

## 파형강판의 최적단면 결정

### Determination of Optimal Section for Corrugated Steel Plates

나 호 성<sup>1)</sup> · 최 동 호<sup>†</sup> · 유 훈<sup>2)</sup>

Na, Ho-Sung · Choi, Dong-Ho · Yoo, Hoon

**ABSTRACT :** In this paper, after studying structural performance for the representative corrugated steel plate used in Korea, we proposed the optimum shape for section of corrugated steel plate considering a width of steel plates that can be produced currently in the factory. Using AISI(1986) in examination for the performance of the corrugated steel plate, we determined the mechanical limit of the optimum sections considering shear force and bending moment of corrugated steel plate and also determined the geometric limit of them considering formability, shapes and ratio between width of steel plate before forming and that after forming. As a result of examination for performance of steel plate applying algorithm for searching optimal sections algorithm developed in this study to the existing representative corrugated steel plate, allowable force and moment of inertia indicated the maximum values at bending radius 76mm and internal bending angle 50°. And as an application result of the optimum design system that used SS490 with 1,550mm of width and 4,700mm of length considering current production situation in Korea, we developed the new section with more than 2 times of structural performance comparing with existing corrugated steel plate.

**Keywords :** Corrugated plate, Bending radius, Inner bending angle, Allowable load, Moment of inertia

**요 지 :** 본 연구는 국내에서 사용되고 있는 대표적인 파형강판 단면에 대하여 구조적 성능을 검토해 본 후, 현재 국내 제강업체에서 생산 가능한 최대 강판 폭을 고려한 최적 형상의 파형강판 단면을 제안하였다. 파형강판 단면의 검토에는 AISI(1986)를 사용하여 강판의 전단력과 모멘트를 고려하여 최적 단면의 역학적 한계를 정하였고, 성형성과 형상, 성형 후의 강판의 폭과 성형 전의 강판의 폭의 비율을 고려하여 기하학적 한계를 정하였다. 기존 파형강판에 본 연구에서 개발한 최적단면 탐색 알고리즘을 적용하여 강판의 성능을 검토 해본 결과, 굽힘반지름이 76mm이고, 내부굽힘각이 50° 부근에서 허용하중과 단면이차모멘트가 가장 큰 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 현재 국내의 강판 제작성을 고려하여 강판폭 1,550mm, 길이 4,700mm의 SS490 강재를 사용하여 최적 단면 탐색 알고리즘을 적용한 결과, 기존 파형강판보다 두 배 이상의 성능을 발휘할 수 있는 새로운 단면들을 개발하였다.

**주요어 :** 파형강판, 굽힘 반지름, 내부 굽힘각, 허용하중, 단면이차모멘트

## 1. 서 론

국내 교량의 경우 지간 20m 이하인 교량의 95%가 철근 콘크리트 교량으로 시공되고 있다. 철근콘크리트 교량의 경우 시공은 거푸집 제작 및 설치, 동바리 설치, 철근 배근, 콘크리트 타설, 양생, 거푸집 제거 등 대부분의 공정이 현장에서 이루어지는 것이 일반적이다. 이를 파형강판 박스구조물로 대체할 경우 공사비 20~30% 절감, 공사기간 50% 단축, 현장작업공정의 최소화에 따른 일정한 품질확보 등의 장점을 가지고 있다.

일반적으로 대골형 파형강판을 이용한 박스 구조물은 앞서 설명한 여러 가지 장점에도 불구하고, 현재까지 12m 이하의 지간에서만 사용가능한 기술이다. 이는 전체구조계가 휨 지배를 받는 기하구조 특성에 의해 현재 사용 중인 대골

형 파형강판 단면이 가지고 있는 한계이다. 이 한계로 인해 국내 하천교량의 최소 경간장인 12.5m 이상인 경우에는 현재 대골형 파형강판 단면으로는 적용이 불가하다.

최초의 박스구조물이 1975년에 시공된 이래 초기의 박스 구조물은 전적으로 실험적인 결과에 의존하여 구조물의 두께와 보강간격을 결정하여 시공되었다. 그러나 박스구조물의 시공이 증가되며, 1978년부터 설계법에 대한 연구가 시작되었고, 유한요소법을 이용한 수치해석 결과와 현장재하 실험 결과를 통해 Duncan 등(1985)은 지간이 2.7~7.7m 범위의 알루미늄 박스구조물에 대한 설계식을 제안하였다. 이후 Boulanger 등(1989)은 현장계측과 유한요소 해석을 통해 설계식에 대한 검토를 수행하였고, McCavour 등(1998)은 두 개의 구조물에 대하여 구조물의 계측값과 수치해석을 비교하여 Rib 보강과 EC-Rib 보강재를 평가했다. 최동호 등

1) 비회원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 박사과정

† 정회원, 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 교수(E-mail : samga@hanyang.ac.kr)

2) 비회원, 현대건설 기술개발원 과장, 공학박사

(2006)은 지간이 12m까지 확장된 설계식을 개발하였다. 그러나 단면성능 검증 및 최적단면 개발에 관한 연구는 미비한 상태다. 또한, 현재 국내에서 사용되고 있는 강판에 대한 검토도 전무한 상태이다. 그러므로 본 연구에서는 기존에 경험적인 방법에 의하여 제작되어 사용되고 있는 표준형 파형강판 및 대골형 파형강판의 구조적 성능을 분석하고, 성형성 및 제작성을 고려하여 기존의 파형강판보다 우수한 단면 성능을 가지는 새로운 단면형상을 제안하고자 한다.

