도(52) $\theta_b = -30^\circ$: $b = R_o(0.542 - 0.61\mu)$

기준접선각도(52) $\theta_b = 30^\circ$: $b = R_o(0.542 + 0.56\mu)$

단계(130)에서, 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 결정할 수 있다. 그리고, 정착 철근과 추가 철근의 배근 및 피복 두께 중 적어도 하나 이상을 이용하여 방향변환블록의 크기를 결정할 수 있다.

다시 말하면, 타원의 장단축의 길이(43,44)와 인출부의 접선각도(26) 그리고 삽입부의 접선각도(27)에 대한 다음의 [수학식 5]를 이용하여 방향변환블록의 종방향 길이(53)와 덕트의 높이차(54)를 결정하고, 정착철근(28)과 추가 철근의 배근(29) 및 피복두께를 고려하여 방향변환블록의 크기를 설계할 수 있다. 여기서, [수학식 5]는 [수학식 4]로부터 도출될 수 있다.

수학식 4

$$\begin{aligned} \text{원형덕트(68) 인발력비(69): } \frac{q_y(\theta)}{q_a} &= e^{-\mu\theta} \cdot (\cos\theta + 2\mu\sin\theta)\cos\theta \\ \text{타원덕트(63) 인발력비(64): } \frac{q_y(\theta)}{q_a} &= e^{-\mu\theta} \left[\frac{1 + (a/b)^2 \tan^2\theta}{1 + \tan^2\theta} \right]^{3/2} (\cos\theta + 2\mu\sin\theta)\cos\theta \end{aligned}$$

수학식 5

$$\text{타원의 좌표식: } x(\theta) = \frac{(a^2/b)\tan\theta}{\sqrt{1 + (a/b)^2 \tan^2\theta}} \quad y(\theta) = -\frac{b}{\sqrt{1 + (a/b)^2 \tan^2\theta}}$$

단계(140)에서, 방향변환블록의 길이와 덕트의 높이차를 만족하도록 강관 또는 쉬스(sheath)(22)를 타원의 형상으로 구부리고, 강관 또는 쉬스(22)를 철근 배근과 함께 방향변환블록의 거푸집에 설치할 수 있다.

단계(150)에서, 콘크리트를 타설하여 타원형 덕트(63)를 만들 수 있다.

그리고, 방향변환블록의 양생 후 필요한 시기에 긴장재 또는 케이블을 타원형 덕트의 삽입부에 삽입하고, 인출부에서 긴장재 또는 케이블을 당겨서 방향변환블록에 방향 변환력 또는 인발력(25)을 도입할 수 있다.

따라서, 방향변환블록에 타원형 덕트를 형성함으로써, 방향변환블록에서 등분포 인발력(pull-out force)이 작용하는 덕트의 효율성과 원형 덕트 사용의 제작 편의성을 최대한 유지하기 위한 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록 및 그 제작 방법을 제공할 수 있다.

아래에서는 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록에 대해 구체적으로 설명하기로 한다.

다른 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록은 방향변환블록과 타원형 덕트를 포함하여 이루어질 수 있다. 이러한 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록은 앞에서 설명한 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록을 제작하는 방법에 의해 형성될 수 있다.

방향변환블록은 프리스트레스트(Prestressed, PS) 콘크리트 박스형 거더(girder)에 형성될 수 있다. 방향변환블록은 외부 긴장(external prestressing)과 사장교의 주탑 및 케이블의 고정장치 등에는 긴장재(tendon) 또는 케이블(cable)의 방향 변환을 위해 사용될 수 있다.

방향변환블록은 타원의 장단축의 길이와 인출부의 접선각도 및 삽입부의 접선각도에 대한 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차를 결정하고, 정착 철근과 추가 철근의 배근 및 피복 두께 중 적어도 하나 이상을 이용하여 방향변환블록의 크기를 결정할 수 있다.

다시 말하면, 타원의 장단축의 길이(43,44)와 인출부의 접선각도(26) 그리고 삽입부의 접선각도(27)에 대한 다음의 [수학식 5]를 이용하여 방향변환블록의 종방향 길이(53)와 덕트의 높이차(54)를 결정하고, 정착철근(28)과 추가 철근의 배근(29) 및 피복두께를 고려하여 방향변환블록의 크기를 설계할 수 있다. 여기서, [수학식 5]는 [수학식 4]로부터 도출될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{원형덕트(68) 인발력비(69): } \frac{q_y(\theta)}{q_a} &= e^{-\mu\theta} \cdot (\cos\theta + 2\mu\sin\theta)\cos\theta \\ \text{타원덕트(63) 인발력비(64): } \frac{q_y(\theta)}{q_a} &= e^{-\mu\theta} \left[\frac{1 + (a/b)^2 \tan^2\theta}{1 + \tan^2\theta} \right]^{3/2} (\cos\theta + 2\mu\sin\theta)\cos\theta \end{aligned}$$

