

Front Fender LH/RH 일체 금형설계 및 제작에 관한 연구

정효상*, 이성수**

The Study on the Design and Manufacturing of Combined Die for Both Sides of Front Fender

Hyo Sang Jung*, Seoung Soo Lee**

ABSTRACT

In the automobile development, press tool design and manufacturing are very difficult and need high cost and experienced workers. Therefore, we concerned ourselves in the cost down and easy manufacturing. In this research, we have developed a tool for LH/RH of the front fender, which had difficulty in forming. We have carried out the drawing analysis by Pam-stamp and CATIA modeling. Finally, we get the optimal design parameter. As a result of try out, we found out the optimal width and margin at the center line for tool design. Also, in order to get good results we have to intaglio margin in the part of the wheel house and utilize double bead on every side except corner.

Key Words : Margin(가형상), Tool design(금형설계), Drawing analysis(성형해석), Optimal design(최적설계), Sheet metal forming(박강판 성형)

기호설명

P_1 = Drawing pressure

σ_B = Tensile strength

(mild steel : 35 kg/ mm²)

t = Thickness of panel

c = Coefficient D/A:0.9, S/A:1.3

(D/A:Double Action, S/A:Single Action)

ℓ = Length

B = Average width of blank holder(mm)

L = Average length of blank holder(mm)

P_n = Pressure per unit area

In case of draw : 0.13

In case of stretch : 0.29

P_b = Bead force

1. 서론

현재 우리가 이용하고 있는 자동차는 꾸준한 개발과 연구로 성능, 외관형상 등에서 많은 발달이 이루어졌고, 또한 지금도 지속적으로 연구와 개발이 이루어지고 있다. 한편, 자동차의 가격적인 면에서도 소비자의 구매욕구에 부응하기 위하

* 건국대학교 대학원 기계설계학과

** 건국대학교 기계설계학과

여, 여러 가지 기능은 향상되면서도 비용 면에서는 코스트 다운을 위한 기술적인 노력이 끊임없이 진행되고 있다.

그러나 그 중에서도 특히, 자동차의 외관형상을 이루고 있는 부품들은 대부분 프레스 금형으로 제작을 하고 있으나, 이들 부품에 대한 프레스 금형의 개발비용이 고가이기 때문에, 자동차 가격의 저렴화를 저해하는 요인이 되고 있다. 따라서 자동차 생산비용의 절감을 위한 방편으로, 오래 전부터 금형 개발비용의 절감을 위한 노력이 부단히 이루어져 왔으며, 본 연구에서는 이러한 노력의 일환으로 프론트 펜더(Front Fender)의 LH(Left Hand)/ RH(Right Hand)를 동시에 제작하는 방법을 강구하게 되었다.

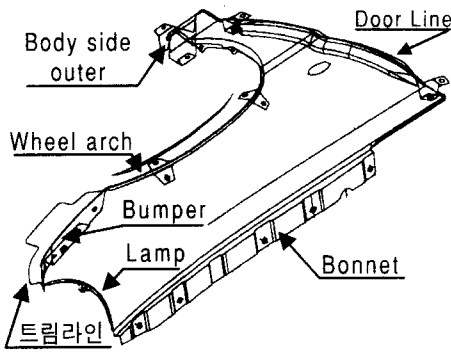


Fig. 1 Wire Frame Shape of Front Fender

일반적으로 작은 부품에 대해서는 프레스 성형상의 문제가 없거나 프레스 용량이 허용하는 범위 내에서는 LH/RH를 붙여서 일체로 제작하고 있다. 그러나 자동차의 펜더(Fender)는 외관형상을 이루는 주요 부품이면서도 이에 대하여 일체로 프레스 성형하여 제작한 전례가 없어서 제작에 많은 어려움이 있었다. Fig.1은 일반적인 프론트 펜더의 형상을 나타낸 것이며, 전개된 트림 라인(Trim Line)도 함께 도시하였다.

따라서 기본적인 금형 설계의 개념과 여러 가지 성형상의 문제점에 대하여 검토하고, 경험이 많고 숙련된 현장 기술자의 도움을 참고로 하여 이들의 노하우를 개발에 적용하였다. 또한 이의 설계에는 CATIA 시스템을 이용하여 모델링 하였

으며, 모델링한 데이터는 Pam-Stamp를 이용하여 성형해석을 실시하였으며, 이의 해석결과를 설계에 직접 반영하는 반복적인 작업을 통해 최적의 설계조건을 구하여 실제로 제작에 적용하였다.