## 2. 지중강판 박스 구조물

지중강판 구조물은 지반-구조물 합성구조 시스템으로 2.7~7mm 두께의 파형강판과 뒷채움 흙으로 구성되어 있다. 얇은 두께의 강판을 파형의 모양으로 성형하여 제작한 것으로 일정한 두께를 갖는 일반 강판에 비해 단면적과 단면이차모멘트가 증가하는 특성을 가지고 있다. 따라서 휨모멘트 및 축력에 대해 우수한 단면성능을 확보할 수 있다. 또한, 경량 구조물로서 재료의 용이한 운반과 더불어 대부분의 제작공정이 공장에서 이루어지며 현장에서는 강판의 볼트연결과 뒷채움 시공 등 현장의 작업공정을 최소화할 수 있는 장점이 있다.

현재 사용되고 있는 파형강판은 골의 폭과 깊이(pitch×depth)에 따라 그림 1과 같은 형상으로 표준형(150mm×50mm)과 대골형(381mm×140mm) 강판으로 구분된다.

대골형 강판과 표준형 강판의 단면성질은 표 1에 나타내었다.

파형강판을 사용한 지중강판 구조물은 크게 아치형 구조물과 박스형 구조물로 구분지을 수 있다. 아치형 구조물은 박스형 구조물과 지간장이 같을 경우, 상대적으로 적은 형하공간을 확보한다는 단점이 있다.

일반적으로 차량하중이 재하되는 지중강판 교량 구조물

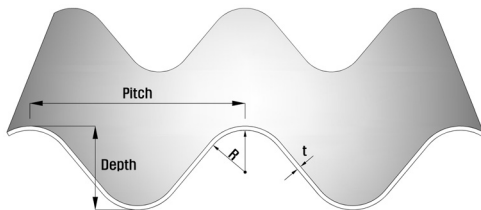


그림 1. 파형강판의 단면

표 1. 대골형 강판과 표준형 강판의 단면성질

강판분류	강판두께 t(mm)	단면적 A(mm <sup>2</sup> /m)	단면계수 S(mm <sup>3</sup> /m)	단면 2차 모멘트 I(mm <sup>4</sup> /m)
대골형	7	9.81	308.24	24164.64
표준형	7	8.71	92.56	2675.11

의 경우 지간장 12m 이하의 구조물에 대해 표준형 강판을 사용할 수 있지만, 12m 이상의 파형강판 박스형 교량이나 파형강판 아치형 교량의 경우 표준형 강판의 사용이 불가능하고, 대골형 강판의 사용 시 교량 구조물 중앙부 및 헌치부에 별도의 보강 공법이 필요하다. 파형강판 구조물의 시공은 그림 2~4와 같이 콘크리트 기초 위에 파형강판을 조립한 후, 그 주변을 양질의 흙으로 뒤채움 하여 완성하는 구조



그림 2. 파형강판 구조물 조립과정



그림 3. 파형강판 구조물 조립완료



그림 4. 파형강판 구조물 상부 뒷채움



그림 5. 지중강판 구조물

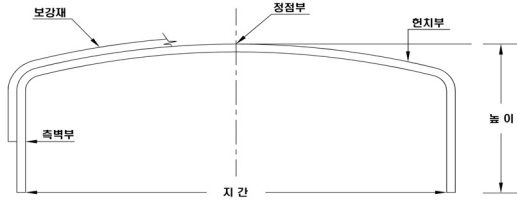


그림 6. 지중강판 박스구조물의 형상(CHBDC 2000)

물로서 주로 그림 5와 같은 완성된 파형강판 구조물은 소교량, 도로나 철도의 횡단통로 등에 적용하고 있다.

지중강판 박스구조물의 종방향 단면형상은 그림 6과 같다(CHBDC 2000). 지중강판 박스구조물은 정점부, 현치부, 측벽부의 세 개의 구성요소와 보강재로 이루어져 있다. 박스형 지중강판 구조물의 경우, 설계 시 모멘트를 고려하여 설계하게 된다. 이때 현치부에서 모멘트가 과다하게 걸리므로 이를 보완하기 위해 보강재를 설치하도록 CHBDC에서는 권고하고 있다. 하지만 기존의 대골형 강판의 성능을 뛰어넘는 강판을 개발하면 현치부의 보강이 필요 없으므로 강판조립과정이 좀더 간단해지고 강판 제작비도 감소할 것으로 사료된다.

### 3. 단면검토를 위한 설계법

강판의 좌굴검토 및 허용하중을 계산하기 위해 AISI(1986) 지침을 사용하였다. AISI(1986)은 허용응력 설계법에 기본을 둔 허용강도 설계법을 채용하고 있다.

