

드로오비드에 관한 국내의 연구 동향

김 창 만 · 서 대 교
(대원전문대 기계설계과) (성균관대 기계설계학과)

1. 서 론

일반적으로 금속판재의 성형은 후판과 박판 성형으로 대별할 수 있다. 그 중에서도 박판성형은 특히 냉간 박강판이나 비철 박판성형은 프레스기를 이용한 판재 성형이 지배적이라 할 수 있다. 즉, 지금까지의 박판재의 성형작업 방법으로서는 주로 금속 펀치와 다이와의 접촉성형에 의한 것이 대부분인 실정이다. 이러한 다이, 판재, 펀치의 접촉에 의한 판재성형시는 성형하려는 판재에 주름이 발생하는등 외관상 여러가지 불량 현상을 수반하게 된다. 이와 같은 판재와 펀치나 다이와의 접촉으로 인한 표면 불량 원인을 줄이기 위한 액압성형, 가스성형, 폭발성형등의 연구가 최근에 활발히 진행 중에 있다.

금속판재성형 완료후의 최종 형상이 최초 설계된 제품형상과 동일한 치수 및 균일한 두께분포의 내,외관상 결함 없는 양호한 제품을 생산하기위해 수 많은 연구와 노력을 해 왔으며 아직도 이러한 이상적인 제품을 생산해 내기 위해 수많은 연구가 진행되고 있다.

펀치와 다이에 의한 박판성형을 수행하기 위하여 금형설계시 용도에 따라 여러가지 형태의 드로오비드를 설치하게 된다. 이때 드로오비드의 설치 목적은 판재의 유입시 다이 사이의 마찰저항을 부분적으로 또는 용도에 따라 구분하여 증가시켜 줌으로써 성형될 판재 전체의 장력 조절이 이뤄져 결

국, 판재 성형율을 최대한 향상시키는데 있다.

판재의 성형율을 향상시키기 위한 최적의 드로오비드의 선정 절차나 방법은 금형 설계의 필수 불가결한 요건이며, 판재성형 전체의 성패에 큰 영향을 끼치는 중요한 설계 부분이라 할 수 있겠다.

만일 드로오비드 없이 박판재의 성형을 하기 위해서는 드로오비드가 설치되어있는 경우 보다 훨씬더 큰 소재 가압력을 주어야 하며 이에 따르는 부가장치도 그 만큼 필요하게 된다. 실제 판재성형시 대부분은 임의 형상단면 모양인 펀치에 의해 성형되며, 이때 판재의 국부별 소재유입을 드로오비드없이 적절히 조절함이란 대단히 어려운 일이다. 이와 같은 국부별 재료유입의 기타 방법에 비해 드로오비드 설치에 의한 재료 유입조절방법은 손쉽게 드로오비드를 제작, 설치할 수 있다는 점과, 유입되는 판재 전체의 미끄럼 저항의 균형을 이루게 하여 초기 블랭크 치수를 절약할 수 있는 경제적 측면의 장점도 있다. 또한 드로오비드 설치로 인하여 판재의 원주방향에 따르는 압축응력을 억제하여주어 성형중 판재의 주름발생 현상을 다소 줄일 수 있고, 성형된 제품의 등고성의 편차를 어느 정도 균일하게 하는 효과도 있다. 드로오비드의 형상이나 크기, 종류에 따라 다양한 유입저항력을 부가할 수도 있어 적절한 드로오비드의 선택으로 인하여 판재성형시 발생하는 몇몇 불량현상을 조금이나마 줄일 수도 있다. 드로오비드에도 많은 종류가 있어서 드로오비드의

치수나, 형상 변화에 따라서 성형이나, 인출결과가 많이 달라질 수 있고, 오히려 부적절한 드로오비드설치는 판재성형율의 저하를 초래할 수 있음을 간과해서는 안될 것으로 사료된다.