본 연구는 드로우(Draw)를 중심으로 이루어졌으며, 사용한 프레스(Press)는 1000Ton 단동식(Single Action)이며, 형구 높이(Die Height)는 1000mm이고, 쿠션 스트로크(Cushion Stroke)는 185mm이며, 공정 분할은 계획상 5공정으로 설정하였다. 제1공정은 드로우 공정이고, 제2공정은 트림공정이다. 제3공정은 플랜지(Flange)공정으로, 3공정부터 분리되게 하였고, 제4공정은 플랜지 및 로터리 캠(Rotary Cam)을 이용하여 캠 플랜지(Cam Flange)를 하도록 설계하였다. 마지막으로 제5공정은 캠 피어싱(Cam Piecing)공정으로 분할하였다.

또한, 각 공정의 패드(Pad, Stripper) 사이즈 및 패드력이 커질 것에 대비하여, 가스 스프링(Gas Spring)을 사용하는 것을 기본으로 하였으며, 본 논문에서는 우선 성형 조건 및 양쪽을 붙여서 일체로 제작함에 따른 금형 설계상의 문제점에 대하여 논하고자 한다.

2. 설 계⁽¹⁾⁻⁽²⁾

레이아웃(Lay-out)도를 설계할 때, 드로우의 설계에 있어서 고려해야 할 점은 첫째, 가로 단면형상 및 세로 단면형상의 평형(Balance)를 고려하여, 재료 유입에 따른 성형력의 분포가 가능한 한 균일하게 되도록 성형 방향을 설정한다. 둘째, 성형 방향에 대하여 음각이 되는 부분이 없도록 설정한다. 셋째 트림, 피어스 등의 후 공정과의 연관을 고려하여 성형 방향을 결정한다.

성형 방향이 결정되면, 성형이 용이하도록 가형상을 붙이게 되는데 이때에 고려할 사항으로는 첫째, 국부적인 성형력의 집중을 피하고, 둘째, 성형력의 평형을 고려하여 성형력이 분산되도록 한다. 셋째, 재료의 유입이 부드럽게 되도록 한다. 넷째, 재료의 유입량을 제어한다. 다섯째 펀치(Punch)와 다이(Die)의 재료가 접하는 시점(Timing)을 제어한다.

이어서 가형상이 결정되면, 다음의 사항을 고

려하여 다이 페이스(Die Face)를 결정한다. 첫째, 단순화한다. 둘째, 성형깊이를 가능한 한 균일하게 한다. 셋째, 다이와 블랭크 홀더(Blank Holder)에서 블랭크를 잡았을 때 주름이 발생하지 않도록 면을 선정한다. 넷째, 펀치 면은 평균 3-5%늘어나는 쪽이 형상 동결성(動結性)이 좋으므로 적당한 신율이 부여되도록 다이 페이스를 선정한다. 다섯째, 다이 페이스에 의해 잡혀진 블랭크에 펀치가 접촉하여 스트로크(Stroke)의 진행과 더불어 재료가 무리 없이 유입되도록 면을 설정한다.

본네트(Bonnet)부는 큰 형상의 곡면을 이루고 있으므로, 형상을 따라 펀치 윤곽(Punch Profile)을 형성하도록 하였으며, 휠(Wheel)부와 보디 사이드 아웃터(Body Side Outer)에 접하는 부분은 펀치 윤곽을 직선으로 하여, 서로 교차되게 하였다. 또한, 다이 어깨 부분에는 적당한 형상을 마련하여 성형 공정의 마지막에 이미 성형한 부분에 대하여 부가 장력을 주어, 스프링 백(Spring Back)을 감소 시켰고, 부품의 강성을 향상시키기 위하여 계단 드로잉(Step Drawing)을 사용하였다.

Fig.2는 이와 관련된 개략적인 레이아웃도를 나타내고 있다^{(3)~(4)}.

