

자동차 시트 쿠션 패널의 복합 자동화 금형 제조기술에 관한 연구

박동환[#] · 정창식¹

A Study on the Complex Automation Die Manufacturing Technology for an Automotive Seat Cushion Panel

D. H. Park, C. S. Jung

(Received August 12, 2013 / Revised February 14, 2014 / Accepted March 3, 2014)

Abstract

Progressive dies are used for metal stamping during which multiple operations are performed in a sequence. Material is fed automatically from a coil into the press and advances from one die station to the next with each press stroke. Transfer dies are used in high-volume manufacturing for round, deep-drawn, and medium-to-large parts. Several different operations may be incorporated within a transfer die such as blanking, bending, piercing, trimming, and deep drawing. The main challenge in the current study is how to deform a seat cushion panel meeting the design specifications without any defects. A complex automation die manufacturing technology for the automotive seat cushion panel, mixing both semi-progressive die and transfer die for continuous production, was developed.

Key Words : Seat Cushion Panel, Complex Automation, Die Manufacturing Technology, Progressive Die, Transfer Die

1. 서론

승용차용 박판 성형 공법은 중소기업 수준에서는 초기 개발투자를 최소화하기 위해 단발공정 프레스 성형공법으로 개발하여 작업자의 의존율이 크며 품질에도 큰 영향을 미치고 있어 기술 경쟁력이 떨어지고 있는 실정이다. 최근 자동차 시트(seat) 관련 부품의 모듈화와 표준화 개발 추세로 중소형 승용차 부품을 표준화 설계하여 공용 사용을 유도함에 따라 부품 자동화 성형공법 및 양산성 기술 개발 대응이 불가피하다. 일본의 자동차 사례를 보면 시트 관련 부품의 판재성형 공법은 원자재 자동 이송을 통한 트랜스퍼(transfer) 성형공법과 프로그레시브(progressive) 성형공법 등 차별화를 통해 생산성향상, 원가절감, 품질향상 등 글로벌 경쟁에서 우위를 확

보하고 있다. 선진 해외 프레스 성형공법은 과거 단발성형 공법에서 성형 가공물의 자동화 성형 기술 개발을 통하여 원가절감, 생산성향상 등 국내 기술과 비교하여 한 단계 우위를 확보하고 있는 실정이다.

자동차용 시트는 운전자에게 있어 안락함과 동시에 운전자의 안전 확보에 가장 큰 직접적 영향을 주기 때문에, 시트 제조 시에 안전성은 자동차의 상품성을 결정하는데 있어서 가장 중점으로 두어야 할 요인 중에 하나다. 자동차 시트 프레임(seat frame)은 시트에 가장 기본이 되는 구조물로서 강도 및 강성을 확보함과 동시에 초경량 소재를 사용함으로써 자동차 무게 감소에 따른 연비상승 효과를 기대할 수 있고, 경량화, 고부가가치화, 신기술 개발 적용에 따른 자동화 생산으로 국내와 세계시장에 잠재력을 가진 핵심기술 개발이 요구된다.

1. (주)금강

[#] Corresponding Author : Gyeongbuk Hybrid Technology Institute, E-mail: pdh@ghi.re.kr

자동차 시트 프레임 중에서 시트 쿠션 판넬(seat cushion panel)은 기존 1공정에서 8공정까지 Tandem 작업으로 진행함에 따라 작업자 8명을 포함하여, 금형, 프레스 각각 8대가 필요하다. 즉 금형, 프레스에 각각 8명의 작업자가 공정에 투입되어 가동하게 되면 다른 제품 생산에 영향을 미치고, 작업자 각각의 능력에 따라 생산 Line 흐름이 불규칙하게 되어 생산성에 문제가 발생된다. 공정간 이동시 수작업으로 이동, 적재하는 과정에서 품질문제도 발생하며, 작업자 안전에도 큰 영향을 미친다. 또한 단발 금형을 수작업에 의한 생산으로 작업자의 노하우(know-how)에 따라 제품의 품질에 영향을 미친다.

따라서 본 연구는 세미 프로그레시브(semi-progressive) 금형 및 트랜스퍼 금형 기술을 융합한 복합 자동화 금형설계 제작기술을 확보하기 위하여 시트 쿠션 판넬 시작금형 설계 제작과 프레스 금형의 주요 공정 성형해석 기술을 통하여 복합 자동화 금형 제조기술 개발을 수행하였다[1~4].

