

# 와이어 직조 카고메의 기하학

김헌수<sup>†</sup> · 강기주<sup>\*\*</sup>

## Geometry of Wire-wounded Bulk Kagome Structure

Heonsoo Kim, Ki-Ju Kang

**Key Words:** Kagome Truss(카고메 트러스), PCM(Periodic Cellular Metal; 규칙적 다공질금속), Three Dimensional Weaving(3차원 직조), Optimal Design(최적설계), Helix(헬릭스)

### Abstract

Recently introduced WBK(Wire-wounded Bulk Kagome) shows relatively superior mechanical properties compared to other types of PCM. WBK is fabricated by assembling helical wires in 6 directions. Wire being a helix, the wire's geometric properties like pitch and helical radius shows certain geometric characteristics which can play some critical role in setting up an automatic fabrication process. In this study, geometry of WBK is modeled by various transformations of a piece of helical wire and the characteristics of the geometry of an element of WBK truss are discussed. In addition, the roles of pitch and helical radius of wire in optimizing the assembling process are described and the derivation of criteria is attempted to decide proper helical radius which would maintain minimal interference between wires at the crossings.

### 1. 서론

WBK는 카고메 트러스의 문제점으로 지적되고 있는 제조 방법상의 문제들과 이로 인해 발생하는 강도 저하 등 성능상의 문제점을 해결하는 하나의 방법으로 금속 와이어를 사용하여 직조하는 형식으로 제조되는 다층 트러스 PCM의 일종으로 Kang<sup>1)</sup> 등에 의해 제안되었다.

다층 카고메 트러스는 Fig.1a에서 보는 것처럼 각 부재가 꼭지점에서 충돌하게 되므로 하나의 연속되는 부재로 여러 층을 통과시킬 수 없고 따라서 제조상 효율이 높지 않다.

그러나 WBK 에서는 나선형 와이어를 사용함으로써 Fig.1b에서와 같이 셀의 꼭지점에서 부재들이

충돌을 피하므로 다층에 걸쳐 연속적인 와이어를 사용할 수 있어서 조립 효율을 높일 수 있다. 반면에 와이어들이 모이는 교점 부위에서 와이어들 사이에 간극이 형성되는데, 그 간극이 크면 와이어들을 결합하는데 문제가 생기고 작게 되면 와이어들 간의 간섭이 심해져 조립상 제조 효율에 문제가 생긴다. 따라서 설계 사양을 만족하는 세장비나 중량들에 대한 설계 조건을 만족하면서 조립상 문제가 생기지 않는 적절한 나선의 반경과 피치를 결정할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 나선형와이어를 사용하는 WBK 트러스의 기본 구성요소를 기하학적으로 정의하고 나선형와이어를 사용함으로써 얻어지는 기하학적 특성에 대해 설명한다. 그리고 꼭지점 부위에서의 와이어 간극과 피치와 나선의 반경과의 관계식을 유도하여, 주어진 조건에서 간극을 최소화하는 피치와 나선의 반경을 구하는 식을 구하고 그것의 효율성에 대해 논한다.

---

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 전남대학교 기계시스템공학부  
E-mail : kheonsoo@chonnam.ac.kr  
TEL : (062)530-3903 FAX :  
(062)530-1689

\* 전남대학교 기계시스템공학부



Fig. 1a  
Fig. 1 Non-Weaved  
Truss Element



Fig. 1b  
and Weaved Kagome  
Truss Element

## 2. WBK의 기본요소

### 2.1 기본 요소의 구성

Fig.2과 같은 나선형와이어들로 이루어진 WBK는 Fig.3과 같고 이것은 Fig. 4와 같이 하나의 피치를 가진 나선형와이어 토막 여섯 개로 조립된 기본요소들로 구성되어 있다고 볼 수 있다.

