

# 자동차 패널 헤밍유닛의 설계자동화를 위한 기구학적 해석

김동직<sup>1</sup> · 정훈<sup>2</sup> · 송윤준<sup>2</sup> · 한영호<sup>3</sup>

## Kinematic Motion Analysis for Automatic Hemming Unit Design of Car Panel

D. J. Kim, H. Chung, Y. J. Song, Y. H. Hahn

### Abstract

Due to the complicated character of the hemming process for automobile panels, it is very difficult to set up a consistent and reliable die design guide rule that does not require subtle decision of experienced experts during design stage and multiple trials during hemming die making.

In this paper an automatic die design system of hemming units is pursued by presenting some algorithms, in which geometric data and constraints of the hemming units were converted to formula. two kinds of hemming units, 2-link type and 4-link type, were selected as examples and the geometries and kinematics of all parts were analyzed to build the design algorithm.

**Key Words** : hemming, 2-link hemming unit, 4-link hemming unit, main-hemming, pre-hemming, drive cam

### 1. 서론

헤밍(hemming)이란 판재로 성형된 제품의 가장 자리를 접는 작업으로 자동차 차체의 외판(outer panel)과 내판(inner panel)의 결합에 사용되는 공정이다. 일반적으로 자동차의 차체를 구성하는 박판 성형부품 사이의 결합은 점(spot)용접이나 선(seam)용접을 사용한다. 그러나 보닛(bonnet), 도어(door), 트렁크 리드(trunk lid) 등의 패널에서 내·외판을 용접하게 되면 자동차 외판에 용접 자국이 남아 치명적인 품질 저하를 초래하기 때문에 외판의 끝단을 접어 내판을 감싸는 형태의 헤밍 작업이 행해진다. 1)

또한 헤밍 작업은 강도, 강성을 보장해주는 역할과 승객의 안전을 위한 처리도 겸하게 된다. 헤밍금형은 일반 성형을 위한 금형과는 다르게 복잡

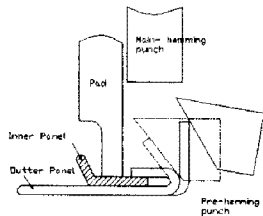
한 링크 설계를 요구하기 때문에 어떤 금형 설계보다도 경험이 풍부한 설계자가 필요하다.

헤밍 작업은 크게 세 공정을 거쳐 이루어진다. 구부러 접을 판의 가장자리를 만드는 플랜징(flanging)작업이 먼저 행해진다. 이 공정은 전 단계인 드로잉(drawing)공정에서 처리되기도 한다. 이후 Fig.1에서 보는 바와 같이 반쯤 접는 예비헤밍(pre-hemming)을 거쳐 최종적인 각도까지 접는 본헤밍(main-hemming)으로 전체 공정이 완성된다.

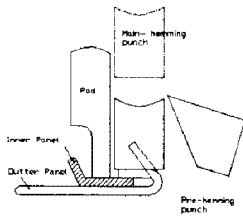
이때 플랜징 공정을 제외한 예비헤밍과 본헤밍은 한 개의 헤밍 금형 안에서 한 번의 스트로크로 순서대로 이루어진다. 예비헤밍 펀치가 예비성형을 완료한 후 후퇴하면 시간차를 두고 본헤밍 펀치가 하강하여 헤밍 공정이 끝난다.

1. 한국폴리텍1 성남대학 컴퓨터응용기계과  
2. 건국대학교 기계설계학과 대학원  
3. 건국대학교 기계항공공학부

헤밍 금형은 동시 또는 주어진 조건에 맞춘 순차적인 움직임이 서로 간섭이 생기지 않도록 하면서 최소한의 시간에 작업이 이루어질 수 있도록 설계되어야 한다. 이를 위한 헤밍 유닛의 작동 시점을 구축하는 작업은 타이밍선도(timing curve) 작성에 의해 이루어진다. 타이밍선도는 각 유닛의 타이밍과 부품들 사이에 간섭이 없도록 설계되어야 한다.