이러한 드로오비드에 대한 주된 실험적 연구로서는 드로오비드 성형, 인출, 굽힘, 마찰실험 및 드로오비드가 설치된 금형에서 펀치에 의한 축대칭 실험이나 L, U굽힘실험등을 들 수 있겠다. 드로오비드의 종류에 따른 다양한 실험결과와 숙련된 기술자들의 기록이 체계적이고 조직적으로 유지되지 못한다면, 새로운 모델의 금형을 제작할때 마다 드로오비드 형상이나 치수를 새롭게 설계해야 하고, 이때 마다 수많은 시행착오를 하게되며, 그 만큼 새로운 제품 개발의 공정기간의 단축에 대한 악영향을 끼치게 된다.

구미 선진 각국에서는 이미 실제 산업 현장에서 판재의 두께나 판재 도금 혹은 판재 표면의 유기피막 여부나 각종 금형 용도에 따른 다양한 종류의 드로오비드에 대한 표준화를 구축해 놓고 CAD/CAM/CAE등에 실제 이용하는 실정이다. 국외의 활발한 연구에 비해 상대적으로 국내에서는 이러한 드로오비드의 설치 제작의 중요성을 인식하면서도 활발한 연구가 아쉬웠으나 최근에 드로오비드에 대한 산학간 공동연구가 함께 진행됨은 늦은 감은 있으나 매우 고무적이라 생각되며 앞으로 더욱 활발한 연구와 관심이 있기를 희망한다.

2. 본 론

드로오비드를 설치방식이나 형상 혹은 갯수에 따라 살펴보면 다음과 같은 종류별로 구분할 수 있겠다.

◆ 설치방식에 따른 드로오비드 분류

- ① 설계될 다이와 함께 제작되는 일체형

드로오비드

- ① 드로오비드를 다이에 직접 용접하여 사용하는 용접형 드로오비드
- ① 드로오비드를 다이에 볼트등으로 체결하여 사용하는 체결식 드로오비드
- ① 다이홈에 로드셀등을 삽입하여 사용하는 삽입식 드로오비드

◆ 드로오비드 유동여부에 따른 분류

- ① 드로오비드를 다이의 형상에 따라 오무리거나 구부러 필요한 용도에 따라 좌,우유동이 가능한 드로오비드, 유압에 의해 드로오비드가 상,하로 움직임이 가능한 유동식 드로오비드
- ① 드로오비드를 설치할 위치에 따라 움직일수 없는 고정식 드로오비드

◆ 드로오비드 갯수에 따른 분류

- ① 드로오비드 갯수가 한개 일때를 단일 드로오비드
- ① 형상이 동일한 드로오비드가 두개 이상일때를 이중 드로오비드
- ① 형상이 다른 드로오비드가 두개이상일때를 복합 드로오비드

◆ 드로오비드 형상에 따른 분류

- ① 환저형 드로오비드(Round drawbead)
- ① 원형 드로오비드(Circular drawbead)
- ① 삼각형 드로오비드
(Triangular drawbead)
- ① 사각형 드로오비드(Square drawbead)
- ① 계단형 드로오비드(Step drawbead)

다음은 시대별 드로오비드 연구결과들을 간략히 살펴 보면 다음과 같다.

1978년경 H.D.Nine⁽¹⁾은 단일원형 드로오비드를 대상으로 인출력과 드로오비드부를 통과하는 소재의 상,하부표면의 변형률분포를 알아보고, 마찰계수를 구하는 방법등

드로오비드 해석의 기초를 다지는 귀중한 연구업적을 많이 남겼으며 이로부터 드로오비드 연구가 활발해지게 되었다. Nine은 General Motors 회사의 연구소에서 반지름 5.5mm의 단일원형 드로오비드가 설치된 곳에 롤러를 설치하여 쿠우룸 마찰계수식을 이용한 A-K Steel과 2036-T4 Aluminum의 마찰계수를 구하였고 윤활여부에 따른 마찰계수도 따로 구하였다. 또한 마찰계수가 클수록 드로오비드 인출력도 증가하며 여러번 시편을 인출한 후에는 드로오비드부와 시편의 접촉부에서 시편의 조각들이 달라붙는 galling 현상의 문제점 까지 상세하고도 광범위하게 드로오비드 연구를 수행한 바 있다.

