

# 짧은폭 아낙굴링선을 리용한 3엽나사원동기 고정자-회전자 프로필설계와 변폭결수의 영향

엄일룡, 김춘영, 황광철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《에네르기와 철강재, 화학제품, 식량문제를 비롯하여 현시기 경제강국건설에서 관건적 의의를 가지는 문제들을 과학기술적으로 해결하는데 주되는 힘을 넣어야 합니다.》

(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 41페이지)

세계적으로 원유와 천연가스자원을 탐사하고 개발하는데서 수평시추기술이 가장 많이 도입되고있다.[1] 수평시추를 실현하는데서 추공막장동력시추공구는 매우 중요한 자리를 차지하고있으며 세계적으로 이 공구의 개발에 큰 힘을 넣고있다.

우리는 추공막장동력시추공구인 나사시추공구에서 3엽나사원동기의 고정자-회전자프로필설계와 변폭결수의 영향에 대하여 고찰하였다.

## 1. 굴링선에 대한 개념

반경이  $R_2$  인 원이 반경이  $R_1$  인 원을 따라 상대적으로 굴음운동을 할 때 원  $R_2$  평면 위의 임의의 점  $M$ 이 그리는 자리길을 굴링선이라고 한다. 이때 점  $M$ 을 발생점 혹은 류동점이라고 하며 원  $R_2$ 를 굴음원, 원  $R_1$ 을 안내원이라고 한다. 발생점에서 굴음원중심까지의 거리를 류동점거리  $E$ , 안내원중심에서 굴음원중심까지의 거리를 중심거리라고 한다.

안내원과 굴음원사이의 상대적위치에 따라 굴링선을 아낙굴링선과 바깥굴링선으로 나눌수 있다. 즉 굴음원이 안내원안에 있을 때에는 아낙굴링선, 바깥에 있을 때에는 바깥굴링선이라고 한다.

안내원중심과 굴음원의 상대적위치에 따라 굴링선형성방법에는 크게 두가지 즉 포심법과 무포심법이 있다. 다시말하여 안내원중심이 굴음원에 포함되지 않거나 굴음원둘레위에 있을 때를 무포심법, 안내원중심이 굴음원안에 포함될 때를 포심법이라고 한다.(그림 1)

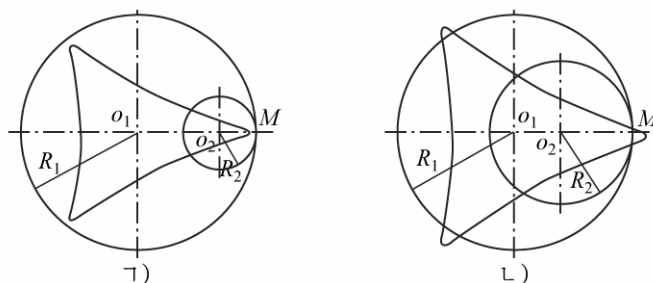


그림 1. 아낙굴링선의 형성

ㄱ) 무포심법, ㄴ) 포심법

굴음원평면에서 류동점의 위치에 따라 굴령선은 일반굴령선과 짧은쪽 굴령선, 긴쪽 굴령선으로 나눌수 있다.

안내원과 굴음원반경의 비를 굴음비  $i=R_1/R_2$ , 류동점거리와 굴음원반경의 비를 굴령선의 변폭계수  $K=E/R_2$  라고 하면 굴령선은 다음과 같이 분류할수 있다.

류동점이 굴음원안에 있을 때( $K<1$ ) 형성되는 굴령선을 짧은쪽 굴령선, 류동점이 굴음원바깥에 있을 때( $K>1$ ) 형성되는 굴령선을 긴쪽 굴령선, 류동점이 굴음원둘레위에 있을 때( $K=1$ ) 형성되는 굴령선을 일반굴령선이라고 하며 류동점이 굴음원중심과 일치할 때( $K=0$ ) 류동점의 자리길은 원주이다.