(a) Pre-hemming



(b) Main-hemming

Fig. 1 Hemming operation

헤밍 금형에서 일반적으로 사용되는 2절 유닛과 4절 유닛의 기구학적 움직임에 따라서 예비헤밍펀치, 메인헤밍펀치, 드라이브 캠의 위치가 결정된다. 이전에는 링크들의 움직임을 파악하고 설계에 반영하기 위해 2차원의 CAD 프로그램을 이용하여 작도하는 방식이었다. 그러나 이 방법에서는 움직임의 인과에 따른 순차적인 작도를 필요로 하고 그 결과가 기하학적인 형상으로만 데이터화되는 단점이 있다. 이는 금형 설계에 대한 지속적인 관리나 데이터베이스의 구축 차원에서 바람직하지 않은 설계 방법이다.

헤밍과 관련된 이전의 관련 연구를 살펴보면 한규희 등은 평면 내외곡률과 플랜지 길이가 헤밍 품질에 미치는 영향을 실험적으로 연구하였다.<sup>(1)</sup> 최원목 등은 강판과 알루미늄판을 가지고 헤밍공정 변수가 품질에 미치는 영향을 실험과 동시에 해석과 비교 연구하였다.<sup>(2)</sup>

또 권태훈 등은 평면 내외곡률 및 플랜지 길이를 공정변수로 잡고 외연적 해석방법(Explicit analysis)과 내연적 해석방법(Implicit analysis)의 결

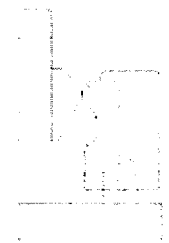
과를 비교하였다.<sup>(3)</sup> 그리고 김현영 등은 플랜지 헤밍공정에서 최적의 유한요소해석을 위한 모델링 방안, 요소재구성 및 맵핑(mapping)방법, 부분모델 합성법에 관한 연구를 수행한 바 있다.<sup>(4)</sup> 헤밍금형의 설계 및 제작에 관한 현장성 있는 연구로 각 회사별 설계 순서를 정의, 가공방향 및 링크에 대한 단편적 설계 지침 정리, 각 공정별 설계 고려 사항 등의 체계적 정리 정도가 현장 설계의 작업 효율을 높이는 측면에서 이루어진 바 있다.<sup>(5,6)</sup>

이 연구의 목적은 헤밍 유닛 설계 시 시행착오 방법에 의한 설계방식을 탈피해 헤밍유닛의 형상과 각각의 요소들의 움직임을 기하학적으로 해석하여 알고리즘을 개발하고, 헤밍유닛의 기본적인 치수와 설계조건을 이용하여 비숙련자도 헤밍금형의 타이밍선도를 설계할 수 있도록 하는데 있다. 이를 위해 헤밍공정의 타이밍 조절에 유연성을 부여할 수 있는 자동설계가 되도록 헤밍유닛에서 많이 사용하고 있는 표준링크인 2절 링크, 4절 링크에 대한 알고리즘을 구축하였다. 이런 과정을 거쳐 예비헤밍 펀치, 본헤밍 펀치의 상대적 움직임을 자동 작도할 수 있는 알고리즘이 개발될 수 있는 xhei를 마련함에 목표를 두었다.

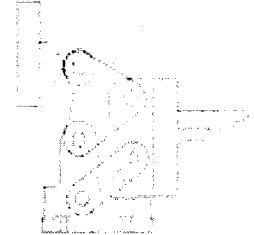
## 2. 헤밍 공정

### 2.1 헤밍공정 순서

Fig.2는 2절과 4절 타입의 헤밍유닛을 보여준다.