[0079] [수학식 5]

$$\text{타원의 좌표식: } x(\theta) = \frac{(a^2/b)\tan\theta}{\sqrt{1+(a/b)^2\tan^2\theta}} \quad y(\theta) = -\frac{b}{\sqrt{1+(a/b)^2\tan^2\theta}}$$

[0080]

[0081] 타원형 덕트(duct)는 방향변환블록에 형성되어 긴장재 또는 케이블이 통과하도록 공간부가 형성될 수 있다. 타원형 덕트는 원형 덕트의 반경과 기 설정된 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경을 결정하여, 원형 덕트의 반경과 기준 접선각도에 대한 등분포 인발력의 반경에 대한 타원의 장단축 길이를 결정할 수 있다.

[0082] 다시 말하면, 설계조건으로 주어지는 인출부의 접선각도(26)와 긴장력(23) 및 곡률 마찰계수(51)와 허용 단위길이 인발력을 다음의 [수학식 1]에 적용하여 접선각도(31) 0도에서 곡률반경, 즉 원형 덕트의 곡률반경(21)을 결정할 수 있다.

[0083] [수학식 1]

$$\begin{aligned} \text{원형 덕트 곡률반경(21): } R_o &= P_o e^{\mu\theta_{out}}/q_a \\ \text{등분포 인발력 곡률반경: } R_b &= R_o \cdot e^{-\mu\theta_b}(\cos\theta_b + 2\mu\sin\theta_b)\cos\theta_b \\ \text{여기서, } P_o \text{와 } \theta_{out} &\text{는 각각 인출부의 긴장력과 접선각도, } \theta_b \text{는 임의의 기준 접선각도,} \\ \mu &\text{는 긴장재와 덕트의 마찰계수, } q_a \text{는 허용 단위길이 인발력임.} \end{aligned}$$

[0084]

[0085] 그리고, 원형 덕트의 곡률반경(21)과 임의의 기준 접선각도(52)에 대한 다음 [수학식 2]로부터 타원의 장단축 길이(43,44)를 결정할 수 있다.

[0086] [수학식 2]

$$\begin{aligned} \text{타원의 단축(44): } b &= R_o \cdot \frac{(R_b/R_o)^{2/3}\tan^2\theta_b}{1+\tan^2\theta_b-(R_b/R_o)^{2/3}} \\ \text{타원의 장축(43): } a &= \sqrt{bR_o} \end{aligned}$$

[0087]

[0088] 또는, 기준 접선각도 30도에 대한 다음 [수학식 3]으로부터 타원의 장단축 길이(43,44)를 결정할 수 있다.

[0089] [수학식 3]

$$\begin{aligned} \text{기준접선각도(52) } \theta_b = -30^\circ: \quad b &= R_o(0.542 - 0.61\mu) \\ \text{기준접선각도(52) } \theta_b = 30^\circ: \quad b &= R_o(0.542 + 0.56\mu) \end{aligned}$$

[0090]

[0091] 이와 같이, PS(prestressed) 콘크리트 박스(box)형 거더(girder)에 적용된 긴장재가 박스형 단면의 복부나 플랜 외부에 배치되는 외부긴장(external prestressing) 공법에서 긴장재 방향을 변환하기 위한 타원형 덕트(duct)가 형성된 방향변환블록(deviation saddle)을 제공할 수 있다.

[0092] 도 6은 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록의 크기 및 단위길이 인발력 비율을 설명하기 위한 도면이다.

[0093] 도 6을 참조하면, 기존의 원형 덕트(68)와 본 실시예의 타원형 덕트(63)가 적용된 방향변환블록의 크기 및 단위길이 인발력 비율의 비교(곡률 마찰계수(51) 0.25 적용)할 수 있다. 곡률 마찰계수(51)가 0.25이고 인출부 접선각도(26) 45도와 삽입부 접선각도(27) 0도, 그리고 인출부 접선각도(26) 0도와 삽입부 접선각도(27) 45도에 대한 일 실시예에 따른 타원형 덕트(63)가 형성되는 방향변환블록(60)과 기존의 원형 덕트(68)가 적용된 방향변환블록(65)의 비교한 결과를 나타낸 것이다.

[0094] [수학식 4]로 계산된 타원형 덕트(63)에 작용하는 단위길이 인발력(64)은 원형 덕트(68)에 작용하는 단위길이 인발력(69)보다 상당히 균등하게 분포한다.