허용강도 설계법은 부재의 각종 공칭강도를 산정하여 소정의 안전율로 나눈 값이 허용강도이며, 이 허용강도가 존재하는 부재력 이상이 됨으로써 안전성을 평가하는 방법이다.

이 기준이 한계상태 설계법과 같은 부분은 공칭강도를 산정하는 것이지만, 다른 부분은 하중계수와 강도저감계수가 없으며 대신 안전율을 사용한다는 것이다.

이러한 설계법을 선택하게 된 이유는 허용응력도를 우선적으로 직접 산정하려면 복잡하고 어려움이 있기 때문이다. 한편으로는 허용강도 설계법에서 산정한 공칭강도 값을 이용하여 한계상태 설계법으로 전환하기가 수월하다. 즉 안전율 대신에 하중계수와 강도저감계수만 결정하면 바로 한계상태 설계법으로 전환할 수 있다.

본 연구에서는 AISI(1986)의 허용강도 설계법을 적용하여 기존 파형강판 대골형 단면 검토 및 최적 단면을 개발하였다.

#### 3.1 AISI(1986)

AISI(1986)는 단면검토를 위해 그림 7과 같이 굽힘 반지름 R, 내부 굽힘각  $\theta_1$ , 두께 t, 직선구간의 길이 b, 측방향 길이 L, 강판의 항복강도  $F_y$ , 탄성계수 E등을 고려하여 강판의 허용하중과 단면이차모멘트를 계산한다.



그림 7. AISI의 파형강판 단면에 대한 기호 표기

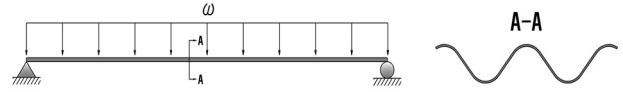


그림 8. AISI(1986) 설계 시 하중 재하

AISI(1986)는 그림 8과 같이 구조물의 윗부분에서 등분포 하중이 가해진다고 가정 후 직선구간에서의 전단력과 모멘트를 고려하여 국부좌굴을 검토한다.

본 연구에서는 AISI(1986)의 지침에 따라 굽힘반지름 R과 내부굽힘각  $\theta_1$ 을 변화시킨 여러 단면에 대한 국부좌굴 검토를 수행하였다.

## 4. 파형강판 최적단면 결정 방법의 정식화

본 연구에서 적용한 파형강판의 최적단면 탐색 알고리즘은 AISI(1986)의 역학적 한계와 성형성 및 성형 전 강판과 성형 후 강판과의 폭의 비율을 고려한 기하학적 한계를 기준으로 정식화하였다.

### 4.1 목적함수

최적설계의 목적함수는 식 (1)에 나타난 바와 같이 파형강판 단면의 단면이차모멘트의 함수로 정식화하였다. 여기서 R은 파형강판 단면의 굽힘 반지름,  $\theta_1$ 는 파형강판 단면의 내부 굽힘각, t는 파형강판 단면의 두께이다.

$$I = F_1(R, \theta_1, t) \quad (1)$$

위와 같은 목적 함수가 최대가 되는 굽힘반지름과 내부 굽힘각을 찾도록 정식화하였다.

### 4.2 설계변수 및 설계상수

파형강판 최적단면 탐색을 위한 설계변수는 표 2와 같이 파형강판 단면의 형상을 모사할 수 있는 굽힘반지름, 내부 굽힘각  $\theta_1$ , 직선구간 길이 b, 강판 두께 t, 성형 전후 폭의 비  $\gamma$ 로 선정하였다. 외부굽힘각  $\theta_2$ , 성형 전의 강판의 폭을

표 2. 설계변수 및 설계상수

설계변수					설계상수	
굽힘 반지름	내부 굽힘각	직선구간 길이	성형 전후 폭의 비	두께	외부 굽힘각	성형 전 강판 폭
R	$\theta_1$	b	$\gamma$	t	$\theta_2$	$L_0$

설계상수로 정하였다. 또한 강재의 생산 가능한 최대 폭과 길이를 설계상수로 정하였다.

#### 4.2.1 사용강재

수치해석에 사용된 강재는 대골형강판에 사용되는 SS490 강재를 사용하였다. SS490 강재의 성분 및 특성은 표 3과 같다. 두께 7.01mm의 SS490 강재의 제작 가능한 최대 폭은 1,550mm이고, 파형강판 길이는 강판 운반 및 조립성을 고려하여 4,700mm로 설정하였다. 그림 9와 같이 SS490 강재에 성형을 하여 파형강판을 제작한다. 최적단면 결정 시 이를 고려하여 성형 전 강판의 폭을 1,550mm(좌우측 볼팅 공간 확보 길이 제외 시 1,450mm)로 제한하였다.