(a) 2-link type

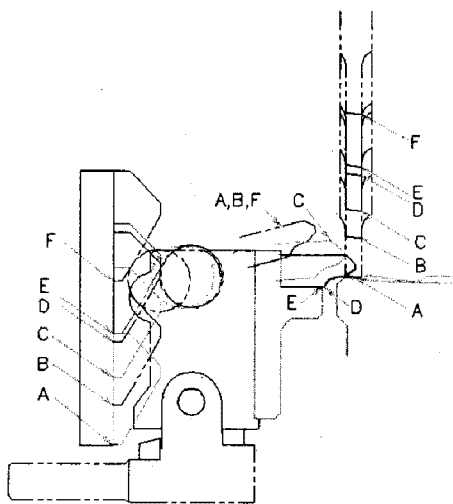


(b) 4-link type

Fig. 2 Hemming units

2절 유닛이 발생시키는 각운동 형태의 플랜지 굽힘 방식은 예비헤밍 때 구부리는 패널 끝의 프로파일 라인의 곡률 변화가 심하지 않을 때 사용된다. 2절 유닛을 사용하게 되면 예비헤밍 펀치가 플랜지에 닿아 굽히는 시점이 곡선 위치에 따라 달리 발생하여 순차적인 접힘이 발생하기 때문에 동시에 플랜지가 접히기 어렵다. 반면 병진운동을 발생시키는 4절 유닛은 프로파일 라인이 일정 이상의 곡률을 가질 경우 선택되어진다.

헤밍의 세밀한 타이밍 조절은 링크의 길이와 상대적 위치로도 결정되지만 수직왕복운동을 하는 드라이버에 부착된 사다리꼴 형상의 캠(cam)에 의해 세밀하게 조정된다. 상형이 하강할 때 사다리꼴의 경사면들은 예비헤밍 펀치의 진입과 후퇴 속도를 결정하며 평행한 좁은 면은 최대 각에서의 펀치 유지 시간을 조절하게 된다. 헤밍 전체 공정은 각각의 링크에서 발생하는 움직임을 기준으로 타이밍선도 작성을 통해 제어된다. 대략적인 링크의 크기와 위치가 정해지고 나면 세부적인 타이밍선도의 작성은 드라이브와 캠의 상대적 위치에 따라 결정된다.



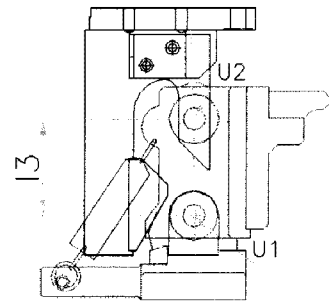
- F : pre-hemming : roller contact
- E : pre-hemming : flange contact
- D : pre-hemming
- C : pre-hemming : interference Check
- B : pre-hemming : punch return
- A : main-hemming

Fig. 3 2-link type hemming unit operation

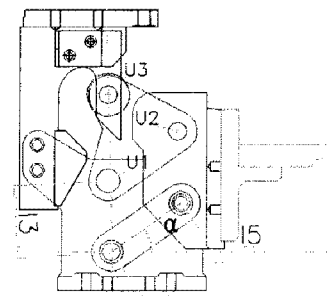
Fig.3은 2절 유닛과 캠에 의한 펀치의 움직임을 보여 준다. 타이밍선도 설계 기준이 되는 펀치의 움직임과 캠의 형상은 먼저 시점 F에서 캠과 롤러가 접촉을 한 후 시점 E에서 플랜지와 접촉하기 시작하면서 예비헤밍으로 연결된다. 예비헤밍 펀치가 최대로 진입하는 시점 D를 거쳐, 원위치로 복귀되는 시점 C에 이르기까지 하강하는 본헤밍 펀치와 간섭이 일어나지 않아야 한다. 특히 시점 C의 결정은 프레스 램의 수직 운동과 함께 하는 본헤밍 펀치와 간섭을 방지해야 하는 면에서 매우 중요시 된다. 예비헤밍 펀치가 완전히 물러선 시점 B에는 본헤밍 펀치가 이미 상당히 하강한 상태이고, 시점 A에 이르기까지 본헤밍이 진행된다.

## 2.2 표준링크 정의

링크 및 각 부품의 움직임에 대한 알고리즘을 만들기 위해 가장 먼저 해야 할 작업은 일반적으로 사용될 수 있는 표준링크를 결정하는 일이다.



(a) 2-link type unit



(b) 4-link type unit

Fig. 4 Definition of shape

타이밍 조절을 위해 수시로 사용되는 변수와 고정되는 변수를 분리하여 표준링크가 정의되었다. Fig.4에서 2절, 4절 유닛의 규격을 세부적인 치수 없이 나타내었다. 표현된 각부 주요 위치는

설계조건에 따라 고정값과 변수값으로 분리되었다.