- [0095] 도 7은 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록의 단위길이 인발력의 허용 인발력에 대한 비율을 설명하기 위한 도면이다.
- [0096] 도 7을 참조하면, 접선각도(31)에 따른 기존의 원형 덕트(68)와 일 실시예에 따른 타원형 덕트(63)에 작용하는 단위길이 인발력(34)의 허용 인발력에 대한 비율의 비교를 나타낼 수 있다. 기준 접선각도(52) 30도를 적용한 경우 각 접선각도(31)에서 원형 덕트(68)와 타원형 덕트(63)에 작용하는 허용 단위길이 인발력에 대한 단위길이 인발력(34)의 비율을 나타낼 수 있다. 타원형 덕트(63)에서 상대적으로 균등한 단위길이 인발력의 분포(64)는 타원형 덕트(63)가 적용된 방향변환블록(60)의 크기를 감소시키는 효과가 있다.
- [0097] 그리고, 기준 접선각도(52)가 30도보다 크면 접선각도(31) 15도에서 최대 단위길이 인발력(34)이 허용 단위길이 인발력보다 5% 이상 초과할 수 있으며, 상기 기준 접선각도(52)가 30도보다 작으면 단위길이 인발력의 등분포 구간이 축소되어 각도 변화가 큰 경우에 효율성이 떨어지게 된다.
- [0098] 도 8과 도 9는 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록과 [특허문헌 1]에서 적용된 단위길이 인발력이 등분포하는 덕트가 적용된 방향변환블록의 종방향 길이와 덕트의 높이차의 감소효과를 비교한 것이다.
- [0099] 도 8은 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록의 인출부 접선각도와 삽입부 접선각도의 증가에 따른 방향변환블록의 길이 감소효과를 설명하기 위한 도면이다. 그리고, 도 9는 일 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록의 인출부 접선각도와 삽입부 접선각도의 증가에 따른 덕트의 높이차에 대한 감소효과를 설명하기 위한 도면이다.
- [0100] 삽입부 접선각도(27)가 0도로 고정된 상태에서 인출부 접선각도(26)의 변화 그리고 인출부 접선각도(26)가 0도로 고정된 상태에서 삽입부 접선각도(27)의 변화에 대해 상기 두 방향변환블록은 모두 인출부와 삽입부의 접선각도가 증가할수록 단면의 감소효과가 증가하며, 삽입부의 접선각도(27)보다 인출부의 접선각도(26)에 보다 민감하다.
- [0101] 또한, 덕트의 종방향 길이(53)보다 덕트의 높이차에 대한 감소효과가 크다. 특히 인출부 접선각도(26)와 삽입부 접선각도(27)가 45도 이하이면 상기 두 방향변환블록의 크기감소 효과는 곡률 마찰계수(51) 0.05~0.30의 범위에서 매우 유사하다.
- [0102] 따라서, [특허문헌 1]의 최적 설계를 위한 등분포 인발력이 작용하는 덕트가 적용된 방향변환블록은 덕트의 제작에 많은 시간과 비용이 요구되는 반면에, 본 실시예에 따른 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록은 [수학식 2] 또는 이보다 단순한 형태인 [수학식 3]을 적용하여 타원 장단축의 길이(43,44)를 쉽게 결정할 수 있고, 일반적이 기하형태인 타원을 적용하기 때문에 제작이 용이하다.
- [0103] 더욱이, [수학식 1]로 계산되는 원의 반경(21)만 사용하는 기존의 원형 덕트(68)는 제작이 쉬운 반면에, 도 7과 같이 단위길이 인발력(34)이 접선각도(31)가 증가할수록 급격히 감소로 방향변환블록이 비효율적으로 과대설계된다. 그러나 본 실시예에 따른 타원형 덕트(63)에는 인출부의 접선각도(26)와 삽입부의 접선각도(27)가 45도보다 작은 경우 상기 등분포 인발력이 작용하는 단위길이 인발력의 분포와 유사하기 때문에 상기 등분포 인발력이 작용하는 덕트와 같은 크기 감소효과를 유지할 수 있다.
- [0104] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0105] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