2. 소재 물성 시험

2.1 인장 시험

시험에 사용된 소재는 SPCC로 두께는 0.8mm인 박판 소재를 와이어 커팅 가공하여 시편으로 사용하였다. 기계적 성질을 파악하기 위해 인장시험을 실시하였는데, 시편은 압연 방향에 대해 0도, 45도, 90도 방향으로 인장시편을 수집하였다. 인장시험은 U.T.M에서 크로스헤드(crosshead)를 일정 속도로 유지시킨 후 파단에 이르기까지 인장하였다. 인장시험을 통하여 얻은 SPCC의 기계적 성질은 다음과 같다. Fig. 1과 Fig. 2는 인장시험 시편 규격과 실물형상을 보여준다. Table 1은 SPCC 소재의 인장시험 결과를 나타낸다.

2.2 FLD 시험

그리드 해석(grid analysis)은 금형 시제품 트라이아웃 공정에서 가공 중의 재료 흐름과 변형 집중부의 변형률을 알아내어 금형 수정을 용이하게 하기 위하여 개발된 것으로 성형한계도(Forming Limit Diagram; FLD) 즉, 변형 난이도(forming severity)를 과학적으로 예측할 수 있는 수단으로 사용할 수 있다. 변형 측정은 기본적으로 2.54mm(0.1") 또는 5.08mm(0.2") 직경의 원형 그리드나 사각형 그리드를 강판에 전기

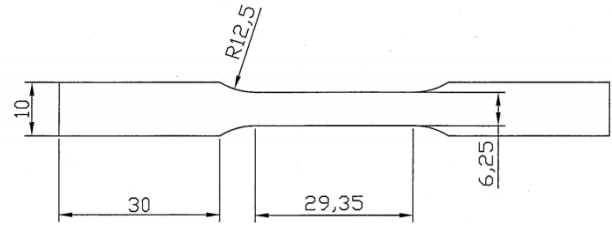


Fig. 1 Tensile test specimen (unit in mm)



Fig. 2 Tensile test specimen (SPCC)

Table 1 Mechanical properties of SPCC(0.8mm)

Direction		Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]	Elongation [%]
0°	1	318	490	38
	2	322	494	38
	3	329	492	39
45°	1	346	488	37
	2	332	482	37
	3	338	495	36
90°	1	341	504	38
	2	346	506	38
	3	338	496	37

화학적 방식으로 에칭 후 성형하여 그리드 변형률을 측정한다. Fig. 3은 변형 전후의 원형 그리드 형상을 보여주고, Fig. 4는 에칭 후의 성형품을 보여준다. 변형된 그리드는 여러 형태로 변형하므로 측정하여 변형률을 구할 수 있다. 측정은 컴퓨터를 이용한 화상처리장치로 측정하여 측정오차를 줄일 수 있었다.

성형한계도는 판재에 파단이 발생할 수 있는 변형영역에 대하여 파단시의 변형이 얼마인지를 나타내는 지표로서 FLD 선도를 구하기 위한 성형시험은 Fig. 5와 같이 만능 박판 성형 시험기를 사용한다. Fig. 6은 FLD 시험용 금형 도면을 보여주고, Fig. 7과 Fig. 8은 FLD 시험 전후의 시편을 보여준다. FLD 선도는 소재가 네킹이나 크랙 없이 변형할 수 있는 최대 한계로서 냉연강판의 경우 부변형률(minor