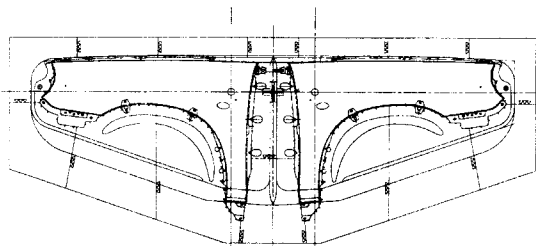


Fig. 2 Lay-Out Drawing

Fig.2에서 휠 아치(Wheel Arch)부는 드로잉 깊이를 균일화하여, 유입량의 균일화에 의한 전단 현상을 줄이고, 재료에의 장강성(Expanding)을 주기 위한 목적으로 펀치 하사점의 근방에서 음각의 가형상을 부여하였다. 이는 해석 결과보다 5~7mm를 높이 부여함으로써 현장에서 필요 부위에 대하여 마무리를 할 수 있도록 하였다. 또한 붙여 놓은 가운데 부분은 도어(Door)의 큰 형상 반경을 확대하기 위하여, 여유면이 있도록 하고, 부분 장강성을 줄이고, 부분적 플랜지를 넓은 범위에 걸쳐서 장강성을 갖도록 가형상을 부분적으로 형상

에 따라 부드럽고 높게 설정했다. 본네트 부분은 유입량이 큰 직각 입력부가 되므로 면 변형과 쇼크 라인(Shock line: 성형 초기 다이 끝 곡면부에서의 인장 굽힘선이 성형 후의 측벽부에 남아 있는 선상 마이크)이 발생될 우려가 있으므로, 최대한 다이 페이스와 짧은 거리를 유지하도록 하였다.

또한 스프링 백 발생을 예상하여, 프레스 방향에서 3° (CCW)정도를 감안한 수직 셋업(Set-Up)을 실시하였으며, 소재의 수율을 높이기 위하여 블랭킹 사이즈(Blanking Size)가 최적이 되도록 설계하였다. 다만 따로 분리하여 제작하던 것과는 달리 도어 라인(Door Line)부의 플랜지 길이 및 가형상 때문에 상당량의 폭을 확보함에 따라 형구가 커졌으며, 제4공정, 제5공정은 로터리 캠을 양쪽으로 설치함에 따라 형구가 평균300mm정도 더 커졌다.

2.1 드로잉 압력계산

드로잉 압력은 성형을 하기 위하여 필요한 힘으로, 펀치 크기와 계단 드로잉의 길이 및 재료 두께에 대한 식으로 주어진다(Fig.3 참조).

$$P_1 = c \sigma_B t l \quad (1)$$

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

식 중의 상수 $c^{(5)}$ 는 경험치를 나타낸다. 본 연구에서는 펀치 길이를 2080mm, 폭은 660mm를 적용하였다.

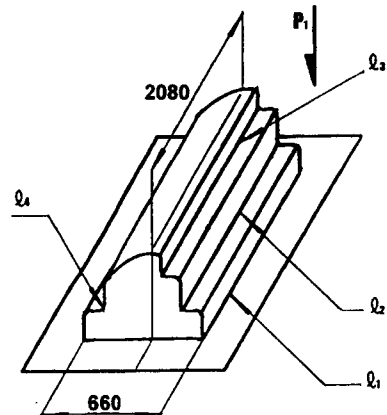


Fig. 3 Drawing Pressure Calculation

2.2 블랭크 홀더 소요압력

블랭크 홀딩 압력(Blank Holding Pressure)은 다이 페이스 면에 작용하는 면압으로, 단위 면적당 작용하는 면압, 평균 길이, 그리고 평균 폭으로 나타낸다(Fig.4 참조).

$$P_N = BLP_n \quad (2)$$

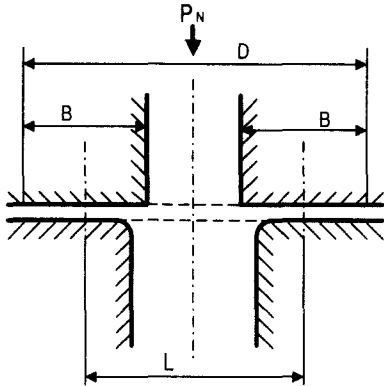


Fig. 4 Blank Holding Pressure

2.3 비드 성형 압력

국부적으로 인장력을 높이기 위해서 비드를 사용하였으며, 싱글 비드(Single Bead)로는 불충분할 것이 예상되어, 더블 비드(Double Bead)를 사용하였다. 비드력은 재료 두께와 비드 길이, 그리고 계수로 주어진다(Fig.5 참조).

$$P_b = 0.27 \sigma_B \ell t \quad (3)$$

여기에서 계수 0.27⁽⁵⁾은 비드력 계산시에 사용되는 값이고, ℓ 은 비드 길이, 그리고 t 는 재료 두께를 나타낸다.