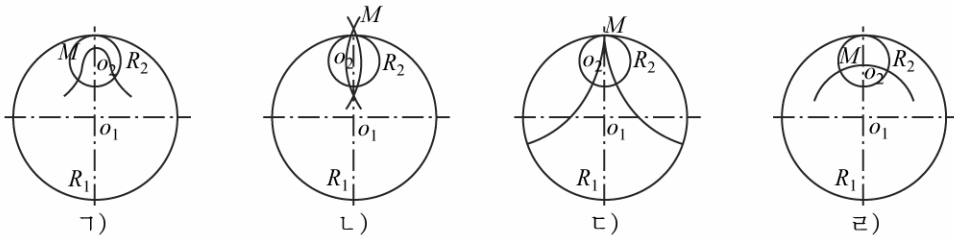


그림 2. 아낙굴령선의 변화형식

가) 짧은쪽 굴령선, 나) 긴쪽 굴령선, 다) 일반굴령선, 라) 원주

## 2. 짧은쪽 아낙굴령선을 리용한 3엽나사원동기 고정자-회전자 프로필방정식작성과 프로필설계

### 1) 방정식작성

짧은쪽 아낙굴령선을 리용한 나사원동기는 짧은쪽 아낙굴령선을 고정자의 안내선으로 하고 고정자안내선안에 생기는 포락선을 회전자의 안내선으로 리용한다. 우리는  $R_3=1$  인 단위굴령선에 대하여 고찰하였다.

#### (1) 짧은쪽 아낙굴령선형안내선공역쌍

복소수평면자리표계에서 굴음원위의 류동점의 자리길은  $N$ 엽짧은쪽 굴령선(그림 3)으로서 그것의 무포심법복소수벡토르방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$R^0(\theta) = ne^{i\theta} + Ke^{-in\theta} \quad n = N-1, \quad 0 \leq \theta \leq 2\pi, \quad 0 \leq K \leq 1 \quad (1)$$

여기서  $N$ 은 고정자엽수,  $K$ 는 변폭계수이다.

고정자안내선의 자리길(그림 4)방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$\rho^0(\theta, \phi) = (ne^{i\theta} + Ke^{-in\theta})e^{i\phi/n} - Ke^{iN\phi/n}$$

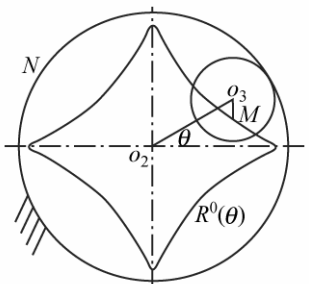


그림 3. 짧은쪽 아낙굴령선 고정자안내선

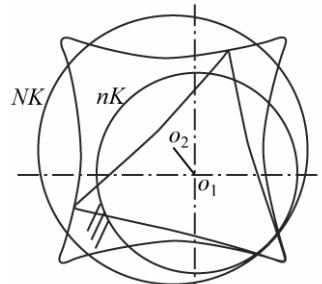


그림 4. 고정자안내선의 자리길

여기서  $\phi/n$ 는  $R^0(\theta)$ 이 중심  $o_2$  주위로 자전할 때의 자전각으로서 방향은 시계바늘회전 방향과 같다. 그리고  $N\phi/n$ 는  $o_2$ 이 회전자중심  $o_1$  주위로 회전할 때의 공전각으로서 방향은 시계바늘회전방향과 반대이다.