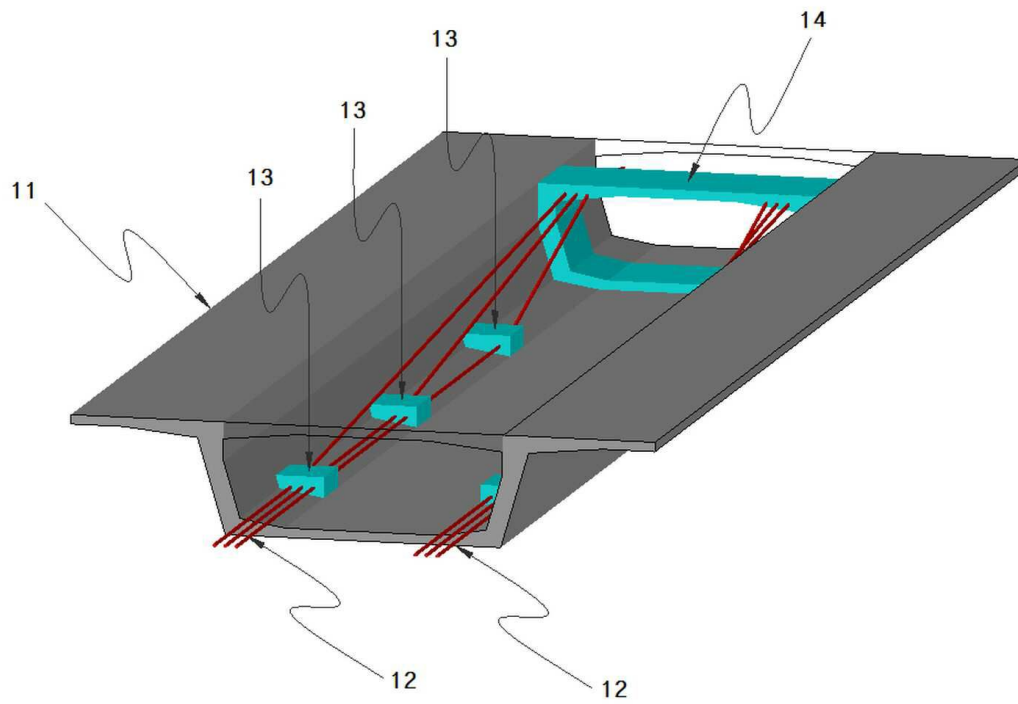
부호의 설명

- [0106] 11: PS 콘크리트 박스형 거더(prestressed concrete box girder)
12: 외부 긴장재(external tendon)

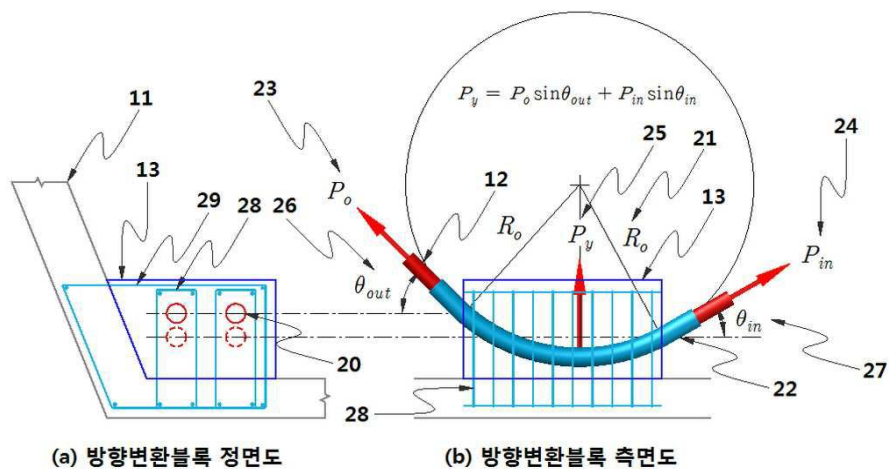
- 13: 블록형 방향변환블록(deviation saddle)
- 14: 격벽(diaphragm)형 방향변환블록
- 20: 덕트(duct)
- 21: 원형 덕트의 곡률반경(radius)
- 22: 강관(steel tube) 또는 쉬스(sheath)
- 23: 인출부의 긴장력
- 24: 삽입부의 긴장력
- 25: 방향변환력(deviation force) 또는 인발력(pull-out force)
- 26: 인출부의 접선각도
- 27: 삽입부의 접선각도
- 28: 인발력에 대한 정착 철근
- 29: 진단마찰과 휨에 대한 추가 철근
- 30: 곡률반경(curvature radius)
- 31: 접선각도(tangent angle)
- 32: 단위길위 법선력(unit length normal force)
- 33: 단위길이 마찰력(unit length friction force)
- 34: 연직방향 단위길이 인발력(unit length pull-out force)
- 35: 단위길이 수평력(unit length horizontal force)
- 41: 타원의 중심에 대한 수평방향 좌표축
- 42: 타원의 중심에 대한 연직방향 좌표축
- 43: 타원 장축의 길이
- 44: 타원 단축의 길이
- 51: 곡률 마찰계수(curvature friction coefficient)
- 52: 기준 접선각도(basic tangent angle)
- 60: 타원형 덕트가 형성되는 방향변환블록
- 61: 타원형 덕트의 종방향 길이
- 62: 타원형 덕트의 연직 높이
- 63: 타원형 덕트
- 64: 타원형 덕트에 작용하는 단위길이 인발력비의 분포
- 65: 원형 덕트가 적용된 방향변환블록
- 66: 원형 덕트의 종방향 길이
- 67: 원형 덕트의 연직 높이
- 68: 원형 덕트
- 69: 원형 덕트에 작용하는 인발력비의 분포