### 3. 단계별 위치 결정 알고리즘

위치결정 알고리즘은 예비헤밍 펀치의 움직임 을 기준으로 구축되었다. 펀치와 패널의 끝을 기준으로 링크의 움직임을 예측하고, 링크의 이런 움직임을 위한 드라이브 캠을 설계하는 것이 첫 번째 작업이 된다. 각 유닛은 3차원으로 존재하지만 그 움직임은 링크 단면 평면상의 2차원의 움직임을 갖는다고 볼 수 있다. 따라서 헤밍될 패널의 단면 플랜지 끝의 2차원 좌표를 먼저 구한다. 이를 이용하여 예비헤밍 펀치가 패널의 플랜지와 첫 접촉되는 시점과 프리헤밍이 완료 시점에 대해 기하학적인 조건을 이용하여 예비헤밍 펀치의 움직임에 대해 설계할 수 있다. 또한 롤러의 예측된 움직임을 기준으로 드라이브 캠의 위치가 결정될 것이다.

#### 3.1 알고리즘 작성을 위한 운동부 구분

헤밍금형의 위치 결정 알고리즘 작성을 위해 굽혀지는 패널, 링크, 드라이브 캠의 3가지 부품으로 구분하였다. 각 부품은 패널과 예비헤밍펀치 사이의 운동과, 링크의 한 부분인 롤러와 상형에 부착된 드라이브 캠의 접촉에 의한 운동 사이에 서로 연결되어 움직인다. 각 부품을 이루는 형상은 형상의 모서리의 벡터 좌표로 각각 정의되었고, 이를 연결하는 알고리즘을 추가하여 전체의 움직임을 예측하게 된다.

실제의 헤밍 링크는 상형에 부착된 드라이브 캠이 유닛의 롤러를 밀어 움직이게 된 유닛에 의해 예비헤밍 펀치가 패널을 접는 순차적인 움직임을 갖게 된다. 그러나 알고리즘 작성을 위한 기준으로 패널의 플랜지 끝과 예비헤밍 펀치의 초기 접촉 시점을 사용하였으므로 알고리즘 작성 순서에 따라 각 부품을 구분하였다.

##### (1) 패널

Fig.5에 패널의 초기 안착 상태와 각도  $\beta$ 로 예비헤밍된 형상을 정의하였다.  $P_2$ 가 예비헤밍펀치와 초기 접촉하는 패널의 플랜지 끝이다.  $P_3$ 는 굽

혀진 플랜지의 끝점을 나타낸다.

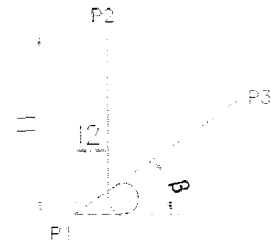


Fig. 5 Definition of panel

##### (2) 링크

###### ① 2절 유닛

Fig.6은 2절 유닛의 형상 정의를 보여준다. 패널의 끝과 초기 접촉을 갖는 예비헤밍 펀치는 2절 유닛과 강체 연결된다. 유닛의  $U_1$ 점을 중심으로  $U_2$ 가 원의 궤적으로 운동하며 펀치의 공구면  $P_4P_5$ 도  $U_1$ 을 중심으로 원운동을 하게 된다.

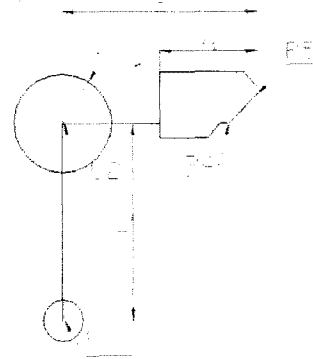


Fig. 6 Definition of 2-link unit



Fig. 7 Definition of pre-hemming punch

일반적인 헤밍설계 기준에 따라 패널의 끝과 맞는 예비헤밍 펀치 면은  $P_4$ 와  $P_5$ 로 정의되며 Fig.7과 같이 굽힘 후의 플랜지 길이에  $e_1, e_2$ 의 여유를 갖는다.