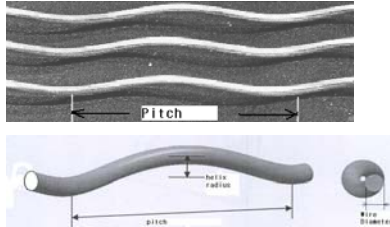


Fig. 2 Helix Wire

Fig.4a에서 보는 바와 같이 기본요소는 여섯 개의 와이어들로 조립되어 있으며 1, 2, 3축 방향의 와이어들을 in-plane, 4, 5, 6축 방향의 와이어들은 out-of-plane 상의 와이어라고 정의한다. 동일요소를 각각의 나선형와이어에 대한 축으로 구성하면 Fig.4b와 같다.

이 여섯 개의 나선형와이어의 상호 관계와 형상의 기하학적 제원을 Fig.4b에 보이는 나선의 축으로 구성된 요소를 사용하여 Fig.4c에 보인다. 이하 설명되는 좌표 변환들은 Fig.4c에 나오는 제원들을 이용하여 수행된다.

WBK의 기본 요소를 구성하는 하나의 피치를 가진 나선형와이어는 아래와 같이 표현된다.

$$x = p \frac{t}{2\pi}, y = hrads \sin(t), z = hradc \cos(t)$$

여기에서  $t$ 는 매개변수이고  $p$ 는 피치이며  $hrad$ 는 나선의 반경이다. 이렇게 정의된 기본 요소를 적절하게 좌표변환하여 1~6 축 방향의 와이어를 생성한다. 기준 좌표계는 Fig. 5와 같으며, 피치가 하나인 나선형와이어를 이 좌표계 원점에 X축 방향으로 위치시킨 후 변환작업을 한다. 좌표계의 원점은 4, 5, 6번 축 방향의 와이어들이 만나는 점으로 WBK의 구조상 층간에 있는 트러스의 교점이며, X축은 3번 축 방향과 일치하고 2번, 3번 축 시점은

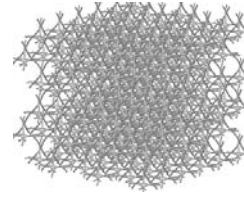


Fig. 3 WBK

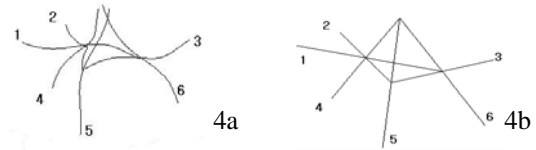
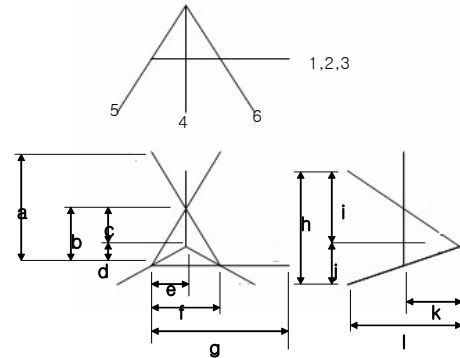


Fig. 4a An Element of WBK Comprised with Helix Wires

Fig. 4b An Element Showing Helix Axes



$$\begin{aligned} a: p\sqrt{3}/2 & \quad b: p\sqrt{3}/4 & \quad c: p/(2\sqrt{3}) & \quad d: p/(4\sqrt{3}) \\ e: p/4 & \quad f: p/2 & \quad g: p & \quad h: a & \quad i: p/\sqrt{3} \\ j: p\sqrt{3}/6 & \quad k: p/\sqrt{6} & \quad l: p\sqrt{6}/3 \end{aligned}$$