도면

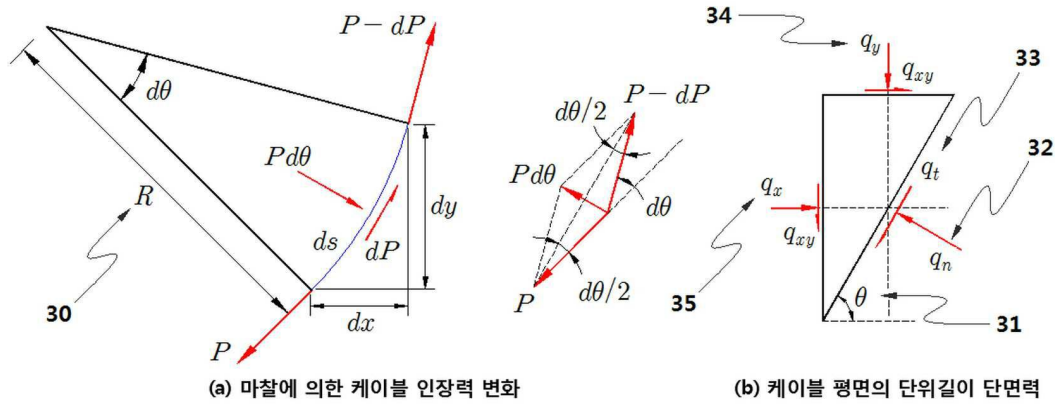
도면1



도면2



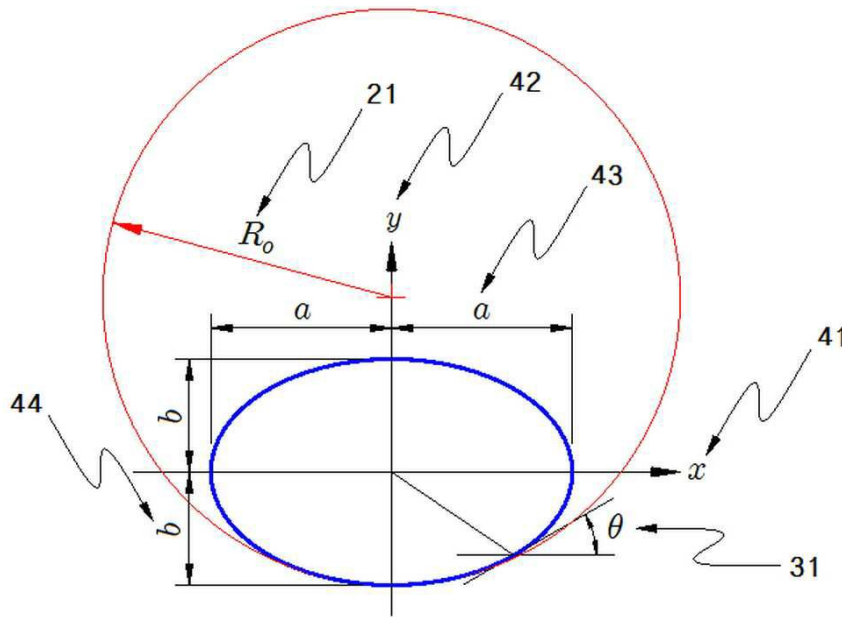
도면3



$$\begin{aligned}
 ds &= R d\theta & dP &= P[1 - e^{-(\mu d\theta + K ds)}] \\
 q_n &= P \frac{d\theta}{ds} = \frac{P}{R} & q_t &= -\frac{dP}{ds} = (\mu + KR) \cdot q_n \\
 \begin{bmatrix} q_x \\ q_y \\ q_{xy} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \sin^2 \theta & \cos^2 \theta & -2\sin \theta \cos \theta \\ \cos^2 \theta & \sin^2 \theta & 2\sin \theta \cos \theta \\ \sin \theta \cos \theta & -\sin \theta \cos \theta & \sin^2 \theta - \cos^2 \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_n \\ 0 \\ q_t \end{bmatrix} \\
 &= q_n \begin{bmatrix} [\sin \theta - 2(\mu + KR)\cos \theta] \sin \theta \\ [\cos \theta + 2(\mu + KR)\sin \theta] \cos \theta \\ 0.5\sin 2\theta - (\mu + KR)\cos 2\theta \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