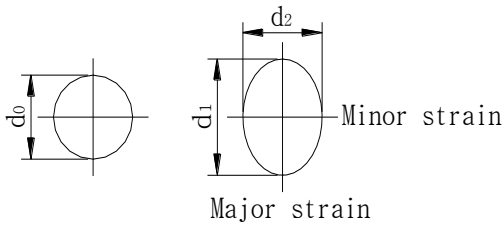


Fig. 3 Circle grid before and after strain

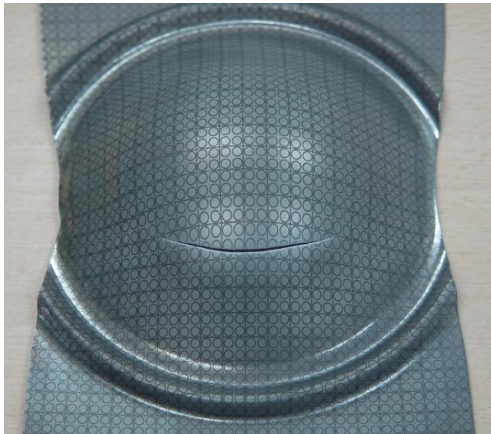


Fig. 4 Circle grid after strain

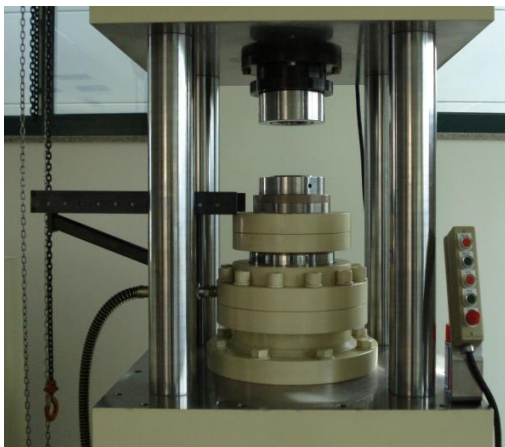


Fig. 5 Universal sheet metal forming test machine

strain)이 0인 경우의 주변형률(major strain)을 FLDo 라고 하는데 재질에 따라서 FLDo 값이 다르고 형상은 주변형률 축을 따라서 평행 이동하여 구할 수 있다. 따라서 재질별 FLDo 값과 성형한계도 형상을 알고 있다면 그 재질의 성형한계도를 예측할 수 있다.

드로잉 성형 후에는 주부 변형률(major minor strain)의 3가지 변형 모드를 나타낸다. 변형된 그리드는 변형 전의 원형 그리드 크기를 기준으로 하여, 주변형률이 양(positive)이고 부변형률이 0(zero)인 평면 변형 모드(plane strain mode), 주부 변형률이

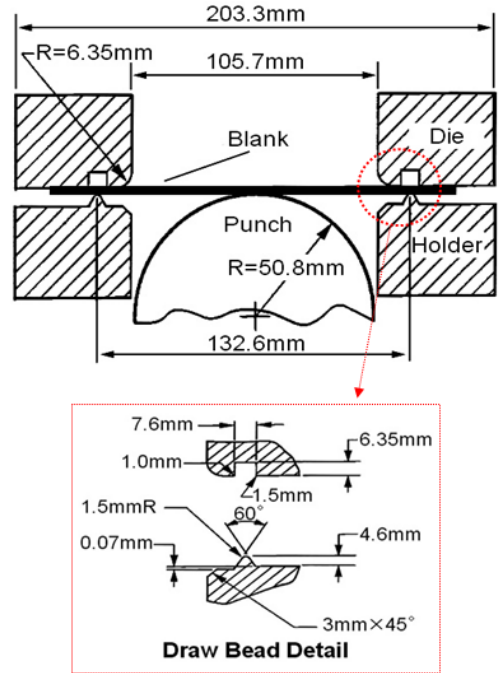


Fig. 6 Die for FLD test

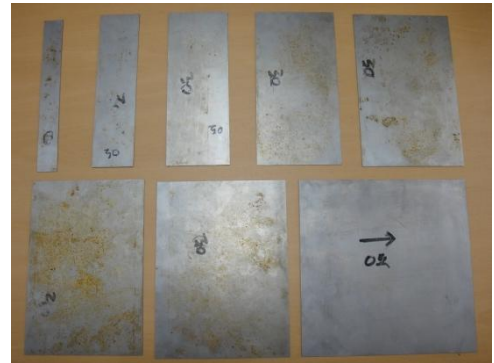


Fig. 7 Specimens before FLD test (rolling direction)

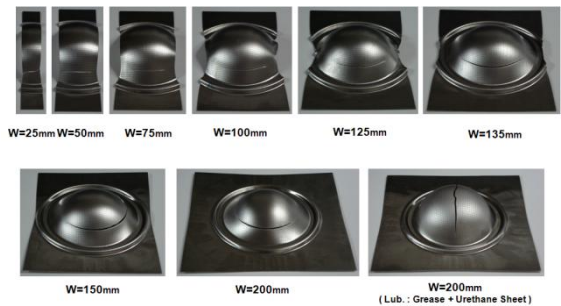


Fig. 8 Specimens after FLD test (rolling direction)