Fig. 4c Dimensions of an Element

동일하다. 4번 축 방향의 와이어는 기본 나선형 와이어를 Z축 중심으로 CCW 90도 회전시킨 다음 Fig. 3에서 4번 축이라고 정의된 곳에 위치시키기 위해 X축을 중심으로, 시계방향으로 Fig.4에서 보는  $\tan^{-1}(l/i)$ 인  $54.74^\circ$  회전변환을 시킴으로써 정의한다. 이렇게 정의된 4번 축을 Z축을 중심으로 CCW  $120^\circ$  회전변환하여 5번 축을 만들고, 4번 축을 CW  $120^\circ$  회전변환 시켜 6번 축을 생성한 결과가 Fig.6이다. Fig.6a는 각각의 와이어가 한 피치씩인 정상적인 기본요소들로 생성된 4,5,6번 축 방향의 와이어들을 보이고 Fig.6b는 Fig.6a 기본요소 가운데 빗변의 길이가 반 피치인 사면체 부분만을 그린 것이며 그림의 아랫부분에 보이는 3각형으로 표시된 부분은 생성될 나머지 1, 2, 3번 축 방향의 와이어들이 있어야 할 장소를 나타낸다. 다음에 in-plane이라고 정의한 1, 2, 3 방향의 축들을 생성하는 조건은 Fig.6b에 보이는 사면체에서

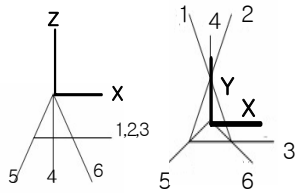


Fig. 5 Coordinate System of the Model

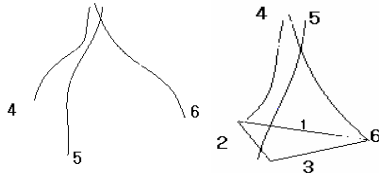


Fig. 6a Fig. 6b

Fig. 6 Out-of-plane Wires and a Tetrahedron

4, 2, 1번 축 방향, 5, 2, 3번 축 방향, 그리고 나머지 6, 1, 3번 축 방향의 와이어들의 교점에서 각각의 와이어들이 만나는 모양이 Fig.7과 같도록 해야 한다는 것이다. Fig. 6b에 보이는 4면체에서 5, 6번 축의 와이어가 in-plane 삼각형의 두 변이 되도록 X축을 중심으로 CCW  $109.47\gamma$  (Fig.4에서  $\tan^{-1}(j/l) + 90\gamma$ ) 회전시키면, 회전 후에는 4번 축 방향의 와이어만 out-of-plane 안에서 하나의 모서리로 남아서 앞으로 생성될 1번 방향 및 2번 방향의 와이어들과 교점을 이루게 될 것이다. 이 4번 축 방향의 와이어를 Z축 중심으로  $120\gamma$ 씩 CCW 및 CW로 회전 변환시켜 1번, 2번 축 방향의 와이어를 생성한다. 그리고 나머지 3번 축 방향은 in-plane 상태에 있는 삼각형의 한 변인 6축 방향 와이어를 Z축을 중심으로 CCW  $120\gamma$  회전변형 시켜 생성한다. 이렇게 생성된 결과를 다시 원래의 좌표계로 복원 변환 시키면 Fig.4a에 나타내 보인 기본 요소의 생성이 완료된다.

## 2.2 기본 요소의 기하학적 특성

### 2.2.1 사면체의 형상의 특성

Fig. 3a에서는 4면체의 빗변들이 4면체의 안 쪽으로 휘는 오목한 상태이지만, 만일 1, 2, 3번 축 방향의 나선형와이어의 정의에서 매개변수로 사용



Fig. 7 Projection of Crossing Point of Out-of-plane Wires on X-Y Plane

하는 각을 바꾸면 Fig.8a 와 같이 빗변들이 4면

체의 바깥쪽을 향하는 볼록한 모양을 취한다.

왼쪽 경우의 나선형식

$$x = p \cdot \frac{t}{2\pi}, y = hrad \cdot \sin(t),$$

$$z = hrad \cdot \cos(t)$$

오른쪽 경우의 나선형식

$$x = p \cdot \frac{t}{2\pi}, y = hrad \cdot \sin(t + \pi/2),$$

$$z = hrad \cdot \cos(t + \pi/2)$$

### 2.2.2 꼭지점에서의 와이어들 사이의 관계

실질적으로 나선형와이어들은 동일 지점을 통과하지 않고 일종의 교점 부위를 이루는데, 하나의 기본 요소에는 동일한 기하학적 모양을 가지는 네 개의 교점 부위가 있다. 그중 하나만을 대상으로 하여 그 부위에서의 와이어들 상호간의 관계를 살펴본다.