(c) 케이블 평면 축방향 단위길이 단면력 유도

도면4



(a) 타원의 기하학적 모양과 좌표계

타원식: $\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1$ 또는 $y = \pm \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}$

기울기: $y' = \frac{dy}{dx} = \tan\theta = \left(\frac{b}{a}\right) \frac{x}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \left(\frac{b}{a}\right) \frac{\sqrt{b^2 - y^2}}{y}$

좌표식: $x(\theta) = \frac{(a^2/b)\tan\theta}{\sqrt{1 + (a/b)^2 \tan^2\theta}}$ $y(\theta) = -\frac{b}{\sqrt{1 + (a/b)^2 \tan^2\theta}}$

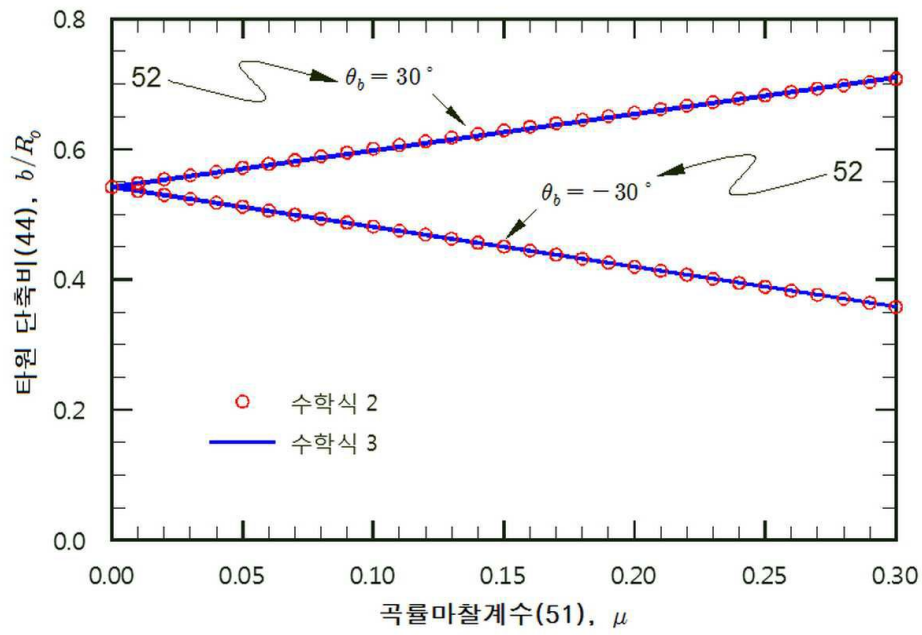
법선식: $y'' = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{b^4}{a^2} \frac{1}{y^3} = \frac{b}{a^2} \left[1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2 \tan^2\theta\right]^{3/2}$

곡률반경: $R(\theta) = \frac{[1 + (y')^2]^{3/2}}{|y''|} = R_o \left[\frac{1 + \tan^2\theta}{1 + (a/b)^2 \tan^2\theta} \right]^{3/2}$

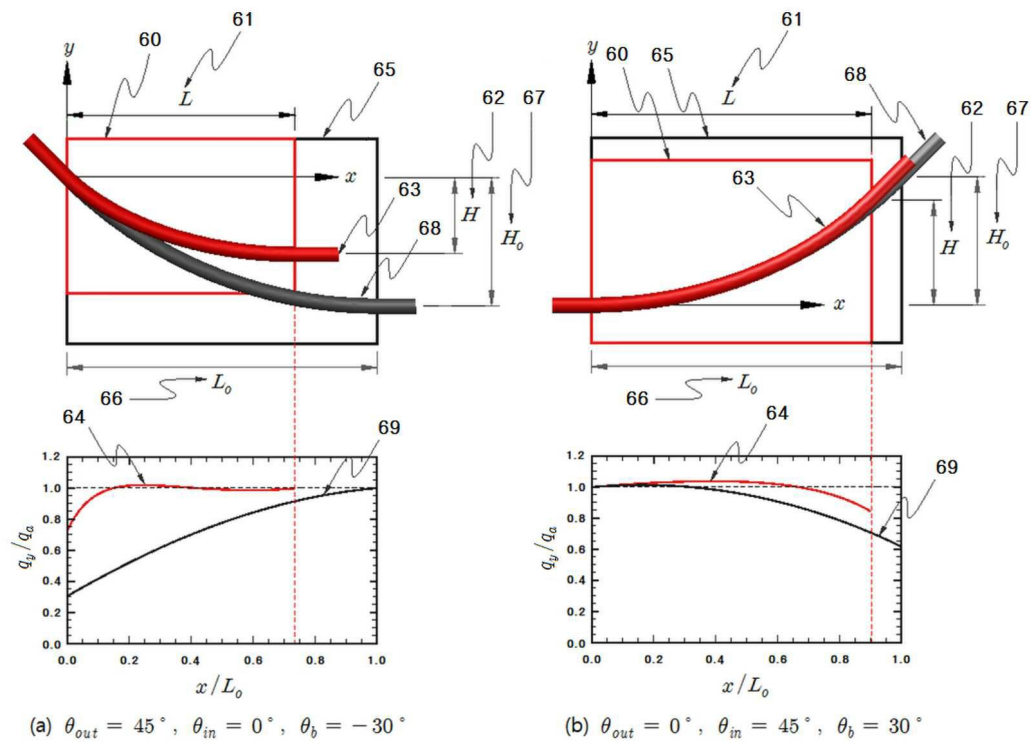
※ 접선각도 $\theta = 0$ 에서 곡률 반경 $R_o = R(\theta = 0) = a^2/b$