### 4.3 기하학적 제한조건 설정을 위한 기존 대골형 강판의 분석

#### 4.3.1 직선구간

기존 대골형 강판의 굽힘각과 두께를 고정한 후 직선구간 길이(b)와 굽힘반지름(R)을 변화시켜 단위 피치당 단면

표 3. SS490 성분 및 특성(두께 16mm 이하)

재료기호	화학적 성분			기계적 특성		
	P (%)	S (%)	아연부착량 (g/m <sup>2</sup> )	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연산율 5 ≤ t < 16 (%)
SS490	≤ 0.05	≤ 0.05	900 ≤	285	490 ~ 610	15

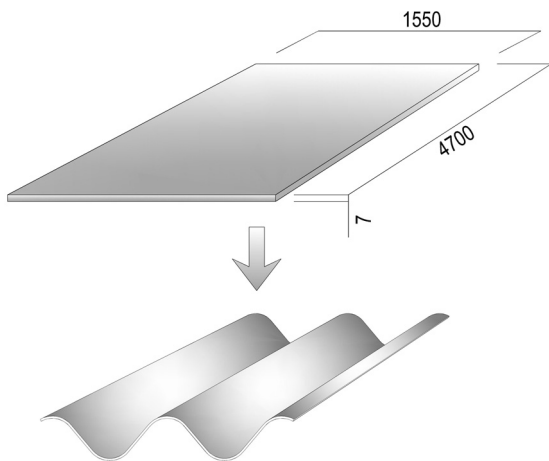


그림 9. SS490 강재 성형 전후 형상

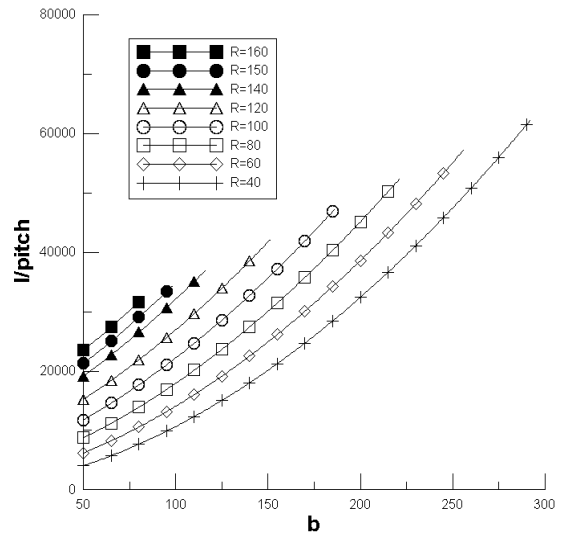


그림 10. 굽힘반지름과 직선구간 길이 변화에 따른 단면이차모멘트

이차모멘트를 검토하였다.

그림 10과 같이 굽힘반지름 R의 크기가 어떤 값을 가지더라도 항상 직선구간 b의 길이가 길어질수록 단면이차모멘트가 증가하는 경향을 보였다. 그러므로 본 연구에서는 파형강판의 단면에서 직선구간의 길이는 아래 식 (2)와 같이 좌굴이 일어나지 않는 한계내에서 최대값을 취하도록 설계하였다.

$$b = (L_0 - 8R\theta_1 - 2R\theta_2) / 4 \quad (2)$$

$L_0$  : 굽힘 전 강판의 길이

R : 파형강판의 굽힘반지름

$\theta_1$  : 파형강판의 내부 굽힘각

$\theta_2$  : 파형강판의 외부 굽힘각

b : 파형강판의 직선구간의 길이

#### 4.3.2 굽힘반지름 및 내부굽힘각

그림 11은 1,000mm의 폭을 가지는 강판으로 파형강판을 제작할 때 파형강판 단면의 직선구간 길이 b를 식 (2)과 같이 강판이 가질 수 있는 최대값으로 고정한 후 굽힘반지름 R과 내부 굽힘각  $\theta_1$ 을 변화시키며 단면이차모멘트를 나타낸 그래프이다. 굽힘반지름 R이 증가할수록 파형강판 단면의 직선구간 길이 b가 줄어들므로 단면이차모멘트가 감소하는 것을 알 수 있다. 굽힘반지름 R의 최소값은 강판의 성형성과 볼팅을 고려하여 26.2mm 이상을 채택하였고, 굽힘반지름의 최대값은 106.2mm 이상으로 적용할 경우 직선구간 길이(b)가 약 37.69mm로 매우 작아 강판의 굽힘 가공성을 고려하여 이 값을 한계로 정하였다.