1980년경 M.Kojima, C.Sudo, Y.Hayashi 등⁽²⁾은 드로오비드를 소재가 통과할때 생기는 블랭크 홀더를 들리는 반력을 이론적으로 규명하려 했다. 또한, 블랭크 홀더의 들림에 의해서 다이 사이에 틈이 생겨 플랜지부에 주름이 발생하는데, 이러한 주름발생 현상을 방지할 수 있는 최소한의 블랭크 가압력이 필요함을 강조 했으며, 펀치의 하강에 따른 시편의 유입이 증가할때, 드로오비드가 없는 경우 보다 있는 경우가 다이의 들림현상이 심해짐을 밝혔다.

1981년경 N.M.Wang⁽³⁾은 단일원형 드로오비드를 대상으로 굽힘과 굽힘되돌림, 미끄러짐을 수학적으로 짝응력의 모멘트 평형 조건을 도입하여 드로오비드 인출력을 계산해 보았으며 시편의 재질별, 두께별로 마찰계수 증가에 따른 인출력선도의 이론해석결과는 실험결과와 다소 차이는 있으나 수학적으로 인출력을 계산하려는 초기 시도였다 는 점에서 의의가 있다고 말할 수 있겠다.

1982년 H.D. Nine⁽⁴⁾은 바닥 부분이 평평한 사각형 형태의 드로오비드인 경우 시편과 드로오비드 바닥부의 비접촉 영역이 원형 드로오비드인 경우 보다 넓어지게 됨을

고찰하고 드로오비드 홈에 우레탄을 삽입하여 드로오비드 바닥 부분이 시편에 완전히 밀착되게 성형 하려면 기존의 드로오비드 성형력보다 1KN 정도 더 가압력을 주어야 함을 밝혔다. 또한, 이런 형태의 인출 실험은 드로오비드 홈에 우레탄을 삽입하지 않고 인출했을때, 시편과 드로오비드의 바닥부가 완전히 밀착되지 못한 경우의 인출력보다 20% 정도 인출력이 증가된다는 사실을 밝혔다.

1983년경 B.S. Levy⁽⁵⁾는 기존의 Nine과 Wang의 드로오비드 인출력 실험결과를 인용했고 가상일원리를 도입하여 이방성과 변형률속도의 영향등을 고려하여 인출력의 좀더 정확한 예측을 하려고 노력하였으며 또한, 인출력에 영향을 미치는 변수들을 미분하여 소성계수, 가공경화지수, 재료두께등의 의존성을 고찰한 바 있다.

1984년경 J.M.Yellup⁽⁶⁾은 단일원형 드로오비드를 통과하는 금속박판의 유동해석 모델링을 제시하였다. 또한 소재의 두께와 인출응력과의 관계 및 드로오비드 깊이 변화에 따른 인출응력을 마찰계수 0.25와 0.15 일때로 구분하여 이론해석으로 구하였고 드로오비드를 통과하는 소재의 상, 하표면의 변형률분포도 알아 보았다.

1985년경 J.M.Yellup과 M.J.Painter⁽⁷⁾등은 소재가 좁은 드로오비드부를 통과할때의 인출력과 시편의 형상을 예측해 보았다. 시편이 단일원형 드로오비드부를 통과할때 female(凹) 드로오비드 좌, 우모서리부에서 블랭크 홀더의 들림현상에 의해 상, 하 다이 사이에서 틈이 발생하기 때문에 인출시 드로오비드 좌, 우모서리부에서 시편이 완전히 접촉되지 않는 현상을 단면사진을 통해 밝혔다.