와이어 간의 상호 관계를 알기 위해 Fig. 9의 4, 5, 6축 방향의 나선형와이어들의 교점부위의 X-Y 면상에 투영된 단면 부위를 조사한다. 교차하는 세 개의 와이어들의 중심선은 교점부위의 X-Y 평면 상에서 정삼각형을 이룬다. 그리고 와이어의 단면은 와이어의 중심축에 대해 수직으로 자르면 원형이지만, 실제의 X-Y면은 Fig. 10에서 보는 바와 같이 와이어 중심축에 대해 수직이 아니고 그 와이어가 X-Y면에 대해 가지고 있는 기울기와 와이어 자체의 기울기에 의해 결정되는 일정한 각을 가지므로, X-Y면 상의 단면은 Fig. 11에서 보이는 것과 같이 원이 아닌 타원 형상의 모양이 된다. 모델에서 사용되는 나선형와이어는 나선의 반경에 비해 피치가



Fig. 8a Fig. 8b

Fig. 8 Convex and Concave Cells

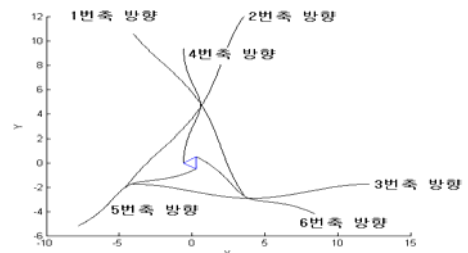


Fig. 9 Crossing Area

상대적으로 커서 직선에 가깝기 때문에 동일한 조건에서 직선 와이어가 가질 타원의 단면과 근사할 것이라는 가정 하에 관계식을 유도한다.

2.2.3 와이어 간극에 영향을 주는 요소들  
교점부위에서의 와이어간 간극을 계산하기 위해

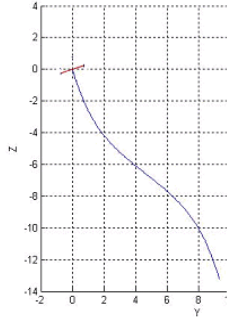


Fig. 10 Inclined Angle of Cross-section (Normal to Wire Axis) of Wire to X-Y Plane

서는 먼저 각각의 와이어가 교점부위의 X-Y평면을 통과하는 점의 좌표를 구하고, 그것을 중심으로 하여 타원형으로 보이는 단면의 크기를 결정한 다음 각 와이어의 타원 형 단면들 사이의 최단 거리를 계산하는 수순을 밟는다. 와이어 중심축이 X-Y면을 통과하는 위치는 변환 전 나선형와이어의 좌표를 4, 5, 6번 축 방향으로 변환시켜 계산한다.

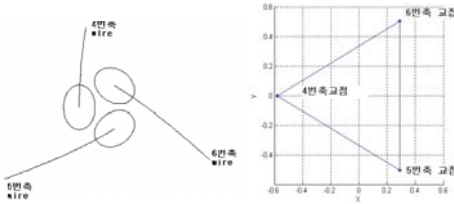


Fig. 11 Elliptical Shapes of Cross-sections      Fig. 12 Triangle at a Crossing

변환 전 나선형와이어의 시점, 즉  $t=0$ 일 때의 좌표  $(0, 0, hrad)$ 를 Z축을 중심으로  $CCW90\gamma$  회전, X축을 중심으로  $CW54.74\gamma$  회전변환을 시키면 4번 축 방향의 와이어의 중심축이 교점부위에서 X-Y면을 통과하는 좌표  $[-hrad, 0, 0]$ 가 구해진다.