또한 굽힘반지름 R이 작고 내부굽힘각  $\theta_1$ 이 커질수록 단

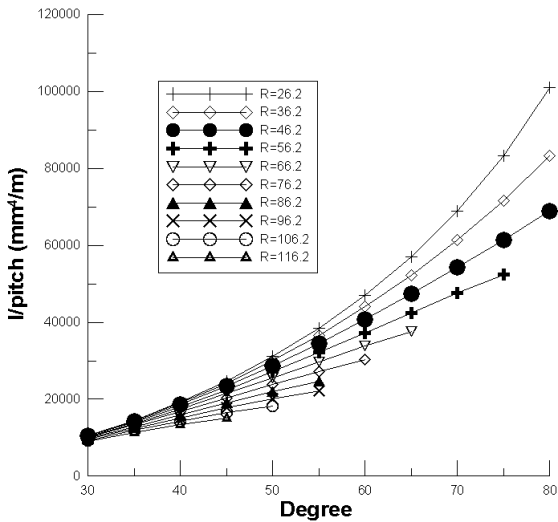


그림 11. 굽힘반지름 및 굽힘각의 변화에 따른 단면이차모멘트



그림 12. 굽힘각도 30°일 때 파형강판 형상

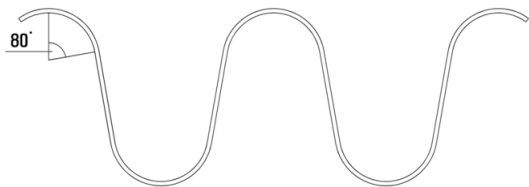


그림 13. 굽힘각도 80°일 때 파형강판 형상

면이차모멘트는 증가하게 되지만, 굽힘 전의 강판과 굽힘 후의 파형강판 폭의 제한으로 굽힘반지름 R이 작고 내부굽힘각  $\theta_1$ 이 큰 모델들은 제약조건에 걸리게 된다. 허용하중은 내부굽힘각  $\theta_1$ 이 커질수록 증가하는 추세를 보이나 굽힘반지름 R이 커질수록 작은 굽힘에서 오히려 조금 줄어드는 경향을 보인다.

이와 같은 이유와 파형강판의 성형성을 고려하여 내부 굽힘각도는 그림 12~13과 같이 30°~80°로 제한하였다.

#### 4.3.3 성형 전후 강판의 폭 비율

파형강판은 평평한 성형 전 강판에 굽힘을 가해 만드는 것이다. 이때 굽힘의 정도에 따라 성형 전 강판과 성형 후 파형강판의 폭의 비율을 결정한다. 폭 비율의 결정에 있어서는 같은 굽힘각도에서 굽힘반지름(R)이 작을수록, 같은 굽힘반지름에서 굽힘각도가 클수록, 직선거리가 길수록 보다 큰 단면2차 모멘트를 가지는 단면형상을 결정할 수 있다. 그러나 이 경우에는 강판의 성형성에 문제가 생길 수 있고, 일정 폭원의 구조물 시공 시 너무 많은 강판의 사용이 요구되므로 폭 비율의 한계를 정하는 것이 필요하다. 따라서 본

표 4. 기존파형강판의 폭의 비율

size	원판길이 (mm)	Pitch (mm)	Pitch /원판길이(%)
대골형(381*140)	480.58	381	79.28
표준형(152*51)	178.48	152.4	85.38
38*6.5	38.93	38.1	97.86
68*13	69.20	68	98.26
76.2*25.4	88.16	76.2	86.43
125*25	133.08	125	93.93

연구에서는 폭 비율의 한계를 결정하기 위해 기존에 사용되고 있는 파형강판의 폭 비율을 분석하여 표 4에 나타내었다.

분석 결과에 의하면 현재 사용되고 있는 대골형 강판과 표준형 강판의 폭은 굽힘 전 강판폭의 약 80% 이상 이 되도록 설계되어 있음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서도 기존의 경향과 같이 파형강판 단면의 폭이 굽힘 전 강판폭의 80% 이상을 가지도록 설계하였다.

## 4.4 제약조건

AISI(1986)의 파형강판에 대한 설계 제한사항과 기하학적 제한사항은 다음과 같다.

### 4.4.1 허용전단력

AISI(1986)에서는 허용전단력 검토시 파형강판 단면에 전단력만 작용한다고 가정하고 직선구간의 좌굴 검토를 위해 식 (3)~(4)와 같이 허용전단력을 검토한다.

$$\text{if } b/t \leq 1.38 \sqrt{Ek_v/F_y}$$

$$V_a = 0.38t^2 \sqrt{k_v/F_y} \leq (11800F_y/E)bt \quad (3)$$

$$\text{if } b/t \geq 1.38 \sqrt{Ek_v/F_y}$$

$$V_a = 0.53Ek_v t^3/b \quad (4)$$

$V_a$  : 허용전단력

$t$  : 강판두께

$k_v$  : 전단좌굴 계수

$b$  : 파형강판 직선구간 길이

$E$  : 탄성계수

$F_y$  : 강재의 항복강도

### 4.4.2 허용모멘트

AISI(1986)에서는 설계 모멘트 검토 시 파형강판 단면에 모멘트만 작용한다고 가정하고 직선구간에 발생하는 모멘트가 공칭모멘트 이하로 발생하는지 식 (5)~(6)을 통하여 확인하여 좌굴검토를 수행한다.

$$M_a = M_n / \Omega_f \quad (5)$$

$$M_n = S_e F_y \quad (6)$$

$M_a$  : 허용 모멘트

$M_n$  : 공칭 모멘트

$S_e$  : 유효면적의 단면계수

$F_y$  : 강재의 항복강도

$\Omega_f$  : 휨에 관한 안전계수(1.67)

#### 4.4.3 기하학적 제약조건

식 (7)~(8)의 제약조건은 굽힘반지름에 관한 것으로 강판의 성형성을 고려하여 최소 26.2mm로 제한하였고, 일정한 굽힘반지름 이상에서는 오히려 허용하중이 감소하는 것을 고려하여 최대 106.2mm 이하로 제한하였다.