모두 양(positive)으로 되는 스트레치 모드(stretch mode) 그리고 주변형률이 양(positive)이고 부변형률이 음(negative)인 드로우 모드(draw mode)의 3가지 변형 모드가 관찰 된다. 시트 쿠션 판넬 드로잉 부품의

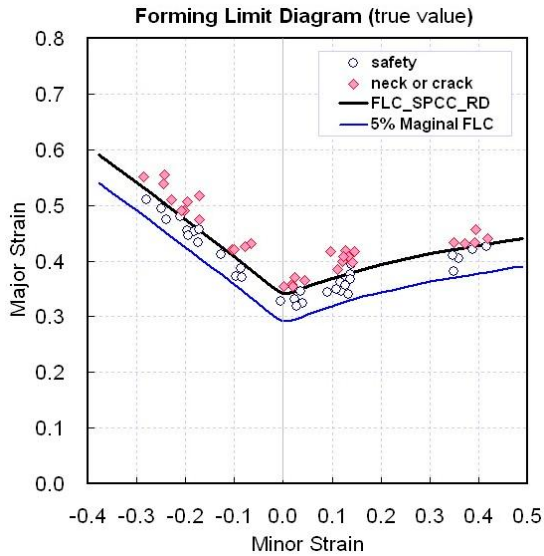


Fig. 9 Forming Limit Diagram of SPCC(rolling direction)

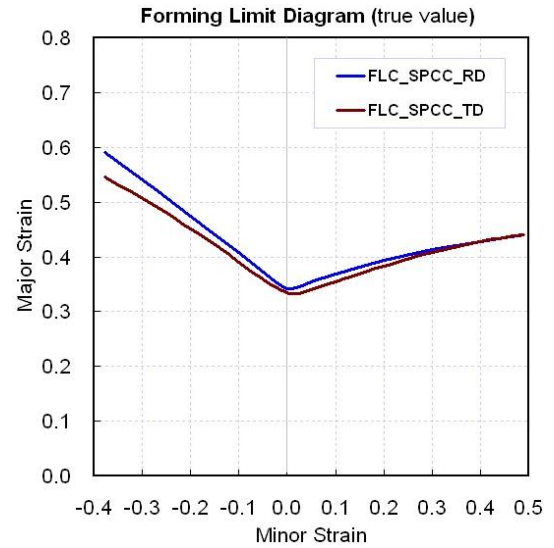


Fig.11 Forming Limit Diagram of SPCC depending on rolling direction

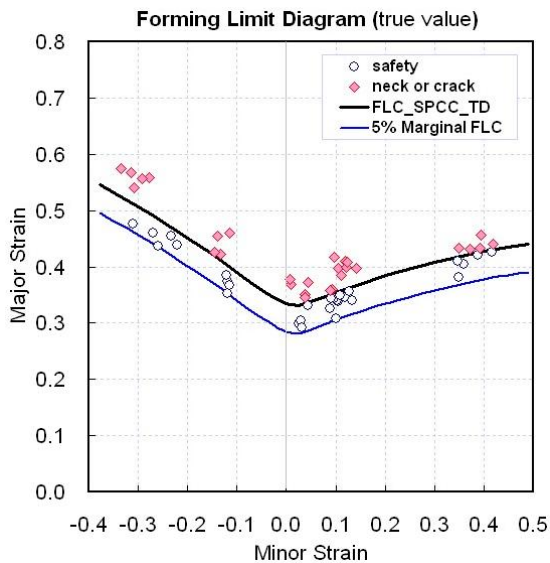


Fig.10 Forming Limit Diagram of SPCC(transverse direction)

펀치 머리부에서는 평면 변형 모드, 코너부에서는 스트레치 모드, 측벽부에서는 드로우 모드가 나타나고 있다. 드로우 모드에서 주된 변형은 측벽부에서 연신과 압축 변형이 번갈아 생기는 것인데 이러한 변형이 용이하게 하려면 드로잉력이 작게 소요되는 것이 바람직하다. 스트레치 모드는 연신 변형에 의해 성형품의 표면적을 확대시키는 성형으로 성형품의 응력이나 변형분포를 얼마만큼 균일화 하는 것이 중요하다. Fig. 9는 SPCC 소재의 압연방향의 FLD 선도를 보여주고, Fig. 10은 압연방향과 90도 방향의

FLD 선도를 보여준다. Fig. 11에서 보는 바와 같이 압연방향의 FLD 선도가 압연방향과 90도 방향의 FLD 선도보다 약간 높음을 알 수 있다. 즉, 압연방향에서 성형성이 높아짐을 알 수 있다[5, 6].