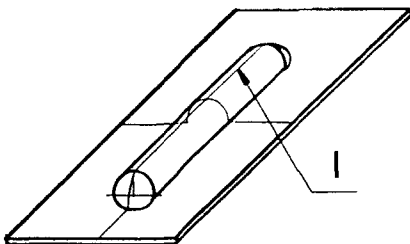


Fig. 5 Bead Force

2.4 블랭크 사이즈 결정법

블랭크 사이즈는 최대 단면 길이와 펀치 윤곽에서 비드까지 거리, 그리고 신율을 감안한 여유로 주어진다. 정확한 크기는 예측할 수 없으며, 단지 비슷한 경우와 비교하여 설정한다. 즉, 정확한 길이는 트라이 아웃을 통해서 결정된다(Fig.6 참조).

$$A_1 + A_2 = a_1 + a_2 + 50 \quad (4)$$

식 중의 a_1, a_2 는 중심선(Center Line)으로부터 좌우 윤곽(Profile)까지의 거리이고, 50은 통상 설계시 펀치 윤곽에서 비드 중심까지 거리를 25mm 정도로 설정한 것을 의미한다.

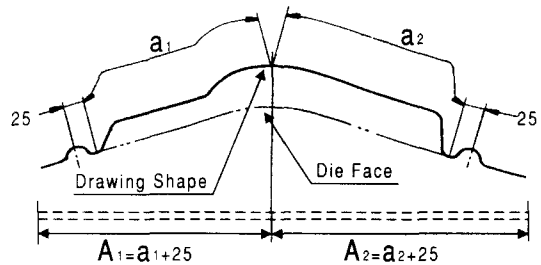


Fig. 6 Blanking Size

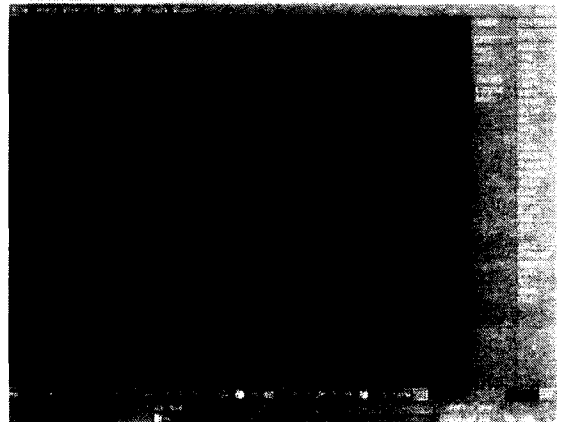


Fig. 7 Modeling

2.5 성형해석 및 모델링(6)-(8)

성형해석을 할 때 단동식(Single Action) 프레스를 사용하고, 쿠션(Cushion)압력은 3kg/mm로 설정하고, 마찰계수(μ)는 0.1로, 블랭크 홀더력은 80Ton, 성형속도는 10m/s, Contact Penalty 상수는 0.1로 하여 해석하였으며, 전반적으로 설계 결과에 기초하여 모델링(Modeling) 하였다(Fig.7 참조).

Table 1은 자동차용 냉연강판 0.7t 소재의 물성치이며, 이 값들은 소재 공급업체에서 제공한 값과 실험에 의한 값을 포함하고 있다. 해석의 주요점은 다이 페이스, 펀치 윤곽, 가형상의 높이 및 형상곡면에 두고 실시하였다.

다이 페이스는 형상을 따라 일정하게 설계하였으나, 처음 해석할 때 소재의 물림이 발생하여 큰 반경을 사용하여 비슷한 형상이 되도록 변경하였으며, 펀치 윤곽은 쇼크 라인 및 굴곡이 생겨서 변경하였다. 다만 휠 아치부의 가형상과 램프부의 가형상, 가운데 가형상, 그리고 도어 라인을 따라 설치한 부분 비드는 해석상 크랙(Crack)이 발생하나 그대로 제작하도록 하였고, 가공이 쉬운 하형만 트라이아웃할 때, 가공하도록 하였다. 해석 결과는 Fig.8과 같이 되었으나, 실제 패널(Panel)과는 재료 유입량의 차이가 있음을 알 수 있다(Fig.13참조).