식 (9)~(10)의 제약조건은 성형 이후의 파형강판의 폭을 고려하여 30° 이상, 80° 이하로 제한하였다.

식 (11)의 제약조건은 성형 전의 SS490 강판의 크기를 고려하여 성형 후의 파형강판의 길이가 성형 전 강판의 폭을 초과하지 않도록 제한하였다.

식 (12)의 제약조건은 성형 전 강판의 폭과 성형 후의 강판의 폭의 비율을 80% 이상으로 제한하였다.

설계변수 중 두께(t)와 외부굽힘각( $\theta_2$ )은 기존 파형강판과의 연관성을 확보하기 위해 7.01mm와 29.09°로 고정하였다.

$$g_1 = 26.2 - R \leq 0 \quad (7)$$

$$g_2 = R - 106.2 \leq 0 \quad (8)$$

$$g_3 = 30^\circ - \theta_1 \leq 0 \quad (9)$$

$$g_4 = 80^\circ - \theta_1 \leq 0 \quad (10)$$

$$g_5 = (8\theta_1 + 1.015)R + 4b - L_0 \leq 0 \quad (11)$$

$$g_6 = 0.8 - \frac{S}{L_0} \leq 0 \quad (12)$$

$R$  : 굽힘반지름

$\theta_1$  : 내측 굽힘각

$b$  : 파형강판의 직선구간의 길이

$L_0$  : 굽힘 전 원판의 총 길이

$S$  : 파형강판 총길이

### 5. 파형강판 최적단면 탐색 알고리즘

파형강판 최적단면 결정 방법의 정식화를 바탕으로 실질적인 최적단면 탐색 알고리즘을 그림 14에 나타낸 바와 같

이 구성하였다.

### 6. 대골형 강판에 최적단면 탐색 알고리즘의 적용

본 연구에서 개발한 최적단면 탐색 기법을 현재 사용되고 있는 대골형 강판에 적용하여 단면성능을 검증하였다.

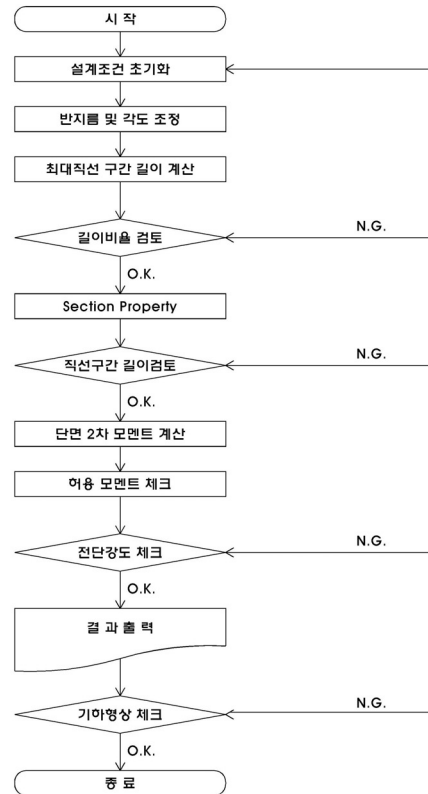


그림 14. 최적단면 탐색 알고리즘

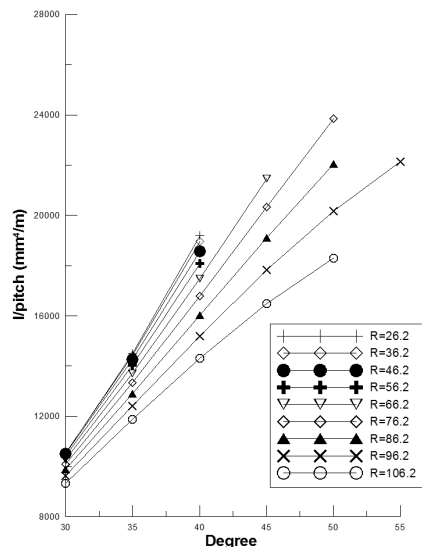


그림 15. 최적단면 탐색 알고리즘을 적용한 대골형 강판의 단면이차모멘트

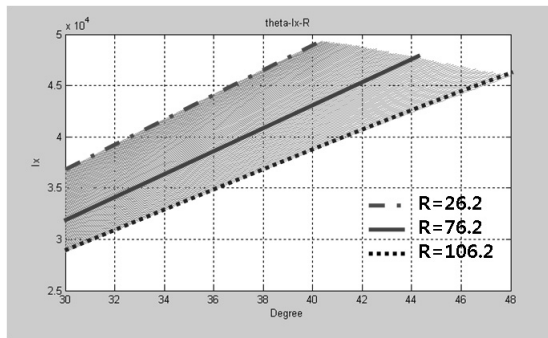
직선구간의 길이는 강판이 가질 수 있는 최대값으로 고정된 후 굽힘 반지름(R)을 26.2mm부터 106.2mm사이에서 변화시켰으며, 내측 굽힘각( $\theta_1$ )을 변화시켰다. 굽힘반지름과 내측 굽힘각을 변화시켜가며 직선구간을 검토하여 좌굴이 일어나지 않는 단면 중에 단면이차모멘트가 가장 크게 나타나는 최적의 단면을 확인하였다.