1986년경 M.Shiokawa, H.Takizawa, S. Ujihara 등⁽⁸⁾은 판재성형 동안에 발생하는 파단과 인출시 시편 상, 하부표면 변형률분포등의 평가를 예측하는 방법을 제시하였

다. 이들은 펀치로 판재를 성형할때 시편이 파단될 경우에 있어서는 컵벽면 중앙부와 드로오비드 통과한 후의 공구다이 모서리부와 펀치 모서리부등 크게 세가지 영역으로 구분하였다. 이들은 5.5mm 크기의 단일원형 드로오비드와 2.5mm의 female(凹) 드로오비드 좌, 우모서리, 반지름 9mm의 공구다이 모서리 크기를 갖는 금형 형상을 유지하고 인출각도를 0°부터 80° 까지 증가시켜 보았을때 인출각도와 시편의 인장강도가 클수록 드로오비드 인출력이 증가함을 밝힌바 있다.

1987년경 N.Triantafyllidis, G.Grab, B. Maker, S.K.Samanta 등⁽⁹⁾은 1986년에 판재 성형시 드로오비드 이론해석을 발표했던 논문을 실험적으로 검증해 보았다. 사각형 드로오비드의 성형깊이 증가에 따른 소재 가압력의 증가를 실험과 유한요소해석을 통해 검증해 보았다. 원형, 사각형 드로오비드 성형시 시편의 상, 하부 표면의 변형률분포에 대한 실험과 유한요소해석 결과를 비교해 보았으며, 유효한 원형 드로오비드의 성형깊이에 따른 소재 가압력을 비교검증해 보았고, 또한 인출길이에 따른 인출력해석과 실험을 비교 검증해 보았다.

1988년경 T.E.Dwyer, D.J.Meuleman 등⁽¹⁰⁾은 전기아연도금 강판에 관한 드로오비드 인출실험을 통해 재료의 표면상태를 고찰해 보았다. 반지름 4.76mm의 단일원형 고정 드로오비드와 롤러드로오비드를 대상으로 인출실험을 수행하였으며 0.86mm 두께의 전기아연도금 steel을 시편으로하여 다이의 재료가 cast steel인 경우가 gray iron, nodular iron에 비해 마찰계수가 0.15정도로 줄어든다는 실험결과와 인출된 시편 표면의 굽힘등을 현미경 사진으로 제시했으며 인출실험후 male(凸) 드로오비드부 좌, 우 접촉 표면에 아연도금된 도금층의 파편조각들이 달라붙어 융착되어 있는 galling현상을 고찰해 보기도 하였다.

M.Usuda, Y.Ishii 등⁽¹¹⁾은 예변형을 받은 금속판재의 2차 변형에 있어서 유동응력을 평가하는 연구를 수행하였다. 반지름 5.5mm 단일원형 male(凸) 드로오비드와 female(凹) 드로오비드의 좌, 우 모서리를 1.5, 2.5, 3.5mm로 변화시키며 인출실험을 수행했을때 예변형을 많이 받은 재료일수록 예변형된 재료의 응력과 인장항복응력의 유동응력비 값은 커지며 연신율은 줄어든다는 결과를 발표했다. 또한, 가공경화지수 값이 증가할수록 유동응력비 값이 증가한다는 결과를 발표한 바 있다.

S.C.Tang, J.Gress, P.Ling 등⁽¹²⁾은 자동차 판넬의 판재성형 모델링에 대한 유한요소해석 논문에서 인출길이에 따른 드로오비드 인출력은 인출 초기에 급격히 증가하다가 판재가 드로오비드를 통과하면서 부터는 거의 일정하게 유지된다고 가정하고 드로오비드 모델 해석을 하였다. 즉, 이들은 판재가 드로오비드부를 통과하면서 부터는 인출력이 거의 일정하다고 보고 판재의 인출 초기 단계에서 초기 인출력(F_0)이 급상승할때 인출길이에 따른 초기 인출력의 기울기를 인장 스프링상수(K_b)로 가정하고 드로오비드 인출해석을 한 바 있다.