3. 박판 성형 해석

3.1 판재 성형해석 모델

판재 성형해석을 위한 블랭크 소재 물성은 인장 시험에 의해 얻은 데이터를 사용하였다. Table 2는 인장 시험에 의해 얻은 소재 물성에 대해 나타낸다. Fig. 12는 소재 물성 데이터를 입력한 예를 나타낸다.

블랭크 홀더력 등 프레스 및 금형 등의 공정 조건에 대한 입력이 필요하다. 블랭크와 다이, 블랭크와 펀치, 블랭크와 블랭크 홀더 등이 접촉되어 성형되므로, 접촉면의 거칠기와 윤활에 의한 마찰계수가 중요하다. 일반적으로 윤활일 경우 0.1 이하를 주기도 하는데, 여기서는 0.12를 적용하였다. Fig. 13은 시트 쿠션 판넬의 블랭크 형상 크기를 보여준다. 블랭크 형상은 세미 프로그레시브 금형 공정에서 최적 블랭크 형상을 내기 위해 블랭킹 작업을 진행하는데 최적 제품 형상을 내기 위해 여러 번의 시행착오를 진행하여 최종적으로 결정하였다. Fig. 14는 시트 쿠션 판넬의 판재 성형해석을 위한 금형 모델을 보여주고, Fig. 15는 시트 쿠션 판넬의 드로잉 제품을 보여준다.

Table 2 Experimental conditions

Material Density	7.8e-06 kg/mm ³
Young's Modulus	206 Gpa
Poison's Ratio	0.3
Material Thickness	0.8 mm
Stamping Velocity	5 m/sec
Anisotropy Coefficient	R0=1.09, R45=0.79, R90=1.29



Fig.15 Drawing process of seat cushion panel

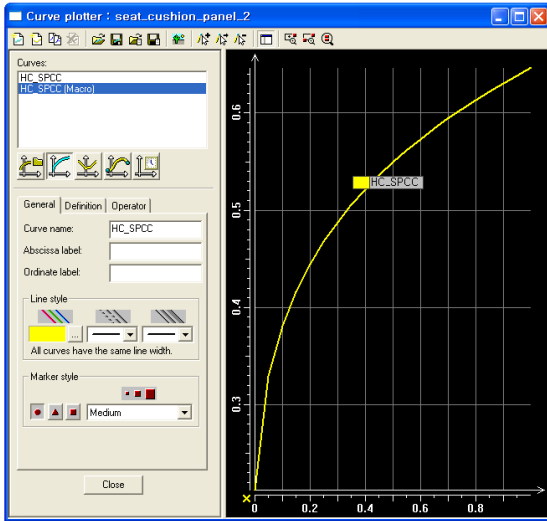


Fig.12 Input data of material properties

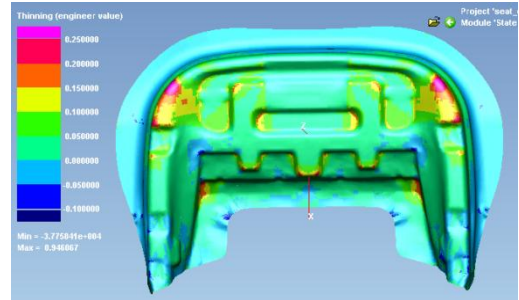


Fig.16 Analysis results of seat cushion panel(BHF= 10ton)

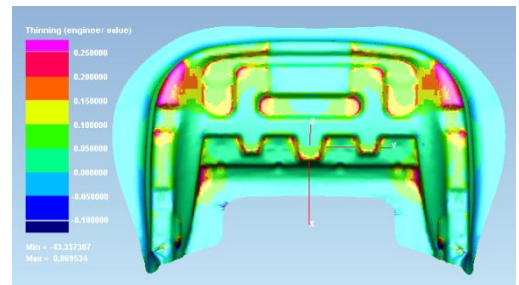


Fig.17 Analysis results of seat cushion panel(BHF= 30ton)



