

자동차용 프레스금형 제작의 요소기술 및 현황



한 규택(부경대학교 금형공학과)

- '82 부산대학교 기계공학과(학사)
- '84 부산대학교 대학원 기계공학과(석사)
- '88 부산대학교 대학원 기계공학과(박사)
- '87 - '88 부산대학교 기계공학과 강사
- '95 기계기술사(산업기계분야)
- '88 - 현재 부경대학교 공과대학 금형공학과 교수

1. 서론

최근의 산업사회가 고도화되어감에 따라서 제품도 고품질화를 지향하는 경향이 강해지고 있다. 따라서, 제품의 품질과 생산성을 크게 좌우하는 생산기반기술인 금형제조기술에 크게 의존하고 있는 자동차 제조분야에서도 자동차용 판넬(panel)의 형상 및 치수정밀도에 대한 자세한 분석이 필요하게 되었다. 특히, 자동차의 본체로 사용되는 박판을 성형하는 프레스금형 제작에 있어서의 요소기술의 체계를 정확히 분석하고 평가하여 자동차용 프레스금형의 설계기술과 NC데이터 제작방법 및 가공기술 등을 표준화하는 방향으로 요소기술을 개발하는 연구는 매우 중요하고 필요한 과제라 할 수 있다.

그런데 이러한 금형제작기술은 설계기술, 가공기술, 사상기술, 트라이아웃(try-out)기술, 측정기술, 보수기술 등, 수 많은 요소기술을 필요로 하며, 이 모든 금형제작기술의 최근 동향은 가공의 고정밀도화와 단납기 및 다품종 소량생산을 지향하고 있다. 그러나 금형산업은 숙련 작업자가 부족하고 사상장비(die spotting press, try-out press)와 기존 측정장비(lay-out M/C)의 정밀도의 한계때문에 경험과 감각기술에 의존하여 금형을 생산하고 있으므로, 가공정밀도의 미확보 및 납기의 지연현상이 나타나서 금형업계의 문제점으로 지적되고 있다.

이것은 고품질의 금형제작을 위해서는 금형제

작 기술의 표준화 및 CAD/CAM/CAE 화가 시급히 해결해야 할 과제임을 의미하는데, 이에 관련된 연구[2,3,4,5,6,8]가 금형업계 및 학계에서 실제와 이론적인 측면에서 활발하게 행하여 지고 있다. 한편, 최근에는 자동차의 디자인 단계로부터 자동차 개발~생산단계에 이르기까지 대부분의 비용과 시간이 소요되는 금형의 설계 및 가공에 있어서, 종래의 도면작업에 의한 과정을 점차 CAD/CAM 체제로 바꾸어 가는 추세에 있다. 이에 따라 많은 자동차회사 및 프레스 부품업체에서는, 요즘 서둘러 CAD/CAM 기술을 도입하여 활용하고 있는 단계에 있다.[12] 그러나 이의 효율적 활용과 제조공정에서의 그 가치를 충분히 발휘하기 위해서는 CAD단계에서 설계 및 데이터베이스의 타당성에 대한 충분한 검토가 이루어져야 하기 때문에 CAE(컴퓨터이용해석)기술에 대한 필요성도 절실히 요구된다고 할 수 있다.[1]

전반적인 연구현황을 보면, 가공정도를 확보하기 위한 방안으로 절삭 및 tool기술 또는 CAD/CAM기술, 장비운용기술, 장비유지기술 등에 관한 연구가 주류이며 또한 신소재의 도입, 다양한 설계 및 다품종 소량생산의 요구로 인해, 생산설계에서 이용가능한 박판성형에서의 CAE의 개발 연구도 활발하게 행하여 지고 있다.[7,11,13] 한편, 가공의 고정도화와 단납기를 실현하기 위한 관련 금형기술에 관한 연구를 정리하면 크게 세 가지가 있는데, 첫째는 사상작업을 기계작업으로 하는 것으로 궁극적으로는 사상을 제로(zero)화 하여 가공정도를 향상시키는 것인데, 세부내용은 소 피치(pitch)화, 공구의 R관리, 장비정도 유지, 측정기술 등이며, 둘째는 트라이아웃(try-out)회수를 감소시키는 것인데 세부내용은 박판성형 시뮬레이션(CAE), location일관성 유지, try-out 노하우(know-how)의 정량화 등이고, 셋째는 생산관리 관점으로 표준공수와 유연성확대에 관한 내용이다. 또한 다품종 소량생산을 만족하기 위한 금형기술에 관한 연구는 생산에 따른 금형 사양(spec)의 세분화 및 저가 금형소재개발을 통한 저가 금형제작기술에 관한 내용과 복합 die개발과 cam

mechanism개발 및 unit cam확대를 통한 금형공정수와 size축소에 관한 내용 및 액압성형기술과 laser blank, multi-press를 통한 소량생산전용 line의 대응기술에 관한 내용으로 되어 있다.