1988년경 M.Kojima⁽¹¹⁾는 자동차 부품인 엔진 오일팬 성형시 판재와 판재사이에 resin을 적층한 재료의 성형성에 대한 논문에서 단일원형 드로오비드를 오일팬 좌, 우에 설치하여 실험했을때 주름발생 현상이 생기지 않았으며, 또한 판재의 유효한 오일팬 성형이 될수있는 최적의 조건을 제시한 바 있다.

T.Sakamoto, S.Ujihara, T.Furubayasi 등⁽¹⁴⁾은 판재의 성형평가 검토 과정에서 드로오비드의 해석 즉, 인출력 및 변형예측의 중요성을 인식하고 드로오비드에 대한 실험과 드로오비드를 통과한 재료의 변형이 판재성형평가 전체의 정밀도를 향상시키는데 크게 기여할 뿐만 아니라, 성형성평가 전반

에 많은 영향을 끼치기 때문에 다양한 형상의 드로오비드를 표준화하고 표준화된 드로오비드 형상에 따르는 인출특성치를 테이블화 시켜 금형설계 초기단계에서 다이의 국부별로 각각 다른 형상으로 설치될 드로오비드의 적절한 설정과 운용 방법을 확립하여 Nissan자동차 회사의 판재성형시 시행착오에 따른 공정횟수를 줄여나가는데 크게 기여한 바 있다.

1990년경 T.Schurman, R.N.Wright⁽¹⁵⁾은 단일원형 고정드로오비드와 롤러드로오비드 및 드로오비드가 없는 strip실험을 통해 고정드로오비드가 설치되어있을때와 설치되어있지 않을 때의 마찰계수 및 다이표면의 거칠기나 다듬질 정도에 따른 마찰계수를 측정하였다. 다이의 표면 조도가 0.4, 0.8, 1.6, 2.0 μm 로 커질수록 마찰계수는 0.12에서 0.18정도로 크게 나타났으며 이들의 실험결과에 의하면 드로오비드가 설치되어 있는 경우가 설치되어 있지 않은 경우보다 마찰계수가 대부분 커짐을 밝힌 바 있다.

Y.Hishida, M.Yoshida⁽¹⁶⁾은 판재표면이 도금처리된 여러 종류의 소재별, 프레스 성형성을 고찰하는데 있어서 드로오비드 인출실험을 통해서 마찰계수가 커질수록, 또한 인출력(재료유입 부가저항력)이 커질수록 자동차 fender 판넬의 유동량이 줄어들음을 밝힌 바 있다.

1991년경 T.Yoshida, K.Ito, T.Sagawa⁽¹⁷⁾은 2단계 컵성형에 있어서 드로오비드영향에 대한 해석에서 단일원형 드로오비드가 설치되어 있는 경우와 드로오비드가 없는 경우의 해석에서 드로오비드가 설치되어 있는 경우가 드로오비드가 없는 경우보다 유한요소해석시 막(membrane)력분포가 크며 또한, 드로오비드 깊이가 깊을수록 막력의 분포가 커짐을 고찰한 바 있다.

1992년경 M.Hiraiwa, T.Nakomura⁽¹⁸⁾은 매우얇은 박판성형시 드로오비드를 설치

하여 가스킷 성형후 평평도를 향상시키는 실험을 수행한 바 있다.

L.Pennazi, S.Aita, T.Ogawa, T.Tomada⁽¹⁹⁾은 CAE의 유한요소해석의 타당성을 주장하는 논문에서 자동차 front fender의 판재성형에 파단 영향을 검토하면서 90톤의 블랭크 가압력을 주었을 때 단일원형 드로오비드와 공구다이 모서리부의 반경을 원만히 처리하여 파단을 방지하는 과정과 드로오비드 접촉부와 공구다이 모서리 접촉부에서 재료가 유입되면서 다이에 재료의 일부 표면층이 용착되는 과정을 그림으로 설명하려 하였다.