비슷한 방법으로 5번 축 방향 및 6번축 방향 와이어의 좌표  $[0.5hrad, -0.866hrad, 0]$ 와  $[0.5hrad, 0.866hrad, 0]$ 을 얻는다. 이렇게 구해진 삼각형의 한 변의 길이는  $0.866hrad$ 의 두 배다. 나선의 반경이  $0.53mm$ 이고 피치가  $16.2mm$ 인 경우 계산결과를 그려보면 Fig. 12와 같다.

이제 간극 계산을 위한 교점부위에서의 와이어의 단면을 구하기 위해 각각의 와이어의 중심축이 X-Y면과 만나는 각을 알아야 한다. out-of-plane에 있는 4, 5, 6번 축 방향의 와이어들의 나선의 축이 X-Y면과 가지는 각은 앞에서 X축을 중심으로 하여  $54.74\gamma$  회전시켰다고 했으므로 그 값이  $35.26\gamma$ 라는 것을 알 수 있지만, 실제 와이어이 기울기 각

은 나선의 축의 각뿐 아니라 절단면과 만나는 지점에서의 와이어 자체의 기울기가 영향을 미치게 된다. 이 절단각을 Fig. 13에 보인다.

Fig.10에서 와이어 끝에 보이는 단면은 와이어의 나선의 축에 수직이기 때문에 위에서 말한 두 가지의 영향으로 Fig. 13에  $(35.26\gamma + \text{기울기 각})$ 이라고 표시한 각 만큼 X-Y면 위쪽으로 돌출되어 있고 이 각의 크기가 와이어를 절단하는 각을 결정한다. Fig. 13에서 기울기는 음의 수인데  $(35.26\gamma + \text{기울기 각})$ 이 작을수록 와이어의 절단면은 원에 가까워진다. 반면에 기울기 부호가 바뀌면 절단면의 타원 정도가 훨씬 커질 것이다. 이것이 기본요소의 사면체가 오목형인지 볼록형인지에 따라 조립시 간섭의 크기가 달라질 수 있다는 것을 암시 한다.

2.2.4 와이어 간극의 계산

간극의 계산을 위해 이제 통과점을 중심으로 하여 각각의 와이어가 보일 단면의 크기와 모양을 알아야 한다.

우선 절단각을 구하기 위해 피치와 나선의 반경으로부터 와이어의 X-Y면 통과 지점에서의 기울기 각을 계산한 다음 Fig 13의 관계로부터 와이어를 절단하는 각과 축에 수직인 각 사이의 관계를 알 수 있다. 이 관계로부터 와이어 절단면에서의 단면을 정의한다.

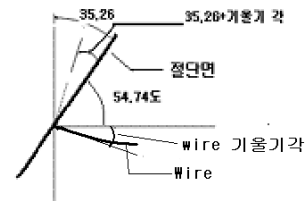


Fig. 13 Angle of Cutting Plane

장축 a와 b에 정의되는 타원식은 좌표계의 원점을 중심으로  $x=0$ 인 면에서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$a = \text{와이어직경} / [\cos(35.26\gamma + \text{기울기 각})]$$

$$b = \text{와이어반경}$$

$$x = 0, y = (b \cdot \sin(t)), z = a \cdot \cos(t)$$

장축의 방향은 통과 지점에서의 와이어의 접선 방향, 즉 와이어의 진행방향이다.

원점에서 이렇게 정의된 타원을 4, 5, 6축 방향 와이어들의 교점부위로 가져오기 위해 변환과정을 거친다. 먼저 타원을 나선형끝단으로 평행이동 시킨 후 Y축을 중심으로  $CCW35.26\gamma$  회전시켜 타원을 Fig. 13에서 보이는 절단면에 오도록 한다. 그 후에 앞 절에서 설명한 4번 축 방향 와이어의 변환 절차를 밟는다. 5번 축 방향의 와이어와 6번 축 방

향의 와이어의 타원형 단면도 동일한 경로를 거쳐 변환시킨다.