그림 15와 같이 굽힘각과 반지름의 변화에 따라 단위피치당 단면이차모멘트를 살펴보았다. 기존의 파형강판은 굽힘반지름 76.2mm, 내부 굽힘각 50°, 굽힘 전 강판의 길이와 굽힘 후 강판의 길이비율 80% 이상으로 AISI(1986)을 적용하였을 때 가장 적합한 결과를 나타냄을 알 수 있다.

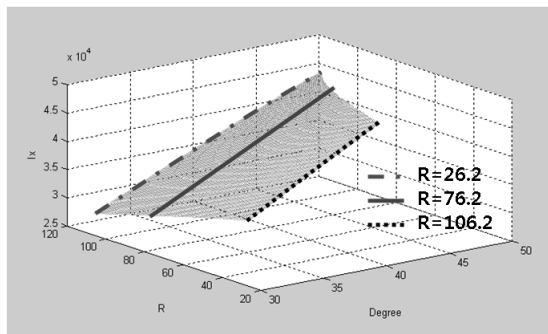
## 7. 최적단면 탐색 알고리즘을 이용한 최적단면 설계

1,550mm의 폭과 7mm의 두께를 가지는 강판의 최적단면을 찾기 위해 최적설계 시스템을 적용시켰다.

파형강판 단면의 직선구간에서의 전단력 제약조건, 모멘트 제약조건과 굽힘 반지름의 길이 제약조건, 내부 굽힘각의 제약조건, 그리고 굽힘 전의 강판의 길이와 굽힘 후의 강판의 길이의 제약조건 등을 고려하여 그림 16과 같이 각 굽힘 반지름과 내측 굽힘각에 따라 단면이차모멘트를 나타내



(a) 2차원 최적단면 단면이차모멘트



(b) 3차원 최적단면 단면이차모멘트

그림 16. 최적단면 탐색 알고리즘을 적용한 최적단면의 단면이차모멘트

었다.

그림 16과 같이 단면이차모멘트는 굽힘반지름이 작아지고 내측 굽힘각이 커질수록 선형적으로 커지는 경향을 보인다.

최적단면 탐색 알고리즘을 적용하여 단면이차모멘트가 가장 큰 몇 가지 단면을 아래 그림 17과 같이 나타내었다.