1993년경 H.Hayashi⁽²⁰⁾는 인출각도를 0°로 시편을 인출하는 드로오비드 시험과 90°로 인출하는 L형 드로오비드 시험용인 밴드형 시편을 이용한 드로오비드 인출, 굽힘 시험등의 평가 지표와 시험법의 특징등을 간략히 소개한 바 있다.

1994년경 H.Ike⁽²¹⁾는 L형 드로오비드 인출실험에 의한 표면도금 강판의 미끄러짐을 평가한 논문에서 L형드로오비드 인출시 인출력 성분을 백분율(%)로 환산하여 살펴본 바에 따르면 다이 표면과 드로오비드표면 마찰력(40%), 드로오비드에 의한 굽힘과 굽힘되돌림력(30%), 공구다이 모서리 접촉부의 마찰력(22%), 공구다이 모서리부의 굽힘과 굽힘되돌림력(8%)의 크기 순으로 구분해 보기도 하였다.

T.Kuwabara, D.Masuda, J.Kuroyanagi⁽²²⁾은 유압제어 방식을 이용한 드로오비드의 깊이와 블랭크 가압력을 국부적으로 줄 수 있도록 설계된 신형 드로오비드를 개발하였다. 유압의 적절한 조절로 인해 필요한 부분의 블랭크 가압력을 다르게 줄 수 있고 드로오비드를 교체하지 않고서도 드로오비드 깊이를 조절할 수 있어 판재성형시 재료의 유입저항력등을 조절할 수 있는 편형식의 드로오비드를 개발한 바 있다.

3. 결 론

이상과 같이 시대별로 드로오비드 연구동향을 간략히 살펴본바에 따르면 자동차 산업이나 항공 산업등 판재성형 기술이 발달된 구미 선진 각국들이나 우리 나라와 인접한 일본만 해도 판재성형시 드로오비드 역할의 중요성 때문에 드로오비드 실험이나 이론해석을 80년대 이후 부터 꾸준히 연구해 오고 있는 실정이다. 또한 박판재의 새로운 모델개발 착수시 해석에 필요한 기초 데이터와 그동안의 생산현장 기술자들의 축적된 경험등을 집대성한 충분한 자료들을 활용함으로써 판재성형시 시행착오 횟수를 줄여주어 판재성형의 예비 공정 시간을 단축할 수 있고, 과거 공정상의 문제점을 되풀이 하지않을 수 있게 된다. 즉 이러한 작업 공정기간의 단축은 신모델개발 시간의 절약과 생산단가를 줄여주어 결국 세계시장 경쟁에서 우위를 점할 수 있음을 의미하는 것이다.

따라서 외국에 비해 상대적으로 드로오비드에 대한 연구가 늦은 감은 없지 않으나 국내에서도 얼마전부터 기초적인 드로오비드에 관한 연구가 진행되고 있음은 다행으로 생각되며 각종 판재성형 성패에 영향을 미치는 다양한 종류의 드로오비드에 대한 실험과 해석을 수행한 자료들을 구축해둠으로써 국내자체 고유모델 개발에 관한 설계, 제작시 필요한 자료로 활용되리라 감히 확신하며 산학공동연구로 새로운 드로오비드 설계 연구도 아울러 활발히 추진되기를 기대하며 이 글을 마친다.

참 고 문 헌

(1) H. D. Nine, 1978, "Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", *Mechjanics of Sheet Metal Forming*, pp. 179~211.

(2) M. Kojima, C. Sudo and Y. Hayashi, 1980, "Effectiveness of Flange Holding on the Die Surface with Drawbeads", *Sheet Metal Forming and Energy Conservation*, pp. 207~219.

(3) N. M. Wang, 1981, "A Mathematical Model of Drawbead Forces in Sheet Metal Forming", *J. Applied Metal Working*, pp. 193~199.

(4) H. D. Nine, 1982, "New Drawbead Concepts for Sheet Metal Forming", *J. Applied Metal Working*, Vol. 2, No. 3, pp. 185~192.