Fig.13 Blank size of seat cushion panel

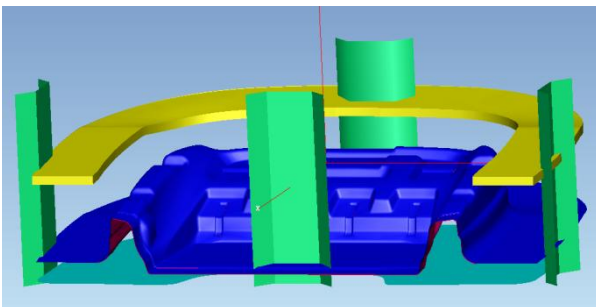


Fig.14 Die model of seat cushion panel

3.2 판재 성형해석 결과

Fig. 16은 블랭크 홀더력(Blank Holder Force; BHF)이 10톤일 때 시트 쿠션 판넬의 판재 성형해석 결과를 보여주고, Fig. 17은 블랭크 홀더력이 30톤일 때의 결과를 보여준다. 시트 쿠션 판넬의 상단 코너부 2개소에서 각각 터짐 발생이 예상됨을 알 수 있다. 블랭크 홀더력이 10톤에서 30톤으로 높아짐에 따라 전체적으로 두께감소율(thinning)이 증가되고 있으며 특히 코너 부위에 두께감소율이 심하게 일어나고 있다. 일반적으로 터짐이 발생하는 두께감소율은 30% 이상일 때에 나타나는데, 두께감소율 25% 이상에서 블랭크 홀더력이 30톤일 때 심하게 나타난다.

즉, 두께감소율은 양쪽 코너부에서 25% 이상까지 증가되어 파단 가능성이 높아지는 것을 예측할 수 있다. 이상의 성형해석 결과로부터 시트 쿠션 판넬의 상단 코너부 2개소에서 터짐 발생이 예상되어 실제 금형제작 후 트라이아웃 시에 상단 코너 부위에 곡률 맞춤 작업을 반복하여 터짐을 개선하였다. 시트 쿠션 판넬의 드로잉 제품은 Fig. 15와 같이 블랭크 홀더력을 변화시키면서 실험한 결과로서 양쪽 코너부의 곡률을 크게 하거나 면 조도 향상 작업을 통하여 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

4. 복합 자동화 금형 시험 결과 및 고찰

프로그레시브 금형과 트랜스퍼 금형을 복합화하여 생산성과 품질을 향상하기 위하여 재료 투입 시에는 세미 프로그레시브 방식을 적용하여 블랭크를 생산하고, 그 이후에는 트랜스퍼 방식을 적용하여 트랜스퍼 금형에서 트랜스퍼 바에 의한 핑거로 공정 간 부품을 이동하여 최종적으로 시트 쿠션 판넬 제품을 생산한다. 즉, 제품 생산은 초기에 코일재를 사용하여 언코일러(uncoiler), 레벨러(leveller), 롤 피더(roll feeder)를 통과하여 1,400톤 트랜스퍼 프레스에 이송되면 프로그레시브 블랭킹 금형에서 블랭크를 생산하여 90도 반전하고 그 후에 트랜스퍼 금형에서 핑거에 의한 공정 간 부품 이송으로 최종 시트 쿠션 판넬 제품을 생산하게 된다. Fig. 18은 시트 쿠션 판넬의 최종 제품을 보여준다. Fig. 19와 같이 기존 공정은 총 8공정의 단발 금형으로 구성되어 수작업에 의한 로딩과 언로딩으로 품질과 생산성 향상에 걸림돌이 되어 왔다. 이에 Fig. 20과 같이 세미 프로그레시브 금형과 트랜스퍼 금형 기술을 융합한 복합 자동화 금형설계 제작기술을 개발하여 생산성 향상과 품질 불안을 만족시킬 수 있었다. 개발된 세미 프로그레시브 금형에서 코일 소재를 연속 공급받아 블랭크 부품을 생산하고, 이어 트랜스퍼 금형 공정에서 총 8공정으로 구성되어 있으며 Fig. 21과 같이 최종 제품을 생산한다.