그 변환된 결과의 예를 Fig. 14에서 볼 수 있다. 교점부위의 와이어 단면들의 관계와 절단면이 예상대로 X-Y면과 평행하다는 것을 볼 수 있다.

와이어 간의 거리 계산식을 만들기 위해 Fig 15를 관찰한다. 우선 세 개의 단면 사이의 관계가 상호 대칭이므로 어느 한 곳에서 유도한 식이 다른 곳에서도 유용하리라는 것을 알 수 있다. 여기에서는 Y축에 대해 대칭인 5번 축 방향의 와이어와 6번 축 방향 와이어간의 간극을 계산대상으로 한다. 삼각형은 와이어들이 X-Y면을 통과하는 점들을 이은 것이고 이것의 크기는 앞에서 계산된 바와 같이 나선의 반경에 의해 좌우된다. 일단 나선의 반경이 정해지면, 즉 삼각형의 크기가 정해지면 Fig 15에서 II라고 표시된 거리가 간극의 크기를 제어한다.

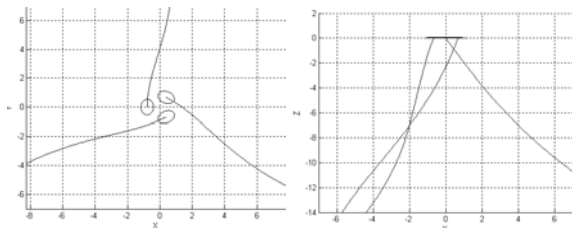


Fig. 14. Crossing Area of Out-of-Plane Wires shown on X-Y Plane and Y-Z Plane

II는 앞서 계산했던 삼각형 한 변의 절반으로서

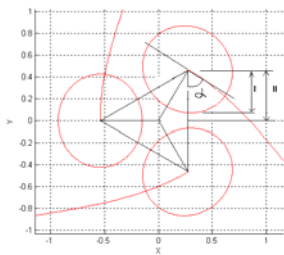


Fig. 15 Geomtric Relation between Wire Cross-sections at a Crossing

$0.866 \text{ hrad}$ 이 된다. I이라고 표시된 거리는 6번 축 방향의 와이어 절단면인 타원이 가질 수 있는 Y축 최소좌표이다. 만일 이 값이 0이 되면 5번 축 방향의 와이어와 6번 축 방향의 와이어가 접촉하게 되고, 더 나아가 I이 II보다 크게 되면 와이어 간에 간섭이 발생하게 된다.

따라서 단면으로 가정한 타원에서의 최소 Y좌표 값을 가지는 타원상의 점, 즉 그 점에 상응하는 각 (Fig 15에서  $\alpha$ )을 찾아서 그 점에서의 타원의 Y좌표가 0보다 작아지지 않도록 하는 조건을 찾아야 간섭을 방지할 수 있는 조건을 알 수 있게 된다.

이제 6번 축 방향 와이어의 타원형 절단면의 좌표들을 계산하는 식을 만들기 위해 원 좌표계에서

정의된 타원을 앞에서 설명한 순서대로 다음과 같이 변환시키면 다음과 같은 X-Y면상의 교점부에서의 타원형 단면에 대한 계산식을 얻을 수 있다.

$$x(t) = 0.5b \cdot \sin(t) + 0.8563a \cdot \cos(t) + 0.5hrad$$

$$y(t) = 0.866b \cdot \sin(t) - 0.4996a \cdot \cos(t) + 0.866hrad$$

위의 Y좌표에 대한 식으로부터 Y값이 최소가 되는 각도 t (Fig. 15에서의  $\alpha$ )를 구하기 위해 위 식을 t에 대해 미분한 다음 0으로 놓으면 다음과 같다.

$$0. = 0.866b \cdot \cos(t) + 0.4996a \cdot \sin(t)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{-0.866b}{0.4996a} \right) \quad (1)$$

이 각을 위의 y(t)에 대입해 최적 hrad를 구한다.

$$hrad = \frac{0.4996a \cdot \cos(\alpha) - 0.866b \cdot \sin(\alpha)}{0.866} \quad (2)$$

그러나 위 식을 풀기 위해서는 타원의 장축 a를 알아야 하는데 이것을 구하기 위해서는 기울기 각을 구해야 한다. 나선형와이어의 시점, t=0에서의 기울기와 기울기각은 다음과 같이 구한다.