본 고에서는 실제 금형제작에 있어서의 효율성 및 생산성을 향상시키는 방법으로, 대표적인 프레스용 금형인 자동차용 금형의 설계 및 제작기술에 관한 연구내용을 소개하고, 또한 자동차용 판넬(panel)의 성형성분석을 통한 프레스금형 제작시 성형성난이 예상부위의 검토방법 및 정량화(요철 및 crack예상부위의 대책수립)된 모델을 조사하여, 프레스금형 제작에 있어서의 요소기술과 현황 및 활용방안 등에 대하여 고찰해 보고자 한다.

2. 본 론

자동차용 판넬(panel)의 프레스금형을 제작하기까지의 요소기술을 평가하기 위해서는 금형제작의 flow chart를 파악해야 하는데, 먼저 자동차 생산업체에서의 신차종을 개발할 때의 과정을 조사하고, 다음에 금형제작과정을 고찰하는 것이 순서이다. 신차종 개발시의 기획에서 제품도 출도까지의 과정을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

- (1) 기획 : 시장조사를 통해 제품기획부, 마케팅부 등에서 몇 년후에 양산할 차를 기획한다.
- (2) 디자인방침결정: 기획된 신 차종의 중요한 사양 및 신 차종의 개발방침을 결정한다.
 - ㉞ body style ㉞grade선정(차의 크기,배기량) ㉞ 엔진사양 ㉞승차인원 등
- (3) 모델디자인: 결정된 디자인방침을 기준으로 모델을 디자인한다.
 - ㉞ idea sketch : 차의 외관을 축소하여 입체적으로 그린 그림(여러장의 idea sketch 도중에서 모델을 선택함)
 - ㉞ 완성예상도 : 선택된 idea sketch도를 척도에 맞추어 그린 그림
 - ㉞ 축소모델제작 : 1/5 혹은 1/10척도의 축소모델 제작

- ㉑ clay모델제작 : 내장 및 외관을 1:1로 제작
- ㉒ 2차 clay모델제작
- (4) 각종모델제작 : 품평후 model승인
- (5) skin lay out : 승인된 model을 선도로 옮긴다.(moving part(Hood,Door,Trunk)의 parting line도시)
- (6) 확인모델제작 : skin lay out도를 기준으로 디자인상태를 확인하기 위한 모델을 제작한다. (mother-model이라고 함)
- (7) master-drawing : 각 단면별로 drawing작업을 한다.(부분조립도)
- (8) part-drawing : 각 part별 hole위치,형상 등을 결정한다.(제품도)
- (9) 도면배포
- (10) 금형제작

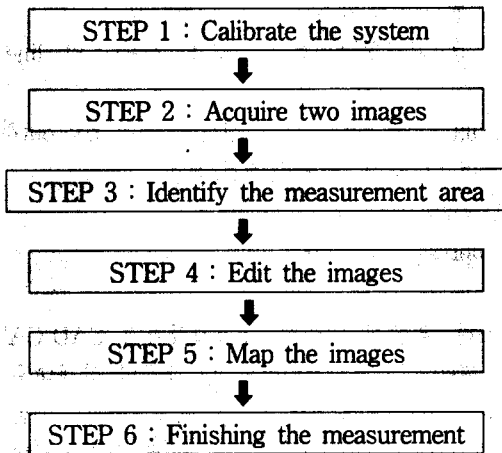
다음에 본 연구에서 조사할 자동차용 판넬의 프레스금형 제작과정의 순서 및 내용을 요약하면 아래와 같다.

- (1)금형제작지침서 작성 : ㉑생산량 ㉒생산방식 ㉓금형구조 및 재질 ㉔가공방법선정 ㉕Panel 보정 및 공차적용 ㉖금형제작 일정
- ㉗ master model제작 : 제품도를 기준으로 2차원으로 그려진 도면을 3차원 모양으로 만든다.
- ㉘ checker fixture제작 : 최종 panel검사용
- ㉙ aid제작 : 금형 copy용
- (2)금형설계 : ㉚공법설계- ㉛성형성 ㉜제품물 ㉝공정결정
- ㉞금형도설계-금형설계지침 및 공법 설계에 의거하여 각 공정별 구조 설계
- (3)pattern제작 : 금형설계도면에 의해 스티로폼으로 모양을 만든다.
- (4)주물제작 : pattern주위 공간에 주물사를 채워 넣고 주물을 넣으면 스티로폼이 녹으면서 원하는 형상이 만들어 진다.
- (5)면삭
- (6)steel조립 : 도면을 기준으로 steel을 조립한다.