(5) B. S. Levy, 1982, "Development of a Predictive Model for Draw Bead Restraining Force Utilizing Work of Nine and Wang", *J. Applied Metal Working*, Vol. 3, No. 1.

(6) J. M. Yellup, 1984, "Modeling of Sheet Metal Flow Through a Drawbead", 13th IDDRG., Proc. pp. 166~177.

(7) J. M. Yellup and M. J. Painter, 1985, "The Prediction of Strip Shape and Restraining Force for Shallow Drawbead Systems", *J. Applied Metal Working*, Vol. 4, No. 1.

(8) M. Shiokawa, H. Takizawa and S. Ujihara, 1986, "Predictive Evaluation of Draw-in, Elongation and Breakage during Forming Processes", *Nissan Motor Co., Ltd.*, pp. 243~257.

(9) N. Triantafyllidis, G. Grab, S. K. Samanta and B. Maker, 1987, "An Analysis of Drawbeads in Sheet Metal Forming: Part II - Experimental Verification", *Journal of Engineering Materials and Technology*, Vol. 109, pp. 164~170.

(10) T. E. Dwyer and D. J. Meuleman, 1988, "Die Materials and Treatments with

- Eletroalvanized Steels”, Advances and Trends in Automotive Sheet Steel Stamping Proc., No. 880369, pp. 61~69.
- (11) M. Usuda and Y. Ishii, 1988, “Estimation of Flow Stress in Secondary Deformation of Prestrained Sheet Steels”, 15th IDDRG. Proc., pp. 155~161.
- (12) S. C. Tang, J. Gress and P. Ling, 1988, “Sheet Metal Forming Modelling of Automobile Body Panels”, 15th IDDRG, Proc., pp. 185~193.
- (13) M. Kojima, 1988, “Press Formability of Steel - Resin - Steel Laminates for Vibration Damping”, 15th IDDRG, Proc., pp. 293~299.
- (14) T. Sakamoto, S. Ujihara and T. Furubayashi, 1988, “自動車用 パネルの成形性豫測と 絞ビドの 役割”, 日本塑性加工學會誌, Vol. 30, No. 337, pp. 206~211.
- (15) T. Schurman and R. N. Wright, 1990, “Die Friction Variations in Simulated Sheet Metal Forming”, 16th IDDRG. Proc., pp. 113~121.
- (16) Y. Hishida and M. Yoshida, 1990. “Press Formability of Various Coated Steel Sheets”, 16th IDDRG. Proc., pp. 173~180.
- (17) T. Yoshida, K. Ito and T. Sagawa, 1991, “Analysis of Puckerling and Localized Necking in Step-Head Cup Forming ---Forming Limit of Two Stage Deep Drawing II---”, Journal of the JSTP, Vol. 32, No. 370, pp. 1409~1414.
- (18) M. Hiraiwa, T. Nakamura and M. Sugawara, 1992. “Flatness Improvement in Bending of Thin Hard Metal Sheet”, Journal of the JSTP, Vol. 33, No. 374, pp. 247~252.
- (19) L. Penazzi, S. Aita, T. Ogawa, T. Tamado and S. Tasaka, 1992, “Industrial Valiation of CAE Finite Element Simulation of a Stretch-Drawn Autobody Part (Front Fender Case)”, 17th IDDRG. Proc., pp. 213~234.
- (20) H. Hayashi, 1993, “板材成形におけるトライボロジ---”, Journal of the JSTP, Vol. 34, No. 393, pp. 1114~1121.
- (21) H. Ike, 1994, “Evaluation of Sliding Characteristics of Coated Steel Sheets by L-Type Drawbead Simulator”, Journal of the JSTP, Vol. 35, No. 397. pp. 145~151.
- (22) T. Kuwabara, D. Masuda and J. Kuroyanagi, 1994, “An Experimental Syudy of Draw-Bead-Force-Flexible - Control Die”, Journal of the JSTP, Vol. 35, No. 402, pp. 868~874.