우의 식을 간단히 표시하면 다음과 같다.

$$\rho^0(\theta, \phi) = ne^{i(\theta+\phi/n)} - 2Ki \sin\left(\frac{n\theta+\phi}{2}\right) e^{i\left(\frac{n\theta}{2} + \frac{n+1}{2n}\phi\right)} \quad (2)$$

경계조건으로부터 다음식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \phi_1 &= -n\theta + 2T\pi, \quad \phi_2 = -n\theta + 2\beta + 2T\pi, \quad T = 0, n-1 \\ \beta &= \frac{\pi}{2} - \arctan \frac{\sin(N\theta)}{K - \cos(N\theta)}, \quad \beta' = \arctan \frac{\sin(N\theta)}{K - \cos(N\theta)} \end{aligned}$$

$\phi_1$ 를 식 (2)에 대입하고 정리하면 다음식을 얻는다.

$$\rho_1^0(\theta, \phi) = ne^{i\frac{2T\pi}{n}} \quad (3)$$

식 (3)을 회전자원주에 배치된  $n$ 개의 고정접촉점을 표시하며 이  $n$ 개의 고정접촉점이 실지 회전자안내선의  $n$ 개의 첨단점이다.

$\phi_2$ 를 식 (2)에 대입하고 정리하면 류동접촉점의 자리길을 표시하는 식을 얻을수 있다.

$$\rho_2^0(\theta, \phi) = e^{i\frac{2T\pi}{n}} \left[ ne^{i\frac{2}{n}\beta} + 2K \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) e^{-i\left(N\theta + \frac{N+1}{n}\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) - \frac{\pi}{n}\right)} \right] \quad (4)$$

## (2) 짧은폭 아낙굴렁선등거리선형태공역쌍

짧은폭 아낙굴렁선공역쌍은 짧은폭 아낙굴렁선이 고정자안내선이고 그 공역곡선이 회전자안내선이다.

고정자의 등거리곡선은 두 부분으로 나누어지므로 방정식은 다음과 같이 표시된다.

$$R_{\text{하}}^0(\theta, r^0) = \begin{cases} R^0(\theta) + r^0 e^{i\alpha} & \text{첫번째 부분} \\ ne^{i\frac{2T\pi}{N}} + Ke^{-in\frac{2T\pi}{N}} + r^0 e^{i\alpha'} & \text{두번째 부분} \end{cases} \quad (5)$$

여기서  $\alpha$ 는 고정자단위굴렁선의 류동점에서 그은 외법선의 편각으로서 다음과 같다.

$$\alpha = \phi_r - \arctan \frac{\cos\theta - K \cos(n\theta)}{[\sin\theta + K \sin(n\theta)]} \quad (6)$$

$\phi_r$ 의 값은  $0 \sim 2\pi$  사이에서 결정된다.

회전자의 등거리곡선은 다음과 같다.

$$\rho_{\text{회}}^0(\theta, r^0) = \begin{cases} \rho_2^0(\theta) + r^0 e^{i\alpha'_1} \\ \rho_2^0(\theta) + r^0 e^{i\alpha'_2} \end{cases} \quad (7)$$

$$\alpha'_2 = \phi'_r - \frac{\pi}{2}, \quad \phi'_r = \arctan \frac{\text{Im}(d\rho_2^0/d\theta)}{\text{Re}(d\rho_2^0/d\theta)} \quad (8)$$

여기서  $d\rho_2^0$ 는 회전자요소안내선,  $r^0$ 은 등거리반경결수이다.

## 2) 프로파일설계

굴렁선형태의 특성량들이 표와 같을 때 고정자와 회전자프로필의 형태를 그림 5와 같

이 설계할수 있다.

표. 3엽나사원동기 고정자-회전자굴림선 특성량

특성량	회전자엽수/개	고정자엽수/개	안내원반경/mm	굴음원반경/mm	변폭결수	등거리반경결수
값	3	4	40	10	0.8	1

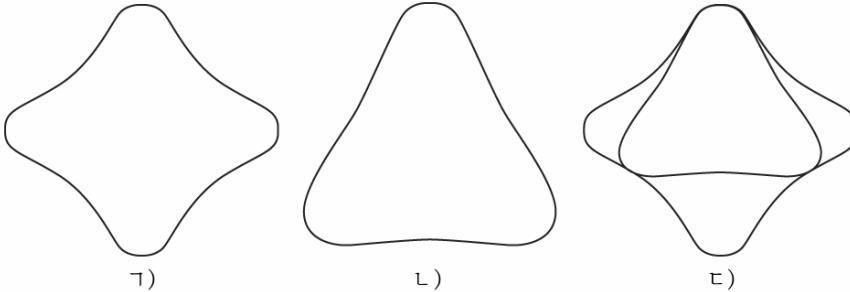


그림 5. 3엽나사원동기 고정자와 회전자프로필의 형태

ㄱ) 고정자, ㄴ) 회전자, ㄷ) 고정자와 회전자치합선

고정자-회전자프로필의 3차원모형은 그림 6과 같다.