- (7)윤곽가공 : model shop의 수치표를 토대로 컴퓨터에 입력시킨후 NC테이프를 작성하여 NC가공한다.
- (8)형상copy(모방가공) : ㉟NC가공 - copy할 형상을 컴퓨터에 입력한후 magnetic테이프를 작성하여 가공한다.
- ㊱TC가공-AID를 기준하여 모방가공을 한다.
- (9)황사상 : 형상을 copy한 후 cutter자국이 없어 질 때까지 grinding한다.
- (10)고운사상 : 기준축을 grinder와 슷들을 이용하여 고운사상을 한다.
- (11)die spotting : 상하형 형상맞춤 작업을 한다.
- (12)비 master축 고운사상
- (13)최종조립 : 생산이 가능하도록 모든 부품을 부착(cylinder,gauge,자동차부품등)
- (14)try out:완제품이 나올 수 있도록 최종 조정한다.
- ㊲굴곡 ㊳주름 ㊴crack & neck ㊵이중선 ㊶spring back 등 조정
- (15)panel검사 : 검사에서 panel의 문제점이 발견되면 feed back하여 금형수정
- ㊷1차금형부 검사 ㊸2차 차체(조립 line) Q.C.검사
- (16)line try out : 실제 생산line에서 try out하여금형조건 및 생산조건 선정.
- (17)pilot car제작
- (18)press생산(양산)

특히, 위에서 언급한 금형제작과정 CAD/CAM 시스템을 이용하는 (8)번의 NC가공의 상세내용은 첫째, 금형가공을 할 수 있도록 정리, 완료한 CAD data를 lay-out 도면에 맞게 금형공정별로 입력하며, 축 set-up, 여유부 생성, O/DR, O/CROWN 및 trim line전개 등의 작업을 하고 둘째, lay-out완료된 CAD data를 NC data생성 전용시스템으로 넘겨서 금형공정별 황,정삭 및 잔삭, pencil가공 data를 생성한 후 세째, 생성완료된 NC data의 이상유무를 S-Master등에서 검증, 확인한 후 넷째, 검증이 완료된 NC data를 공작

기계에서 사용할 수 있도록 DNC전송하는 것으로 되어 있다. 또한, press금형의 기본공정은 draw-die, trim-die, frange & restrrike-die, cam-die 등이며 자동차 판넬의 주요 불량(요철 및 crack) 발생은 판넬의 외관품질을 저하시킴과 동시에 후공정에 지장을 초래하여 press생산성을 저해하는 요인이 되므로 성형성시험과 그림1과 같은 자동변형률 해석장치(ASAME)를 활용하여 자동차판넬 생산공정의 유형별로 즉, draw-die, trimdie, frange bending-die별로 불량내용에 따라서 금형과 재료의 측면으로 구분하여 발생요인을 조사, 규명하여불량의 감소 및 개선대책을 수립하는데 ASAME (Automated Strain Analysis & Measurment Environment) 장비의 특징은 두 대의 카메라로 얻은 2차원 데이터와 두 카메라 사이 각과의 상관 관계로 3차원 데이터를 구하여 Lagrangian strain을 계산하는데, 판넬분석법의 단계와 flow chart(그림2)의 내용은 다음과 같다.[10,14]



3. 자동변형률 측정장치의 적용결과 및 판넬의 문제점 고찰

판넬을 생산하기 위한 장치인 금형의 제작작업을 종래에는 작업자들의 경험에만 의존하여 하던

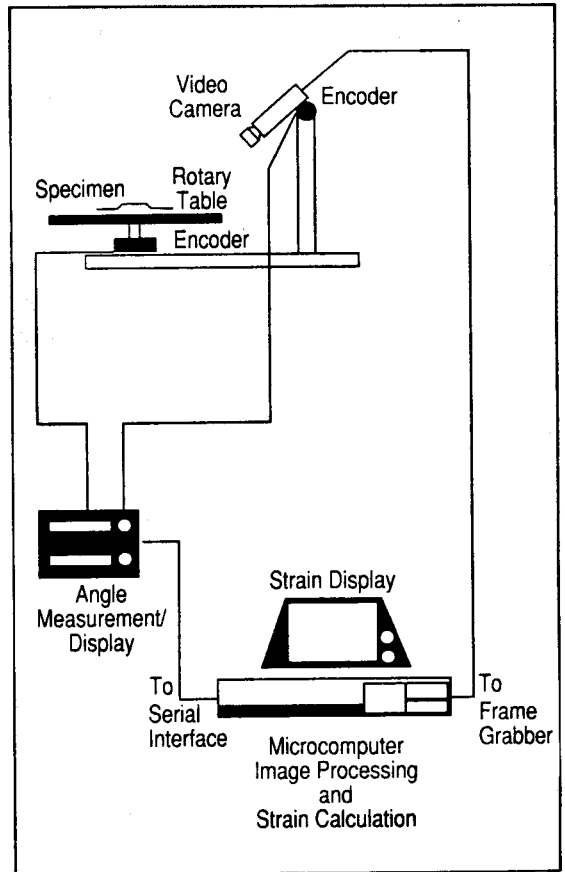


그림1. 자동변형률 측정장치(ASAME)의 개략도

일들을 자동변형률 측정장치를 이용함으로써 구체적으로 수치화하고 불량의 원인을 분석하여 문제점을 해결할 수 있게 되었는데, 현재 H자동차 금형부에서 직면하고 있는 문제점들 중 형상이 깊은 제품에서 발생하는 파단문제,외판의 미세굴곡문제, 강성을 요구하는 제품들에서 발생하는 뒤틀림 문제를 자동변형률 측정장치를 이용하여 해결한 사례를 제시하고자 한다.[9]