② 4절 유닛

4절 유닛도 예비헤밍 펀치 끝은 원운동의 궤적을 그리게 된다. 다만 회전의 중심이  $U_1$ 에서 예비헤밍펀치 끝단까지의 수평길이 B,  $U_2$ 와 예비헤밍펀치 끝의 수직길이  $l_4$  만큼 이동된 중심을 갖는 원운동으로 설명될 수 있다. Fig. 8에 형상을 정의하였다.

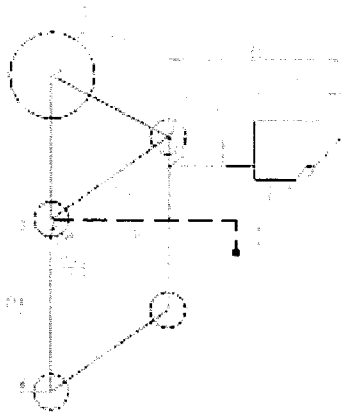


Fig. 8 Definition of 4-link unit

(3) 드라이브 캠 및 본헤밍 펀치

Fig.9에 정의한 드라이브 캠은 헤밍금형의 상부 금형과 일체로 된 본헤밍 펀치와 동일한 움직임을 갖는다. 프레스 램의 수직운동에 의해 수직 왕복운동을 한다.

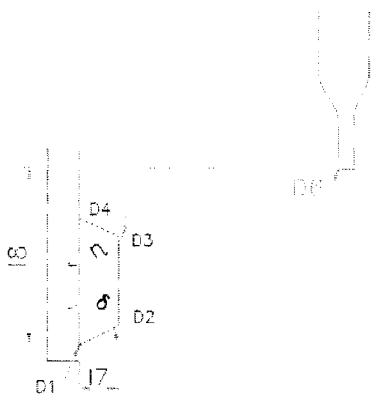


Fig. 9 Definition of drive cam & main-hemming punch

(1) 예비헤밍펀치와 패널의 초기 접촉

패널과 링크의 접촉 관계는 패널이 접히는 시점에 따라 초기 접촉 위치와, 예비헤밍 완료시점의 위치가 계산되어야 한다. 이중 예비헤밍 완료시점은 예비헤밍의 펀치가 수평일 때 최대진입각이 되는 것이 설계 조건이므로 특별한 알고리즘을 필요로 하지 않는다. 따라서 2절과 4절 유닛에 대한 패널과의 초기 접촉 시점에 대한 알고리즘을 구분하여 설명한다.

① 2절 유닛

Fig.10에서 보는 바와 같이 예비헤밍 펀치의 직선  $P_4P_5$ 은  $U_1$ 을 중심으로 원운동을 한다. 따라서 원운동 하는 직선과 패널의 끝단이 만나는 링크 각도를 파악하기 위한 알고리즘은 다음과 같이 정의되었다.



Fig. 10 Trace of extension line of  $P_4P_5$

예비헤밍 펀치의 직선  $P_4P_5$ 은 설계 조건에 의해 Fig.5의 각도  $\beta$ 를 유지하게 된다. 이때 연장되는 직선과 회전중심과 최단거리를 반지름으로 하는 원이 그려질 수 있다. 원 운동하는 직선  $P_4P_5$ 는 항상 원에 접하는 직선과 평행을 이루며 회전하게 된다. 따라서 원에 접하는 직선의 방정식을 이용해 직선  $P_4P_5$ 의 움직임을 식(1)과 같이 정의하였다.

$\alpha_1$ 은 유닛이 움직이는 각도,  $\beta$ 는 예비헤밍 펀치면의 수평에 대한 각도를 나타낸다.

3.2 운동부간의 접촉 알고리즘

$$Y_2 - U_1 \cdot \vec{j} = \tan(\beta + \alpha_1)(x - U_1 \cdot \vec{i}) \pm \cos \beta \cdot C \sqrt{\tan^2(\beta + \alpha_1) + 1} \dots\dots\dots(1)$$

이를 이용해 초기 접촉시점에서의 링크 회전각도를 구하기 위해 근사해법인 뉴턴-랩슨(Newton-Raphson) 방법을 사용하였다.