위 그림 17의 단면들의 단면이차모멘트와 허용모멘트 및 허용전단력을 표 5와 같이 나타내었다. 표 5와 같이 최적설

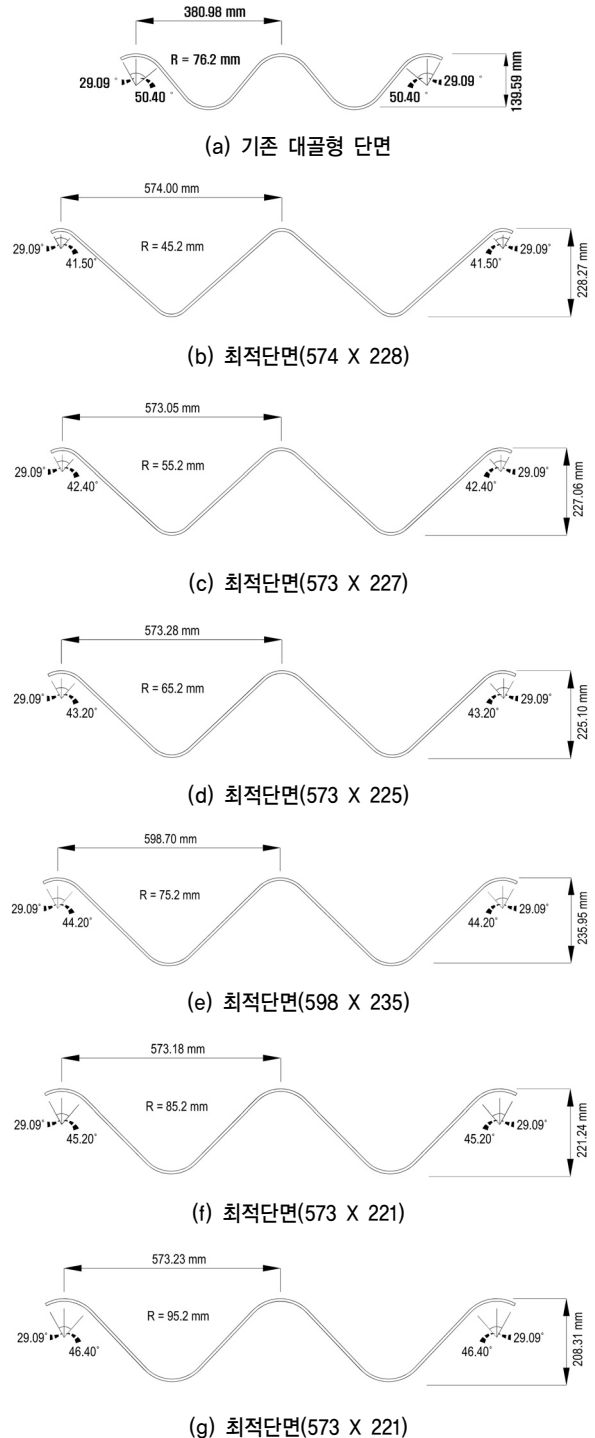


그림 17. 기존단면과 최적단면 형상 비교

표 5. 각종 최적단면

R (mm)	내측 굽힘각 ( $\theta_1$ )	b (mm)	I ( $mm^4$ )	허용모멘트 ( $kN \cdot m/m$ )	허용전단력 ( $kN/m$ )	비고
76.2	50.4	106.15	24,164	52.60	14.02	기준단면
45.2	41.5	297.02	48,771	103.59	28.04	최적단면
55.2	42.4	280.80	48,609	103.68	28.65	최적단면
65.2	43.2	264.18	48,171	103.99	28.99	최적단면
75.2	44.2	264.48	47,781	104.34	29.14	최적단면
85.2	45.2	228.07	47,203	103.85	28.99	최적단면
95.2	46.4	208.31	46,619	103.51	28.50	최적단면

계를 거친 단면들은 기존의 대골형 강판에 비하여 단면이차 모멘트가 2배 이상의 값을 나타냄을 알 수 있다.

## 8. 결 론

본 연구에서는 기존의 대골형 파형강판 단면을 개선하기 위하여 내부굽힘각  $\theta_1$ , 굽힘반지름 R과 직선구간 길이 b와 같은 설계변수와 두께 t, 외부굽힘각  $\theta_2$ , 성형 전 강판의 폭  $L_0$ , 성형 전 강판의 폭과 성형 후 강판의 폭의 비  $\gamma$ 의 설계상수와 구조적 제약조건과 기하적 제약조건을 고려하여 AISI code를 적용하여 파형강판 최적단면 탐색 알고리즘을 개발하였고 이에 따른 설계결과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 파형강판의 단면에서 직선구간(b)의 길이는 국부좌굴이 발생하지 않는 한도내에서 최대로 하는 것이 단면이차 모멘트, 허용전단력 및 허용모멘트를 가장 크게 나타내는 결과를 주었다.
- (2) 내부굽힘각( $\theta_1$ )이 일정한 경우 반지름(R)이 작을수록 단면이차모멘트, 허용전단력 및 허용모멘트가 크게 나타난다고 판단된다.
- (3) 기존의 대골형 강판에 최적설계 프로그램을 적용하였을 경우 굽힘반지름(R)이 76.2mm, 내부굽힘각( $\theta_1$ )이 50° 일 때 단면이차모멘트 및 허용전단력, 허용모멘트가 가장 크게 나타나는 것으로 보아 최적설계 프로그램이 타당한 결과를 나타낸다고 판단된다.
- (4) 1,550mm의 폭을 가지는 강판을 최적설계 프로그램에 적

용하였을 경우, 574×228, 573×227, 573×225, 598×235, 573×221, 573×221과 같은 형상의 단면들을 확인할 수 있었다. 위의 단면들은 파형강판의 직선구간에 국부좌굴을 일으키지 않으며 기존 파형강판에 비하여 2배 이상의 허용전단력 및 허용모멘트와 단면이차모멘트를 가짐을 알 수 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 파형강판에 대한 성능 검토에 대한 연구는 많지 않다. 그러므로 본 연구에서 성형성과 제작성을 고려하여 제안한 6개의 단면 검증 과정은 기존에 경험적인 방법에 의하여 제작되어 사용되고 있는 표준형 파형강판 및 대골형 파형강판의 구조적 성능을 분석하기 위한 방법으로 사용이 가능할 것으로 예상된다. 또한 본 연구에서 제안한 대단면을 실제 현장에 적용하기 위해서는 본 연구에서 검증한 방법 이외에 LRFD 설계법을 이용한 단면 검증과 실험을 통해 제안된 단면의 성능 검증과정이 필요할 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 최동호, 이승재, 조용우, 박상일(2006), 장지간 지중강판 박스 구조물의 휨모멘트 계수식 제안, *대한토목학회논문집*, Vol. 26, No. 1A, pp. 133~142.
  2. American Iron and Steel Institute(1986), *Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members*, W. P. Reymann Associates, New York, pp. 52~77.
  3. Boulanger, R. W., Seed, R. B., Baird, R. D. and Schluter, J. C.(1989), *Measurements and Analysis of Deformed Flexible Box Culverts*, Transportation Research Record 1231, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., pp. 25~25.
  4. Canadian Standards Association(2000), *Canadian Highway Bridge Design Code*, Ministry of Transportation of Canada, Canada, pp. 271~282.
  5. Duncan, J. M., Seed, R. B. and Drawsky R. H.(1985), *Design of Corrugated Metal Box Culverts*, Transportation Research Record 1008, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., pp. 33~41.
  6. McCavour, T. C., Byrne P. M. and Morrison, T. D.(1998), *Long-Span Reinforced Steel Box Culverts*, Transportation Research Record 1624, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., pp. 184~195.
- (접수일: 2010. 10. 29 심사일: 2010. 11. 8 심사완료일: 2011. 2. 11)