3.1 Trunk Lid Outer Upper 의 굴곡 원인분석과 수정처리

trunk lid outer upper는 try-out할 때에 굴곡이 발생하여 금형설계를 수정하게 되었는데, 이 판넬의 재질은 인장강도가 35kg/mm²인 고강도강판은

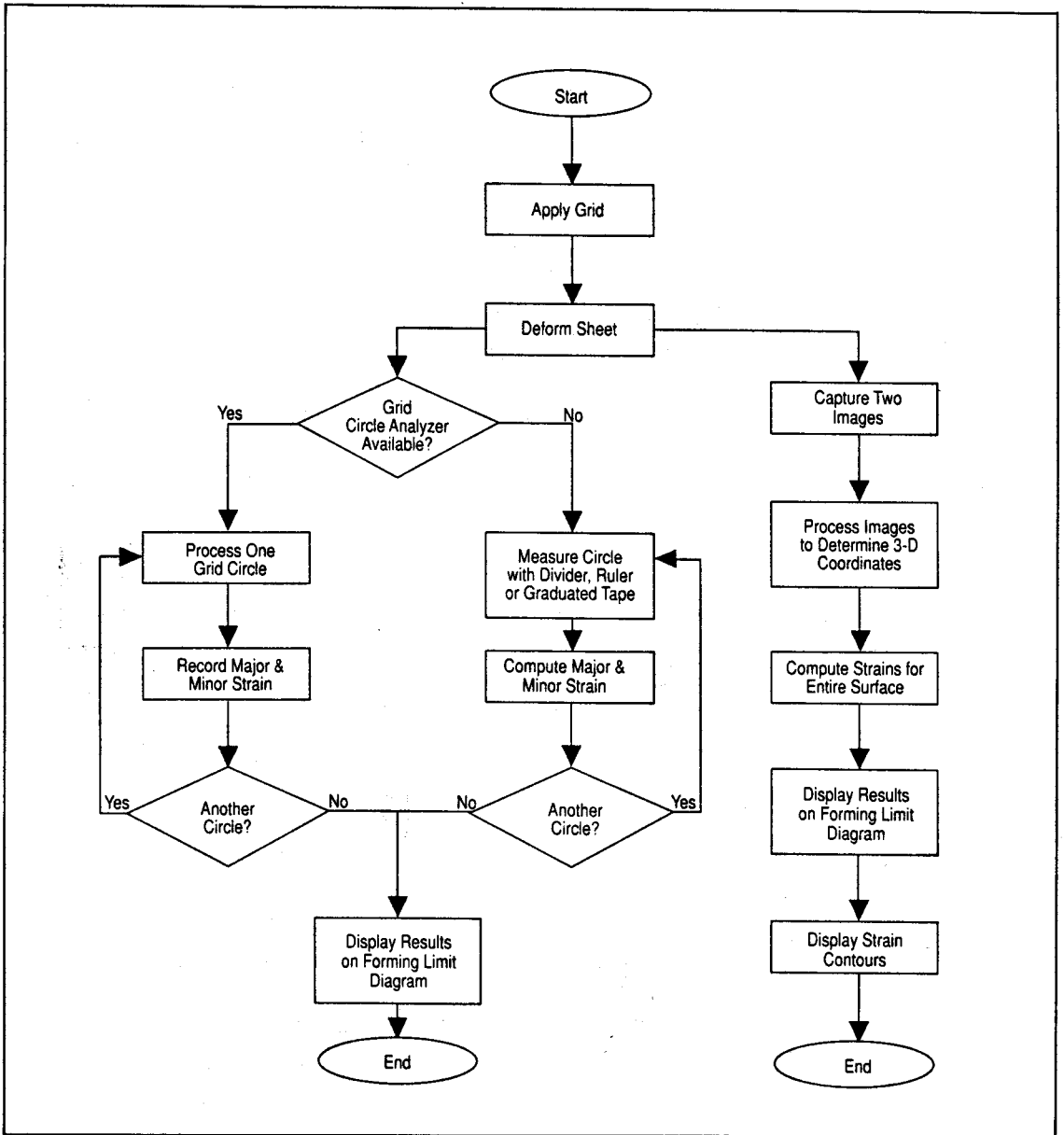


그림2. 자동변형률 측정장치(ASAME)에 의한 해석과정의 FLOW CHART

로 주로 자동차 외판에 많이 사용되고 있다. 그림 3과 그림4는 금형 수정전과 수정후의 성형한계선도(FLD)를 나타내고 있다. 금형 수정전의 FLD는 판넬의 모서리와 중앙의 변형량의 분포가 10%정도 차이를 보이고 있다. 이것은 판넬의 모서리가 중앙보다 저항을 더 많이 받는 것으로 판단되며,

면압지를 사용하여 다이 페이스의 압력분포를 측정 한 결과에서도 금형의 중앙보다 양측모서리에 더 많은 압력이 걸리는 것으로 판명되었다. 따라서 이것을 기준으로 하여 금형을 수정한 결과 그림3과 같이 변형량분포가 줄어들므로 미세굴곡문제를 해결하게 되었다.