즉  $\tan(\beta + \alpha_1) = n$  일 때 근사해법을 통해 n에 대한 하나의 해를 구할 수 있다. 따라서 미지수인  $\alpha_1$ 의 각도는 식(2)와 같이 계산되어진다.

$$\alpha_1 = \tan^{-1} n - \beta \dots\dots\dots(2)$$

계산된 각도는 예비헤밍편치와 패널의 초기 접촉시 링크의 각도이다.

② 4절 유닛

4절 유닛에서 초기 접촉에 대한 링크의 회전각도  $\alpha_1$ 을 구하기 위한 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 예비헤밍 편치면의 직선  $P_4P_5$ 의 움직임은 Fig.11에서 O점을 중심으로 원운동을 하게 된다.

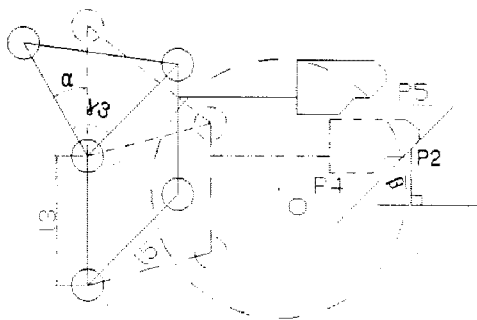


Fig. 11 Pre-hemming punch motion

4절 링크에서 예비헤밍 편치의 직선  $P_4P_5$ 는 항상  $\beta$ 의 각도를 유지하며 원운동을 하게 된다. 따라서 끝점 P2를 통과하며  $\beta$ 의 각도를 갖는 직선과 편치면의 직선  $P_4P_5$ 중 한 점인  $P_4$ 의 원운동 궤적의 교차점의 좌표를  $x_3$ 으로 한 방정식을 세워 이를 각도  $\alpha_1$ 에서 대해 정리하면 식(3)과 같이

풀어질 수 있다.

$$\alpha_1 = \gamma_3 - \sin^{-1} \left( \frac{x_3 - (U_1 \cdot \vec{i} + (B - (P_5 \cdot \vec{i} - P_4 \cdot \vec{i})))}{l_1} \right) \dots\dots\dots(3)$$

(2) 예비헤밍 편치와 본헤밍 편치의 간섭 체크

2절, 4절 유닛 모두에서 예비헤밍 편치가 패널 굽힘을 완료 후 복귀할 때 하강하는 본헤밍 편치와의 간섭은 공구의 접촉을 피하기 위해 필히 검사되어야 한다. Fig.12와 같이 하강하는 본헤밍 편치의 왼쪽 끝과 예비헤밍 편치의 끝이 만나는 지점에서 간격이 10mm 이상이 되도록 정의했다.

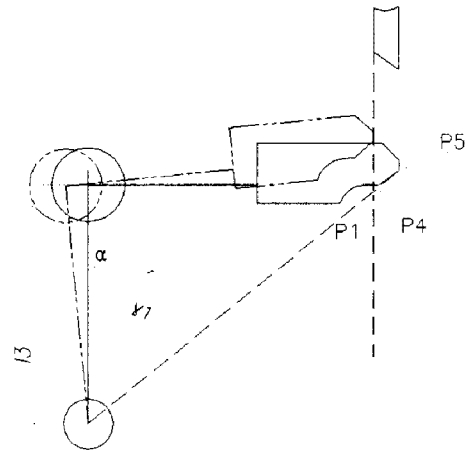
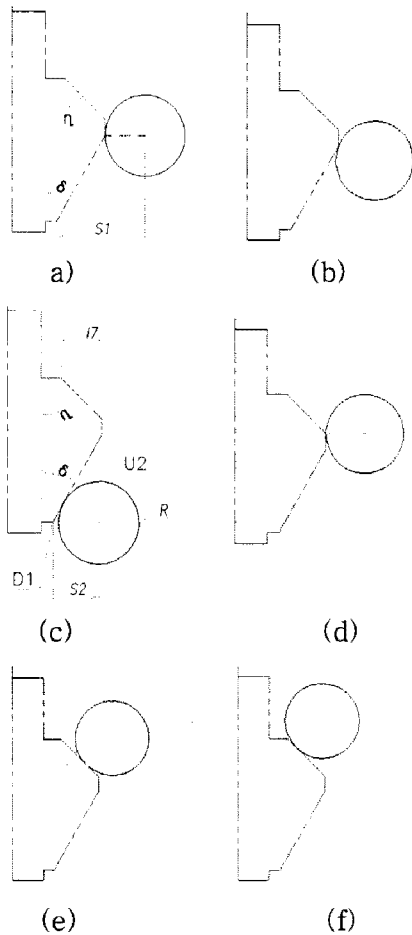