3. 트라이아웃

트라이아웃은 초기의 트라이아웃이 중요하므로 1차부터 3차까지만 기술하기로 한다.

3.1 1차 트라이아웃

가운데의 가형상 부분이 펀치 하사점으로부터 -80mm(-는 하사점에서 위방향을 의미) 지점에서 크랙이 발생하기 시작하였으며, 특히 소재 유입이 전혀 생기지 않았다. 즉 비드부의 마무리가 되지 않았던 것이고, 비드 다이 스폿(Bead Die Spotting, 형상 맞춤)이 실시되지 않은 결과로 판단된다. 따라서 비닐과 기름을 칠하고 실시한 결과, 펀치 하사점으로부터 -20mm 지점부터 크랙이 발생하였다.

이 문제를 해결하기 위하여 펀치 윤곽 곡면을 6R(6R은 반지름 6mm를 의미함)에서 10R로 변경하고, 수정이 용이한 상형만 수정하였다(Fig.9 참조). 또한 블랭크 홀더의 평행이 문제되어(LH와 RH가 터짐의 양이 다르게 나타남) 조정하였다. 비드부는 어깨 곡면이 2R이었던 것을 3R로 크게 수정하였다.

Table 1 Material Properties of the Sheet Panel

자동차용 냉연 강판			
Thickness	0.7mm	Poisson's Ratio	0.3
Density	7.8E-06 kg/mm ³	Lankford coef.for nomal anisotropy	1.72
Young's modulus	210Gpa	Initial strain	0.0078
Strength coefficient	0.586 Gpa	Yield stress	0.169 Gpa
Strain hardening Exponent	0.249		

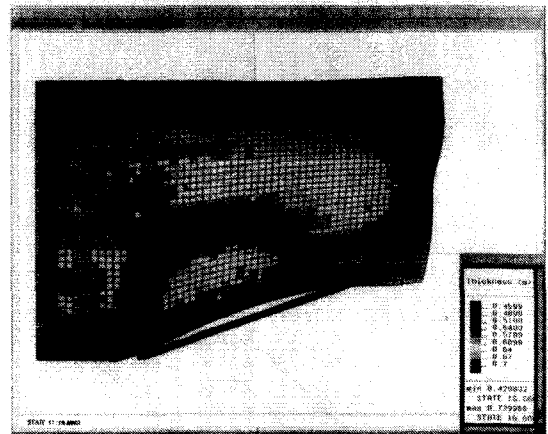


Fig. 8 Drawing Analysis

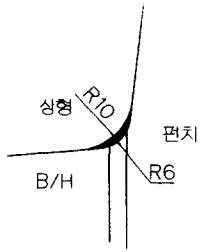


Fig. 9 Punch Profile

3.2 2차 트라이아웃

가운데 부분의 부분 비드에 크랙이 발생하므로, 이를 방지하기 위하여 비드를 좀더 낮게 하고, 휠 아치 쪽의 큰 가형상이 편치 하사점으로부터 -10mm 지점부터 크랙이 발생하므로, 설계 기준에서 5-6mm 낮추도록 하였다(Fig. 10참조). 이때에 전반적으로 형상 맞춤이 맞지 않고, NC가공에서 펜슬(Pencil)가공이 약간 깊게 가공되어(0.2mm 정도 밀으로) 플랜지부의 형상이 깨끗하게 되지 않았다. Fig.10은 휠 아치의 부분의 단면이며 해칭한 부분은 트라이아웃시 가공된 부분을 나타낸다.



Fig. 10 Wheel Arch Margin

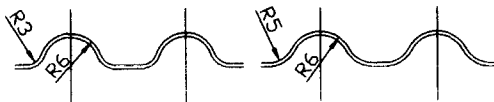


Fig. 11 Bead

또한 더블 비드의 형상곡면을 유입이 잘 될 수 있도록 3R에서 5R로 확대하였다(Fig.11 참조). 이 때에 초기 예상 블랭크 사이즈 925 × 2270은 그대로 유지하였다.