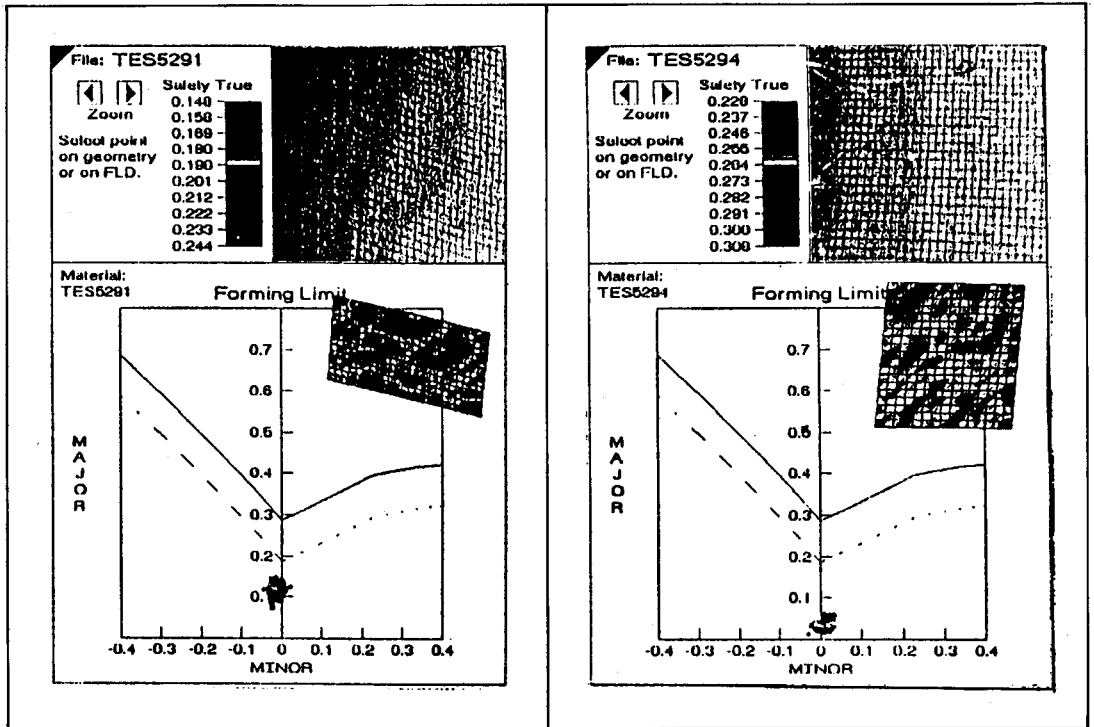


그림3. 금형수정전의 Trunk Lid OTR UPR의 FLD

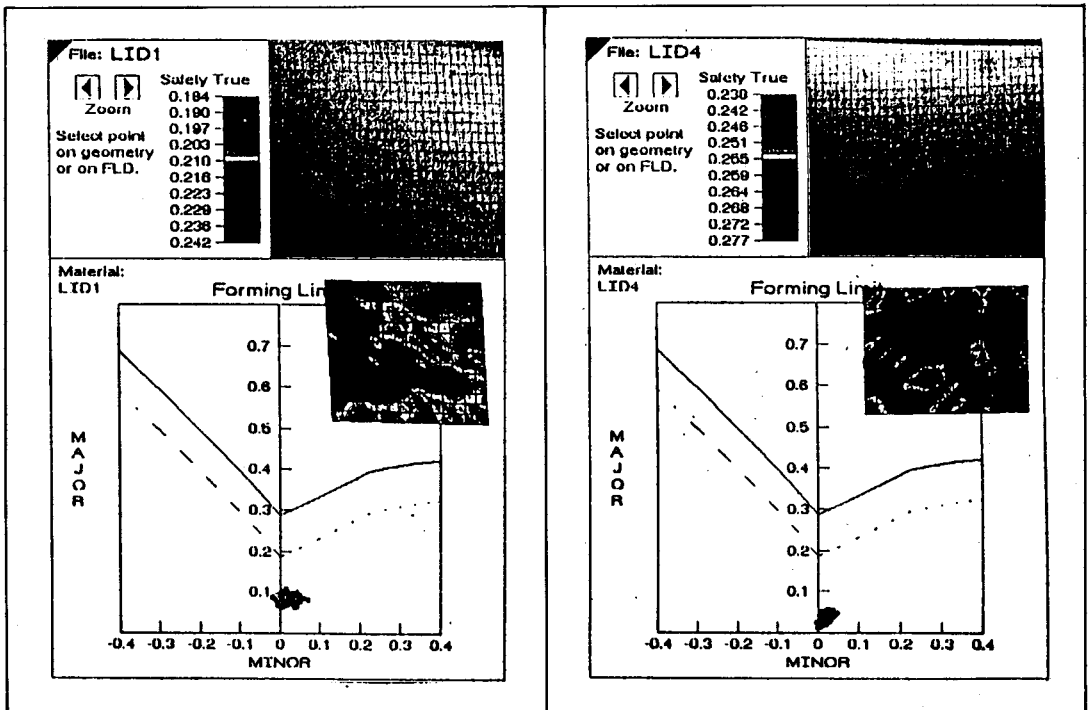


그림4. 금형수정후의 Trunk Lid OTR UPR의 FLD

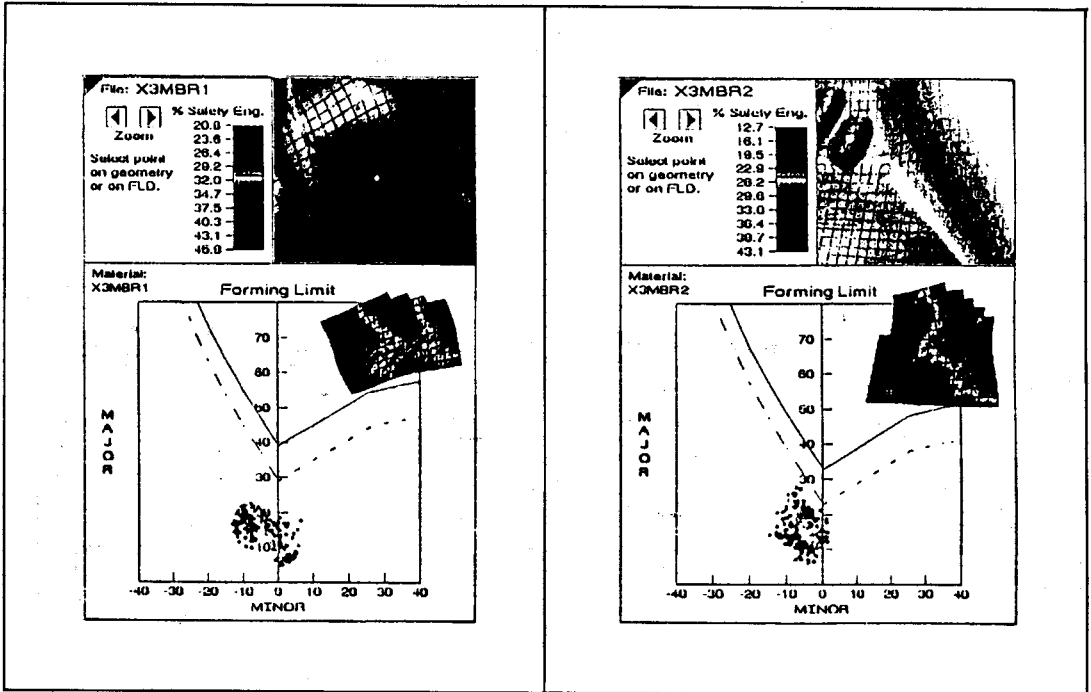


그림5. 재료에 따른 MBR FRT SIDE INR의 FLD

3.2 MBR FRT SIDE INR의 터짐 원인분석과 수정처리

MBR FRT SIDE INR는 차체에 강성을 주기 위해서 1.2t의 고강도 강판을 사용하고 있다. 고강도 강판은 두 가지 재질로 분류되며, 이 판넬의 문제점은 1공정(draw), 2공정(trim), 3공정(pierce) 후 4공정(flange)에서 터짐이 발생하는 것이었는데, 원인을 분석해본 결과 초기에 설정된 강판의 1공정후 FLD를 보면 연신률이 좋지 않아서 안정도가 12.7%로 나타났다(그림5). 