Fig. 12 Interference check

(3) 링크와 드라이브 접촉

링크와 드라이브의 직접 접촉은 롤러와 드라이브 캠의 상대운동이 된다. 효과적인 알고리즘구축을 위해 하나의 연속방정식이 아닌 헤밍 시 특정 단계에서의 위치로 시점을 구분하여 알고리즘을 구축하였다. 또한 예비헤밍 완료 또는 본헤밍 완료와 같은 둘 사이의 접촉이 없는 상태의 드라이브 캠은 움직임이 없으므로 정의를 생략한다.

Fig.13에서 드라이브 캠과 링크 롤러의 접촉을 특정 헤밍 시점에 맞춰 나타내었다. 의미있는 시점은 여섯 단계로 구분될 수 있다. 수직왕복 운동을 하는 드라이브 캠의 수평위치는 다음과 같이 계산되어진다.



- (a) pre-hemming
- (b) pre-hemming : flange contact
- (c) roller & driver cam first-contact
- (d) Return start point
- (e) pre-hemming : interference Check
- (f) Return completion point

**Fig. 13 Drive cam special point**

예비헤밍이 완료되었을 때, 즉 링크의 최대 움직임 각을 가질 때  $S_1$ 의 거리를 갖는  $D_1$ 의 위치로 정의된다. Fig.13(a)에서  $D_1$ 의 수평, 수직 좌표를 식(7), (8)에서 정의하였다.

$$D_1 \cdot \vec{i} = U_2 \cdot \vec{i} - l_7 - R \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$D_1 \cdot \vec{j} = (U_2 \cdot \vec{j} - \frac{l_7}{\tan \delta}) \quad \dots\dots\dots(8)$$

$U_2$ 는 롤러의 중심을 나타내고  $l_7$ 은 드라이브 캠의

높이이고,  $R$ 은 롤러의 반지름이다.

Fig.13(b)는 패널과 예비헤밍편치의 초기 접촉 시점을 나타낸다. 이때의  $D_1$ 은 식(9)로 정의된다.

$$D_1 \cdot \vec{j} = U_2 \cdot \vec{j} - (\frac{S_2}{\tan \delta} - \frac{R}{\sin \delta}) \quad \dots\dots\dots(9)$$

$\delta$ 는 드라이브 캠의 경사각이고,  $\alpha_1$ 은 초기접촉이 일어나는 유닛의 회전각도이고,  $S_2$ 는  $U_2$ 의 중심과  $D_1$ 의 중심까지의 거리이다.

Fig.13(c)는 롤러와 드라이버 캠의 초기 접촉 시점을 나타낸다. 이때의  $D_1$ 은 식(10)으로 정의된다.

$$D_1 \cdot \vec{j} = U_2 \cdot \vec{j} - (\frac{S_1}{\tan \delta} - \frac{R}{\sin \delta}) \quad \dots\dots\dots(10)$$

Fig.13(d)는 예비헤밍 후 복귀가 시작되었을 때의 롤러와 드라이버 캠의 초기 접촉 시점을 나타낸다. 이때의  $D_1$ 은 식 (11)로 정의된다.

$$D_1 \cdot \vec{j} = (U_2 \cdot \vec{j} - \frac{l_7}{\tan \delta}) + l_6 \quad \dots\dots\dots(11)$$

Fig.13(e)는 복귀 이후 예비헤밍 편치와 본헤밍 편치의 간섭체크 시점을 나타낸다. 이때의  $D_1$ 의 위치는 식(12)와 같다.

$$D_1 = U_2 \cdot \vec{j} + (\frac{l_7}{\tan(\eta)} - \frac{R}{\sin(\eta)}) \quad \dots\dots\dots(12)$$