(b) 타원의 접선각도(θ)에 대한 기하학적 특성의 공식

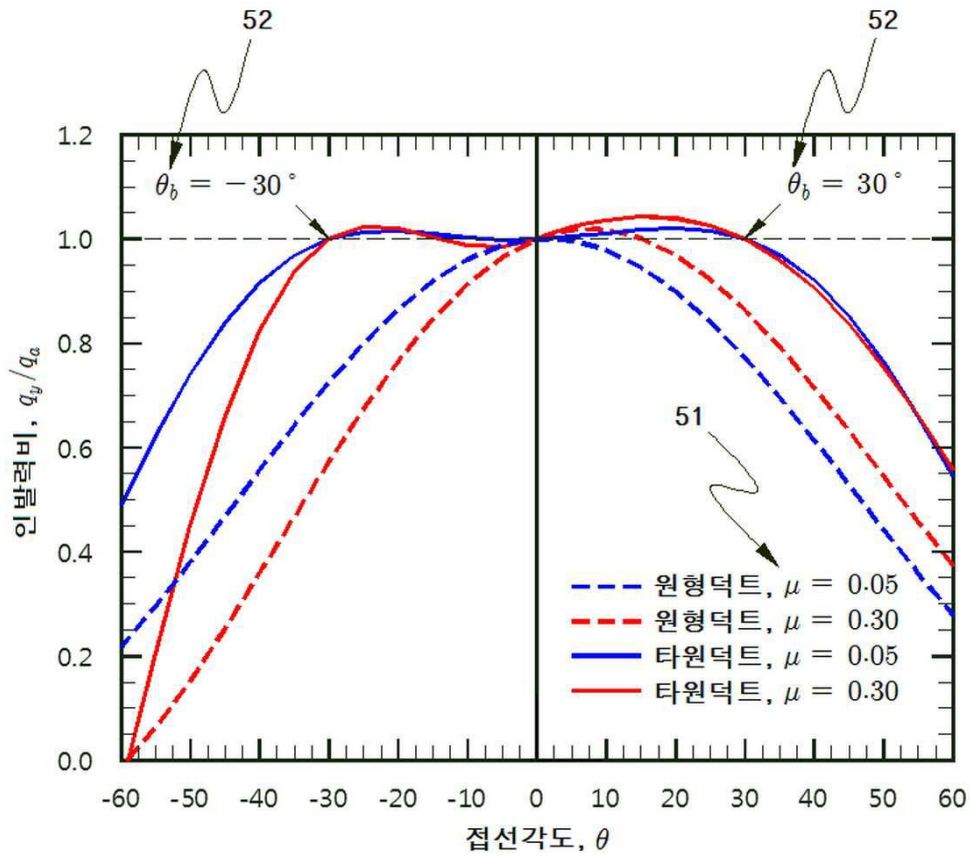
도면5