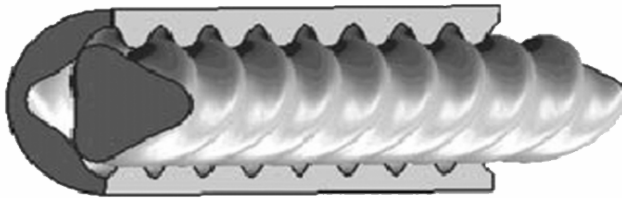


그림 6. 고정자와 회전자프로필의 3차원모형

### 3. 고정자와 회전자프로필의 형태에 미치는 변폭결수의 영향

각이한 변폭결수에 따르는 프로필형태는 그림 7과 같다.

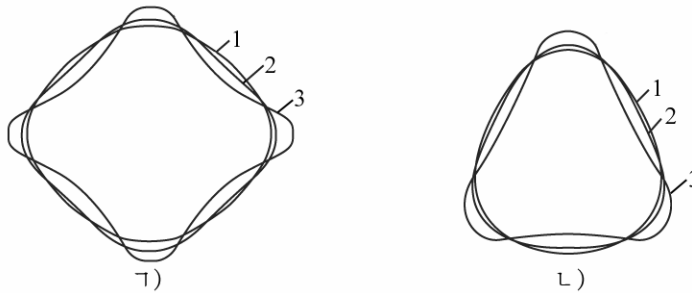


그림 7. 변폭결수에 따르는 프로필의 형태

ㄱ) 고정자프로필, ㄴ) 회전자프로필;

1—  $0 < K < 1/3$ , 2—  $K = 1/3$ , 3—  $1/3 < K < 1$

그림 7에서 보는바와 같이 변폭결수가 증가할수록 고정자, 회전자프로필의 최대외경은 증가한다. 그리고 변폭결수의 값이 작을수록( $0 < K < 1/3$ ) 프로필의 형태는 타원형에 가까워지므로 고정자와 회전자엽수사이관계( $z_2 = z_1 + 1$ )가 만족하지 않는다. 또한  $K = 1/3$ 에서 고정자 형태곡선은 직선모선을 가지게 된다. 그러므로 3엽나사원동기의 고정자와 회전자프로필형태를 설계할 때 짧은폭 아낙굴림선을 리용하는 경우에는 변폭결수를  $1/3 < K < 1$ 에서 최량선택하여야 한다.

## 맺 는 말

1) 짧은폭 아낙굴링선을 리용한 나사원동기의 고정자와 회전자프로필방정식을 작성하고 3엽나사원동기를 설계하였다.

2) 고정자와 회전자프로필형태에 미치는 변폭결수의 영향을 고찰하고 짧은폭 아낙굴링선을 리용하는 경우 변폭결수의 범위를 확정하였다.

## 참 고 문 헌

王斌; 螺杆马达性能逆向实验系统设计研究, 沈阳工业大学, 6~13, 2013.

주체106(2017)년 7월 5일 원고접수

### **The Stator-Rotor Profile Design of Three-Thread Screw Motor by using Short Width Hypocycloid and Effect of Luffing Coefficient**

*Om Il Ryong, Kim Chun Yong and Hwang Kwang Chol*

In this paper, we have progressed three dimension design about the stator-rotor of three-thread screw motor by using the stator-rotor profile equation of screw motor and considered effect luffing coefficient on the stator-rotor profile type and determined the range of luffing coefficient.

Key words: three-thread screw motor, luffing coefficient