$\alpha_2$ 는 간섭체크 시점의 유닛의 회전각도이다. Fig.13(f)는 복귀가 완료된 시점을 나타낸다. 이때의  $D_1$ 의 위치는 식(13)과 같다.

$$D_1 = U_2 \cdot \vec{j} + (\frac{ds}{\tan(\eta)} - \frac{Rr}{\sin(\eta)}) - (l_6 + \frac{l_7}{\tan \delta} + \frac{l_7}{\tan \eta}) \quad \dots\dots\dots(13)$$

여기서  $R$ 은 롤러 반지름,  $r$ 는 드라이브 캠의 경사각,  $\alpha_2$ 는 간섭체크 시점의 유닛의 회전각도이고,  $S_2$ 는  $U_2$ 의 중심과  $D_1$ 의 중심까지의 거리이다.

#### 4. 작도를 통한 알고리즘의 검증

이상의 알고리즘의 타당성을 알아보기 위해 2차원 CAD 프로그램을 이용하여 작도를 해 보았다. 각 단계의 움직임을 만드는 링크의 각도  $\alpha$ 를 계산하고 각 부품의 위치를 결정하여 자동으로 그려질 수 있도록 하였다.

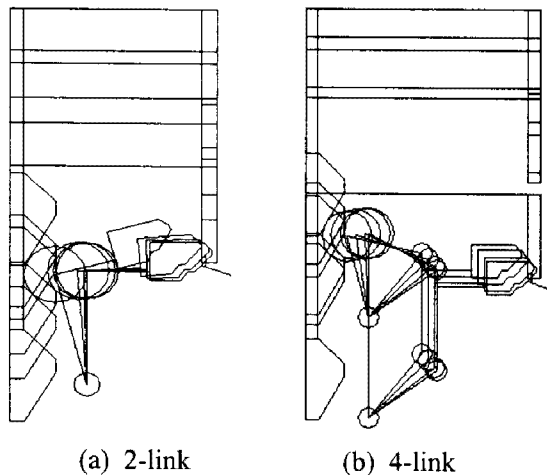


Fig. 14 Auto-drawing

패널의 초기 접촉점을 시작으로 작도한 그림을 Fig. 14에 나타내었다. 2절과 4절 유닛에서 특정 시점에서 드라이브 캠, 본헤밍 펀치의 하강, 이에 따른 링크와 예비헤밍 펀치의 움직임을 자동 작도한 모습을 확인할 수 있다.

#### 5. 결론

산업현장에 적용할 수 있는 설계자동화를 위한 기초연구로서 헤밍유닛의 기구학적 운동에 대한 알고리즘을 구축하였다. 이 연구는 결과는 다음과 같이 요약된다.

1. 숙련된 경험자에 의해 설계되던 헤밍유닛을 기본적인 기구학적 알고리즘으로 구축하였다.
2. 시행착오에 의한 기구학적 작도 설계를 수치적인 설계의 개념으로 접근하여 향후 설계 자동화의 기초를 마련하였다.
3. 지속적인 연구를 통해 비숙련자를 통해서도 설계를 용이하게 진행하고 설계시간 단축에 기여할 수 있는 설계 시스템 구축의 기초를 마련하였다.

#### 참고 문헌

- [1] 한규희 외, 1992, "헤밍가공의 성형 품질에 관한 실험적 연구", pp.10-15
- [2] 최원목 외, 2004, "플랜지 길이가 헤밍품질에 미치는 영향", 강원대 석사학위 청구논문
- [3] 권태훈 외, 1999, "헤밍공정의 성형품질연구", 강원대 석사학위 청구논문
- [4] 김현영 외, 2002, "자동차 외판 플랜징/헤밍공정에 대한 유한요소해석 모델링", 한국소성가공학회춘계학술대회 논문집, pp.103-107
- [5] MatsSvensson, 2002, "Tree-dimensional simulation of hemming with the explicit FE-method", JMPT vol 128, pp.142-154
- [6] H. Livatyali a, T. Altan, 2004, "Experimental investigation of forming defects in flat surface-convex edge hemming", p.20-27