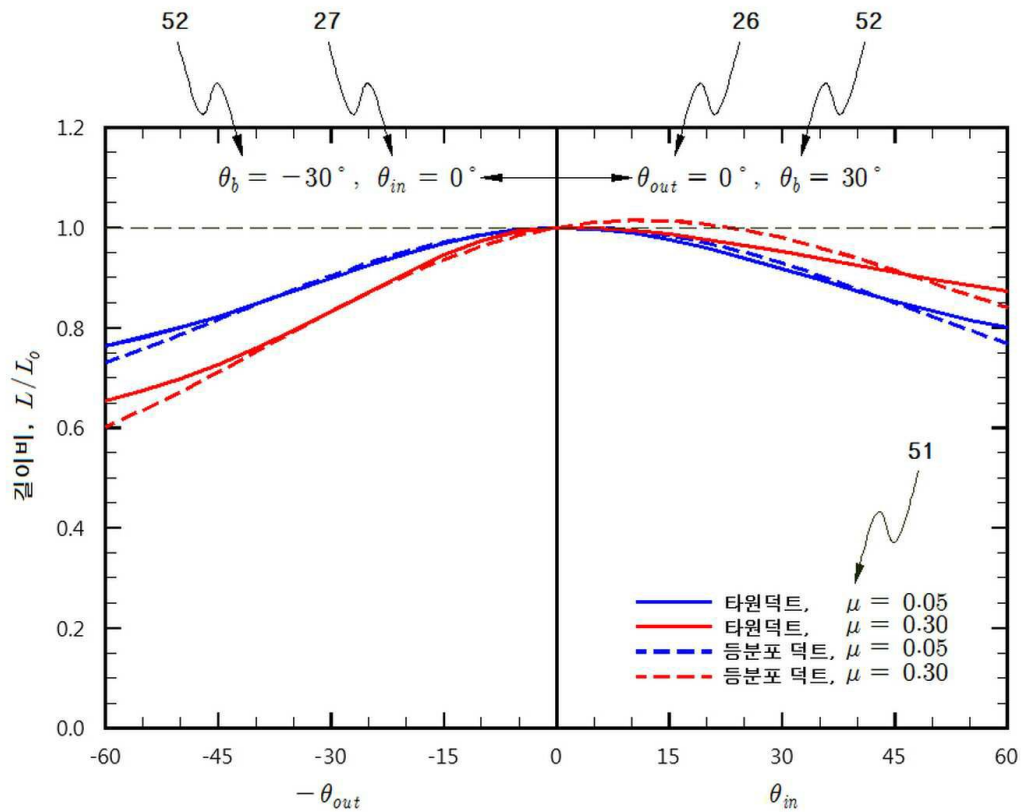
도면6



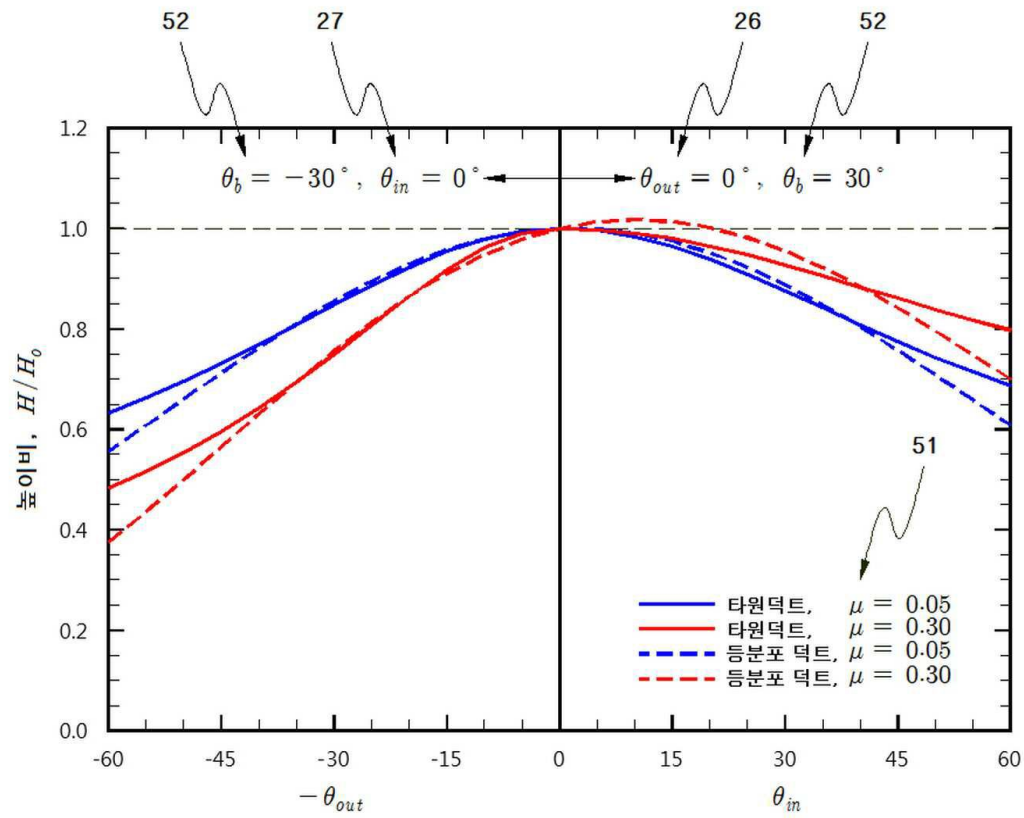
도면7



도면8



도면9



도면10