아래와 같이 표현되는 오목형의 경우

$$x = p \cdot \frac{t}{2\pi}, y = hrad \cdot \cos(-t), z = hrad \cdot \sin(-t)$$

와이어를 다음과 같이 표현하고

$$r(t) = \left[ p \cdot \frac{t}{2\pi}, hrad \cdot \cos(-t), hrad \cdot \sin(-t) \right]$$

이것을 t에 대해 미분하여 접선을 구하면

$$\frac{dr}{dt} = \left[ \frac{p}{2\pi}, hrad \cdot \sin(t), -hrad \cdot \cos(-t) \right]$$

이 된다. 우리가 기울기 각을 필요로 하는 와이어의 끝단, 즉 t=0에서의 접선은

$$\left( \frac{dr}{dt} \right)_{t=0} = \left[ \frac{p}{2\pi}, 0, -hrad \right]$$

이며 이 곳에서의 기울기는  $-\frac{2\pi \cdot hrad}{p}$  이 되고 따라서 기울기 각은

$$\tan^{-1} \left( -2\pi \cdot hrad/p \right) \text{ 이 된다.}$$

볼록형의 경우는 유사한 방법으로 계산하면, 기울기 각은  $\tan^{-1} \left( 2\pi \cdot hrad/p \right)$  이 된다.

타원 단면의 장축을 나타내는

a= 와이어직경/[cos(35.26 $\gamma$ + 기울기 각)]에 기울기 각을 대입해보면

$$a = \frac{wired}{2\cos(\theta)} \quad (3)$$

가 되는데 여기에서 wired는 와이어의 직경,  $\theta=(35.26\gamma + \text{기울기 각})$  이다. 즉

$$\theta = 35.26\gamma + \tan^{-1} \left( -2\pi \cdot hrad/p \right) \quad (4)$$

와이어 직경 wired과 피치 p가 주어졌을 때, hrad를 가정하여 (4)에서  $\theta$ 를 구하여 (3)에서 장축을 구한 다음 (1)에서 각  $\alpha$ 를 구해 (2)에 대입하여 다시 hrad를 계산하여 앞에서 가정한 hrad와 비교한



다. 그 두 값의 차이가 근소해질 때까지 반복 계산하여 최소의 간극을 가질 수 있는  $hrad$  를 구한다. 본 연구에서는 이 과정을 간단한 프로그램을 작성하여 수행하였다.

### 2.2.5 와이어 간극의 계산 예

Fig 15는 와이어 직경이 0.78mm이고 피치가 16.2mm인 나선형와이어에서 나선의 반경이 0.53mm인 경우였다. 위에서 언급한 프로그램을 사용하여 계산하면 나선의 반경이 0.463이 최적인 것으로 계산되고 그 결과를 Fig. 16에서 볼 수 있다.