블랭크 90도 반전 장치의 불균형과 센서 오작동으로 인한 판넬 2중 겹침 등의 시행착오를 겪었으나, 1,400Ton 트랜스퍼 프레스 작업 연동으로 제품 형상 및 정밀도 부분에서 양호한 제품을 생산할 수 있었다. 컨베이어 벨트 풀리를 교체하여 Finger 이송 장치와 연동할 수 있게 수정하여 기존 10 SPM에서 20 SPM까지 생산성을 향상하였다.



Fig.18 Product of seat cushion panel

Process	1st : Blanking	2nd : Drawing	3rd : Drawing	4th : Trimming
Part				
Process	5th : Forming	6th : Bending	7th : Cam/Piercing	8th : Piercing
Part				

Fig.19 Conventional press die process

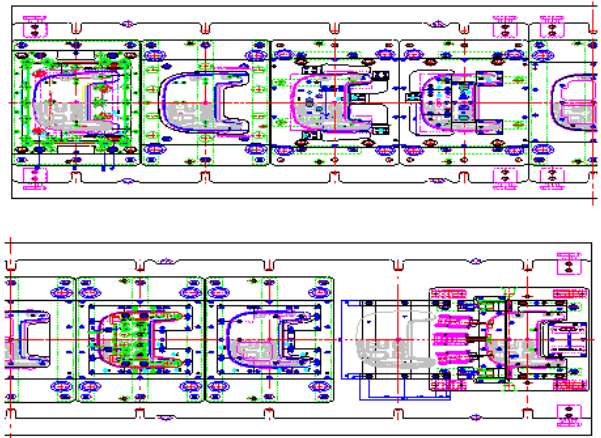


Fig.20 Developed transfer die process(8 stages)



Fig.21 Press line of semi-progressive and transfer die

5. 결 론

본 연구에서는 세미 프로그레시브 금형기술과 트랜스퍼 금형기술을 조합하여 복합 자동차 금형 공정기술을 개발하는 것으로 이러한 기술을 확보하기 위하여 시트 쿠션 판넬 시작 금형 설계 제작과 주요 공정의 성형해석 기술을 통하여 복합 자동화 금형 제조기술 개발을 성공적으로 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 자동차 시트 쿠션 판넬의 복합 자동화 금형제조 기술 개발을 수행하면서 금형 설계 후에 사전 시뮬레이션을 함으로써 예상되는 문제점을 보완하고 제작하여 시험기간을 단축할 수 있었다.

(2) 세미 프로그레시브 금형과 트랜스퍼 금형 기술을 융합하여 복합 금형 제조기술 공법에 대한 자동화 생산 가능성을 확인할 수 있었다. 즉, 복합 자동차 금형 공정기술 개발로 작업 안전성 확보, 생산성 향상, 원가절감으로 경쟁력을 확보할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] K. H. Ahn, D. H. Yoo, M. H. Seo, S. H. Park, K. S. Chung, 2009, Springback Prediction of TWIP Automotive Sheets, *Met. Mater. Int.*, Vol. 15, No. 4, pp. 637~647.
- [2] J. H. Lee, W. J. Chung, J. H. Kim, 2012, Influence of Drawing Speed and Blank Holding Force in Rectangular Drawing of Ultra Thin Sheet Metal, *Trans. Mater. Process*, Vol. 21, No. 6, pp. 348~353.
- [3] J. T. Kim, B. M. Kim, C. G. Kang, 2012, Blank Shape Design Process for a Hot Stamped Front Pillar and its Experimental Verification, *Trans. Mater. Process*, Vol. 21, No. 3, pp. 186~193.
- [4] S. H. Kim, H. B. Shim, 2012, A Study on the Process Optimization by a Beadless Stamping, *Trans. Mater. Process*, Vol. 21, No. 8, pp. 485~492.
- [5] J. W. Park, T. W. Ku, B. S. Kang, 2013, Numerical Simulation for a Multi-Stage Deep Drawing of Anisotropic SUS409L Sheet into a Rectangular Cup, *Trans. Mater. Process*, Vol. 22, No. 3, pp. 133~142.
- [6] N. J. Kim, Y. T. Keum, 2013, Experimental Determination of Friction Characteristics for Advanced High Strength Steel Sheets, *Trans. Mater. Process*, Vol. 22, No. 4, pp. 223~228.
- [1] K. H. Ahn, D. H. Yoo, M. H. Seo, S. H. Park, K. S.