그러나 이보다 연신률이 우수한 재질인 강판을 사용하여 측정된 결과 20.8%의 성형여분이 남는 것으로 판명되었다. 이 경우는 자동변형을 측정장치를 이용하여 제품의 재질을 변형시킨 사례라 하겠다.

3.3 판넬의 문제와 대책

자동차용 판넬의 문제가 되는 내용을 판넬 생산공정의 유형별로 요약하면 다음과 같다.

- ①draw-die : ㉠소착(늘어붙음) ㉡요철 ㉢주름 ㉣crack(깨짐),neck ㉤굴곡 ㉥이중선(선의마모) ㉦shock line ㉧punch의요철,선의 불균일
- ②trim-die : ㉨burr ㉩hole막힘 ㉪panel의 딸러 올라감 ㉫변형,닿음 ㉬cam의 움직임 불량
- ③flange bending-die : ㉭소착(늘어붙음) ㉮R의 굴곡 ㉯변형,닿음
- ④공통 및 자동화 : ㉰scrap빠짐 불량 ㉱자동화 air불량 ㉲자동화lifter 불량 ㉳spring 및 우레탄고무 파손 ㉴bolt풀림 ㉵각 습동부 불량

이러한 판넬의 생산공정별, 불량발생 원인과 대책을 정리한 것이 표1이다.