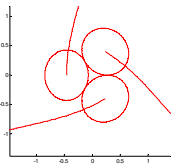


Fig. 16 Optimized Result

Fig. 15와 동일한 조건에서 직조를 블록 모양으로 했을 때의 경우를 보면 흥미 있는 사실을 알 수 있다. 오목 모양의 경우 앞서 기울기를 이야기할 때 기울기가 음수였으나 블록 모양인 경우에는 그 반대가 되어 기울기의 영향이 커서 단면의 타원성이 훨씬 커지는 것을 Fig 17에서 볼 수 있다. 통과면의 삼각형의 크기는 동일하지만 단면 모양이 달라짐으로 인해 간섭 정도가 더 심할 것이라는 것을

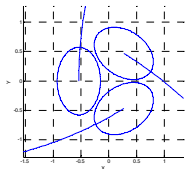


Fig 17. Convex Cell

알 수 있다. 다음 와이어의 굵기가 일정할 때 피치의 영향을 살펴보면 오목 모양일 때와 블록 모양일 때 그 영향이 상반되게 나타난다.(Fig18) 피치가 커지면 블록의 경우에는 양의 기울기가 줄어들어 따라 타원의 장축이 줄어드는 경향이 있어 반경이 감소한다.

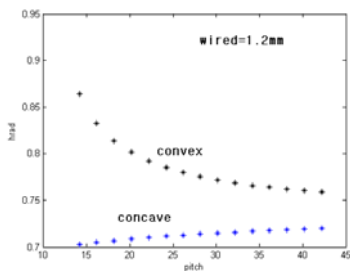


Fig. 18 Helix Radius with Different Pitches (Comparison between Concave & Convex) 그리고 피치의 영향은 Fig19에서 보는 바와 같이 오목의 경우에는 큰 영향을 미치지 않으나 블록의 경우에는 상당한 영향이 있다는 것을 볼 수 있다.

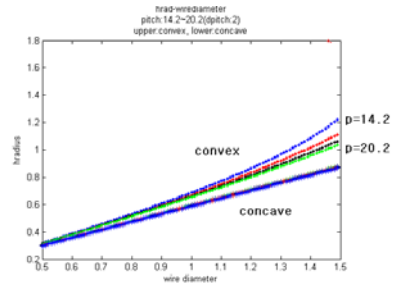


Fig. 19 Influence of Pitch on Helix Radius

### 3. 나선형와이어의 기하학적 요소와 조립성

설계 조건에서 와이어의 굵기와 피치가 결정 되면 그 와이어들을 조립하는데 중요한 요소는 교점 부위에서의 와이어들 간의 관계가 된다. 만일 나선의 반경이 너무 작아 와이어들이 교점부위에서 밀착하게 되면 조립이 어려워진다. 반대로 나선의 반경이 최적치보다 큰 경우에는 와이어들 사이의 간극이 커져서 조립에는 편리하겠지만, WBK를 완성하기 위해 교점부위를 결합시키는 작업에 곤란이 따르게 된다. 또한 나선의 반경이 커지면 이로 인해 굴곡이 커지며 부재의 초기 변형이 커져 그로 인해 예상되는 구조 강도의 약화를 야기할 수 있다.

### 4. 결론

본 연구에서는 WBK의 기하학적 표현을 통해 WBK의 특성의 일면을 논했다. 먼저 WBK를 구성하는 기본 요소를 하나의 피치를 가진 나선형와이어를 여섯 방향으로 변환시켜 생성시키는 과정을 보였고, 다음 그 구성요소로부터 와이어가 나선형이기 때문에 생기는 형상의 특징을 묘사했다. 특별히 WBK 조립에 큰 영향을 미치는 교점 부위에서의 와이어 간 간극의 크기에 영향을 미치는 나선형와이어의 기하학적 특성에 대해 논하고 주어진 설계 조건하에서 간섭을 최소화하는 나선형와이어의 피치와 나선의 반경을 구하는 방법을 도출하였다.

### 참고문헌

(1) Kang Ki-Ju, Jeon Gye-Po, Nah Seong-Jun, Ju Bo-seong and Hong Nam-Ho, 2004, "A New Way to Manufacture Ultra Light Metal Structures," *J of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. A-28, pp.296-303.

(2) Kang Ki-Ju, Lim Ji-Hyun, Nah Seong-Jun and Koo Man-Hoe, 2005, "Compressive and Bending Behavior of Sandwich Panels with Octet Truss Core Fabricated from Wires," *J of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. A-29 pp.470-476.