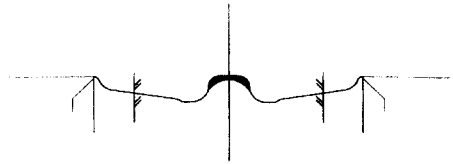


Fig. 12 Center Section

3.3 3차 트라이아웃

소재의 물림이 예상되어 긴 플랜지부에 설치한 부분 비드는 피어싱 후, 형상이 변형될 우려가 있어서 삭제하였다. 본네트부는 스프링 백을 감안하여 설계하였으나, 제품 곡면이 2R인 것을 스프링 백 때문에 1R로 수정하였다.

Fig.12는 두 개를 붙여 놓은 중앙부분 수평 단면이다. 해칭된 부분은 트라이아웃시 하형에 가공된 부분을 나타낸다.

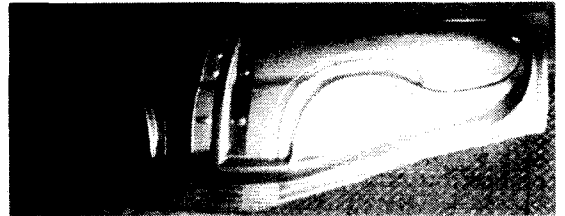


Fig. 13 Drawing Production



Fig. 14 Check Fixture

4. 결 론

자동차는 300항목 이상의 박강판 프레스 성형품에 3000포인트 전후의 스폿(Spotting)용접과 수십 개의 아크 용접과 리벳(Rivet)용접을 한 후에 볼트 결합과 같은 기계적 결합에 의하여 일체로 조립한다. 따라서 프레스 성형품의 탄성 회복현상으로 인한 변형의 비율은 최종형상 결정요인 중에서 차지하는 비중이 크다.

완성된 벤더 제품은 Fig.14와 같이 검사구(Check Fixture)에서 패널을 두 가지로 검사 해본 결과, 첫째는 조립기준으로 검사하였을 때에 LH는 OK율(검사구에서 검사한 제품이 공차 기준이 내의 양을 백분율로 표기한 량)이 49.5% 그리고 RH는 43.2%가 되었고, 가공기준으로 검사하였을 때는 OK율이 LH가 59.6% 그리고 RH는 57.8%가 되었다. 이 때에 OK율이 낮은 원인은 트림 전개 라인의 불량, 플랜지 후의 변형 예측 불량, 그리고 캠 피어싱(Cam Piecing)의 정도 불량 등이 원인이었다. 따라서 앞으로 이들의 불량 원인을 해결하면 OK율은 높아 질 것으로 판단된다.

본 연구는 드로잉 제품에 대한 것만으로 한정을 하였으며, 이를 통하여 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) LH/RH 동시에 성형할 때, 중심선에 최대 폭을 확보하여 소재의 유입을 흡수하고, 부가장력을 줄 수 있는 폭 30 mm 이상의 가형상이 필요하다.
- (2) 셋업 할 때에 범퍼(Bumper) 설치면은 프레스 방향에서 3° (CW)으로 하고, 본네트 면은 프레스 방향에서 3° (CCW)정도로 한다. 각각 스프링 백 양을 감안한 값이며 불가능할 경우 설계 변경을 한다.
- (3) 휠 아치 음각 가형상은 최대 높이로 설정하되, 초기 바인더 랩(Binder-rap)시 크랙이 발생하지 않도록 하여, 마무리 할 때 조정 할 수 있도록 5~7mm높이로 여유 있게 설정한다.

참고문헌

1. 박강판 성형기술 연구회, 프레스 난이 핸드북, 기전출판사, 1991.
2. 기아모텍 기보, 제2호, 1996년.
3. A-Project Front Fender , KIA, 1995.
4. B-Project Front Fender , KIA, 1997.
5. 기아모텍 금형 설계 표준, 1990.
6. 프레스가공 노우하우 편집위원회, Press 가공 노우하우100제, 기전출판사, 1988.
7. D.J.Hogath, C.A.Gregoire, and S.L.Caswell "Simplified Formability Analysis for Die Trouble shooting", SAE Paper#910517.
8. 신 프레스가공 데이터북 편집위원회, 신 프레스가공 데이터북, 일간공업신문사, 1993.