표1. 생산공정별 불량발생 원인과 대책

① draw형

panel 문제	불량 원인	대 책
소 착 (늘어붙음)	1. blank에 먼지 부착 2. die 'R' 면의 불균일 3. blank 세척시세척유가 불결 4. blank의 버어(burr)	1. 늘어붙은 부위에 oil stone을 이용하여 사상 2. 'R' 면을 oil stone 이나 paper를 이용하여 사상 3. 세척기의 oil을 교환 4. blanking die의 버어를 제거
요 철	1. punch(상형) air hole로부터 주물 가루 낙하 2. blank에 먼지 부착	1. 상형세척, punch뒀면 주물가루 청소, punch표면 oil stone으로 사상 2. punch표면 oil stone으로 사상
주 름	1. bead 마모 2. die face면 마모	1. 생산 press 기계내에서의 원인을 조사한 후 수정 2. 상 동
crack neck	1. die face면의 열팽창에 의한	1. R부 및 면의 사상, 생산 press기계내에서 실시검사 후 R의 확대를 검토
굴 곡	1. bead 및 die face면의 마모	1. 생산 press 기계내에서의 원인을 조사한 후 수정
이 중 선	1. bead 및 die face면의 마모 2. blank gage위치 불량 3. die face면의 평행도 불량	1. 생산 press 기계내에서의 발생 위치를 조사한 후 수정 2. 위치 수정 3. spacer 부착
shock line	1. die R의 불균일 2. bead R의 마모	1. die R을 oil stone 으로 사상 2. 생산press기계내에서 현상을 조사한 후 R의 사상
punch의요철 및 선의 불균일	1. 이물질 혼입 2. die face면의 단의 부족	1. 이물질 제거 2. 면의 추가

② trim형

panel 문제	불량 원인	대 책
burr	1. 날부분의 round화 2. 날부분의 파손 3. 상하형 날부분의 틈새 대소 4. 날의 강도부족	1. check sheet, sample판넬을 참조하여 날부분의 이상부위를 찾아서 수정 2. 상 동 3. 상 동 4. back up 추가
panel의 팔려올라감	1. punch날부분의 마모 2. cam이면의 wear plate마모 3. pad접착면의 불량	1. 날부분의 날맞춤시 기준측을 결정 2. 상 동 3. 상 동
변형, 당음	1. press조건의 setting오차 2. lifter, finger에 panel 간섭 3. pad spring 파손 4. 이물질 혼입 5. panel spotting 불량	1. press압력 조사 2. press기계내 간섭부의 검토, 조사후 간섭부 제거 3. space spring으로 교환 4. punch요철부의 수리 5. 전공정의 panel로 하형의 panel spotting을 실시
이동die, cam의 움직임 불량(이동cam의 유격불량)	1. cam, guide plate의 늘어붙음 2. cam upper plate의 늘어붙음 3. scrap혼입 4. spring파손 5. spring guide pin파손, 휨	1. 늘어붙은 부위를 oil stone 으로 연마, 간격조정 및 wear plate마모 수정 2. 늘어붙은 부위를 oil stone으로 연마 3. 칸막이용접으로 부착 4. spring교환 5. guide pin교환

③ flange bending형

panel 문제	불량 원인	대책
늘어붙음	1. flange부의 상하형 기준치 간격이 좁음	1. 기준치 간격을 맞춤
R의 굴곡	1. R의 마모	1. 마모부의 보수
닿음, 변형	1. 이물질 혼입 2. 고정die의 체결bolt 풀림 3. pad spring의 손상 4. lifter finger에 panel간섭 5. 우레탄고무의 노화 6. press윤활유의 누유로 우레탄 고무에 부착, 고무의 노화 7. panel spotting의 불량	1. 변형부의 보수 2. 체결bolt에 록 타이트부착 3. spring교환 4. 간섭부를 press기계내에서 조사후 간섭부 제거 5. 우레탄고무 교환 6. 우레탄고무 교환, drain hole설치 및 내유성 우레탄고무로 교환 7. 전공정 panel로 하형에 맞춤 실시

4. 금형기술 체계 및 평가기준

자동차용 프레스금형을 제작하기까지 필요한 요소기술을 아래와 같이 정리하였다

기술 항목		세부 기술
작성기술	설계 기술	공법 기술
		구조설계 기술
		표준화 및 정보관리
실현기술	가공기술	CAD/CAM
		modelling 기술
		NC tape제작
		system통합 기술
		표준화
	기계가공	가동률
		build-up기술
		고속가공 기술
		공구연삭 기술
		장비관리 기술
조정기술	사상, T/O기술	표준화
		사상 기술
		품질보증
		trouble shooting
		신기술 적용
기술	측정 기술	T1 수정기간
		금형측정 기술
		panel측정 기술

5. 결론

지금까지 자동차용 판넬의 프레스금형제작에 있어서의 요소기술 및 연구현황에 대해서 알아보

았다. 본 고에서 제시한 프레스금형 제작기술을 평가하는 기준을 적용하여 요소기술을 평가하면 정량적인 분석이 가능하여 금형제작 기술의 체계를 확립할 수 있을 것으로 전망되며, 금형제작 공정중 많은 시간이 소요되는 try-out공정에 자동변형률 측정장치를 사용한 결과, 금형제작 기술자의 숙련도에 크게 영향을 받지않고 프레스금형 제작시 성형성 난이예상부를 빨리 예측할 수 있었다. 그리고 자동차용 판넬의 성형성 분석결과들은 data base화 하여, 이를 바탕으로 신차종 개발시에 제품설계 및 공법설계 등에 적용함으로써 프레스금형 제작현장에서 개발기간의 단축 및 고품질의 제품을 생산하는데 활용될 것으로 기대된다. 그러나 자동변형률 측정장치에 의한 변형률 가시화에 있어서 현재의 측정한계는 단순한 제품의 변형률 측정만을 보여주고 있다. 앞으로는 이러한 방법의 개발은 CAD/CAM/CAE의 일환으로 금형의 성형조건을 함께 계산하여 원하는 성형을 유도하기 위해 금형의 수정부위와 가능한 공정의 예측을 할 수 있는 방향으로 발전하리라 전망된다. 또한 프레스금형 제작에 있어서 CAE기술의 적용은 종래의 시행착오에 의한 많은 비용과 시간을 절감시키고 모델 변형주기의 단축 및 제품의 다양화에 유연하게 대처해 나갈 수 있게 하므로 기업의 경쟁력확보에 크게 기여할 것이다. 그

러나 이 방법이 금형설계 과정에서 실용적인 측면에서 널리 사용되기 위해서는 3차원 곡면을 갖는 금형면의 효과적인 처리방법, 판재와 금형간의 접촉경계에서 마찰경계조건에 대한 정확한 묘사 및 효율적인 해석방법에 대한 연구개발이 요구된다. 아울러 기존의 CAD data와의 연계가 손쉽게 이루어질 수 있도록 하는 interface의 자동화기술에 대한 연구와 함께, 기준이 되는 제품도의 정보 및 스트립레이아웃(strip lay-out)도, 부품도 및 조립도의 정보를 충분히 활용하여 자동편집 및 조합이 가능한 자동도면합성 모듈이 있는 금형자동설계시스템의 개발에 관한 연구도 앞으로 계속해서 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 김영석, "자동차 금형의 최적설계를 위한 CAE기술", 한국자동차공학회지, Vol.17, No.2, pp.24-34, 1995
- [2] Choi, B.K., "Unified CAM-System Architecture for Die and Mold Manufacturing", Computer Aided Design, Vol.26, No.3, pp.235-243, 1994
- [3] Okamoto, I. et al., "Computer-Aided Design and Evaluation System for Stamping Dies in Toyota", Proc. Soc. Automot. Eng. Conf., pp.79 - 89, 1989
- [4] Raghavan, K.S. et al., "Recent Progress in the Development of Forming Limit Curves for Automotive Sheet Steels", SAE paper, No.920437, 1992
- [5] 양동열, "박판성형에 있어서의 CAD /CAM/ CAE", 대한기계학회지, Vol.33, No.3, pp.231-241, 1993
- [6] 최병규, "금형의 NC가공을 위한 CAD/CAM기술", 대한산업공학회지, 산학협동 단기강좌교재, 1987
- [7] 김영탁, 이장희, "박판성형공정 시뮬레이션에 대한 세계적인 연구동향", 대한기계학회지, Vol. 32, No.7, pp.632-640, 1992
- [8] 정태학, "자동차 BODY용 PRESS금형에 있어서 CAD/CAM/CAE활용으로의 APPROACH", 박판성형심포지움, 한국소성가공학회 pp.129-146, 1994
- [9] 서만석, 김형준, "자동변형을 측정장치를 이용한 자동차용 실판넬의 문제점해결 방안", 박판성형심포지움, 한국소성가공학회, pp.119-128, 1994
- [10] 김영석, 남재복, "평면변형 장출시험을 이용한 스텝핑성형성평가", 한국자동차공학회지, pp.121-129, 1993
- [11] 김영탁, "자동차 판넬금형의 단면 성형성해석을 위한 CAE시스템 개발", 한국과학기술연구원, 1992
- [12] Aoyagi, Mitsuzasi, "자동차 차체용 프레스금형의 CAD/CAM", Korean-Japan Die & Mold Workshop, pp.21-42, 1994
- [13] Lee, Daeyong, "Recent Innovation in Sheet Material Forming", JMPT, Vol.46 pp.333-349, 1994
- [14] Lee, D. and Vogel, J.H., "The Automated Measurement of Strains from Three Dimensional Deformed Surfaces", JOM, Vol.42, No.2, pp.8-13, 1990