



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2022년 2월

석사학위 논문

스프링 백이 최소화되는 차량용 U-굽힘 금형설계에 관한 연구

조선대학교 대학원

기계공학과

천 정 필

스프링 백이 최소화되는 차량용 U-굽힘 금형설계에 관한 연구

**A Study on the Design of Dies with the Reduced Spring
Back for a U-Bending Die of Automotive**

2022년 2월 25일

조선대학교 대학원

기계공학과

천 정 필

스프링백이 최소화되는 차량용 U-굽힘 금형설계에 관한 연구

지도교수 안 동 규

이 논문을 공학석사학위 신청 논문으로 제출함

2021년 10월

조선대학교 대학원

기 계 공 학 과

천 정 필

천 정 필의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 한 길 영 印

위 원 조선대학교 교수 김 창 래 印

위 원 조선대학교 교수 안 동 규 印

2021년 12월

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF TABLES	iv
LIST OF FIGURES	iv
ABSTRACT	vii
제 1 장 서론	1
제 1 절 연구 배경 및 필요성	1
1. 연구 배경	1
2. 연구의 필요성	2
3. 선행연구	4
제 2 절 연구 목적 및 방법	5
1. 연구 목적	5
2. 연구 방법	6
제 3 절 이전방식의 문제점 및 개선된 금형을 통한 문제 해결 방법	7
1. 유한요소 해석을 통한 문제점 검증	7
2. 문제점 해결 방법	9
가. 개선된 금형의 캠 스트로크를 조절하여 문제 해결	10
나. 캠 스트로크 설계변경 (Upper cam punch 와 Lowe Punch 의 Gap조절)	11
다. 패드 스트로크 조절	12
라. Upper cam punch 와 Lowe Punch 의 보정각도 변경	14

제 2 장 기본 이론	17
제 1 절 소성가공	17
1. 소성가공(Plastic working) 이론	17
2. 응력(Stress)	18
3. 변형(Deformation)	19
4. 가공경화(Work hardening)	19
5. 시효경화(Age hardening)	19
제 2 절 프레스 금형의 종류 및 특성	20
1. 프레스 금형의 정의	20
2. 금형의 종류	20
3. 프레스 가공의 종류 및 특성	21
4. 프레스금형 제작과정	22
제 3 장 스프링 백 개선 금형의 이론	22
제 1 절 굽힘(Bending)가공	22
1. 굽힘 방식에 종류	22
2. 굽힘 변형	24
3. 최소 굽힘 반경 (R)	25
제 2 절 스프링 백 개선금형의 기구학 해석	26
1. 스프링 백(Spring back)	26
2. 굽힘 금형(Bending & Flange)에 정의	26
3. 설계순서	27

4. 스프링 백 개선 금형의 구조 및 작동방법	28
가. 스프링 백 개선 금형의 구조	28
나. 스프링 백 개선 금형의 작동원리	29

제 4 장 유한요소 해석을 이용한 스프링 백에 대한 결과 및 고찰

32

제 1 절 DP590 물성 해석 결과 및 분석	32
1. 탄소성 유한요소 해석	32
2. DP590 재료 물성	34
3. 성형성	35
가. 굽힘부 곡률반경 R3 성형성 테스트	35
나. 굽힘부 곡률반경 R5 성형성 테스트	36
다. 굽힘부 곡률반경 R7.5 성형성 테스트	38
4. 캠 스트로크 크기에 따라 소재를 성형하는데 발생하는 힘에 대한 결과 분석	39
5. 굽힘부 곡률반경 R3에 대한 해석 결과 및 분석	42
가. 캠 스트로크 3 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰	42
나. 캠 스트로크 4 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰	46
다. 캠 스트로크 5 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰	50
6. 굽힘부 곡률반경 R5에 대한 해석 결과 및 분석	54
가. 캠 스트로크 3 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰	54
나. 캠 스트로크 4 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰	58
다. 캠 스트로크 5 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰	61
7. 굽힘부 곡률반경 R7.5에 대한 해석 결과 및 분석	64
가. 캠 스트로크 3 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰	64

나. 캠 스트로크 4 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰 69
 다. 캠 스트로크 5 mm 설계에 관한 해석 결과 및 고찰 73
 8. 공차기준에 최적화 설계 및 결과..... 77

제 5 장 결론 및 향후 과제 78

LIST OF TABLES

Table 1 Type of die processing 21
 Table 2 Type of press die processing 21
 Table 3 Minimum bend radius of the various materials..... 25
 Table 4 Number of meshes and those refinement level..... 34
 Table 5 Mechanical properties of DP 590 high strength steel sheet..... 34
 Table 6 Results in Tolerance Criteria 77

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Press specification (single action type) 2
 Fig. 2 Press slide pillar type 3
 Fig. 3 Press slide trust prevention 3
 Fig. 4 Quality control 5
 Fig. 5 U-shaped panel 6
 Fig. 6 Finite element analysis procedure 7
 Fig. 7 U-bending die basic structure 8
 Fig. 8 Previous methods molding system 9

Fig. 9 Cam stroke adjustment	10
Fig. 10 Gap of lower steel and upper cam steel	11
Fig. 11 Steel gap 3 mm & 5 mm test result	12
Fig. 12 Adjustable to 120 mm pad stroke	13
Fig. 13 Changed to pad stroke 130 mm	14
Fig. 14 Relief angle	14
Fig. 15 Change the correction angle to 0.5 degrees	15
Fig. 16 Change the correction angle to 1.5 degrees	16
Fig. 17 Weight _ Elongation diagram	18
Fig. 18 Press die making process	22
Fig. 19 Type of bending process	24
Fig. 20 Minimum bend radius	25
Fig. 21 Concept of Spring back	26
Fig. 22 Spring back improvement mold basic structure	28
Fig. 23 Cross section of mold & operation method	29
Fig. 24 Operation method of cam	30
Fig. 25 Control cam using stroke end block	31
Fig. 26 Molding analysis using DP590 panel	32
Fig. 27 Design and initial mesh structures of blanks	33
Fig. 28 Final mesh of the finished product	33
Fig. 29 Engineering phase and Max refinement level	33
Fig. 30 Stress-strain relationship of DP590 high street	34
Fig. 31 Formability of bending area R3 test	36
Fig. 32 Formability of bending area R5 test	37
Fig. 33 Formability of bending area R7.5 test	38
Fig. 34 Gap between upper punch and lower punch	39
Fig. 35 Formability test according to each cam stroke	41
Fig. 36 Failures in product quality	43
Fig. 37 3 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R3	45
Fig. 38 3 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R3	45

Fig. 39 3 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R3	46
Fig. 40 Comparison of differences in cam strokes	48
Fig. 41 4 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R3	48
Fig. 42 4 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R3	49
Fig. 43 4 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R3	49
Fig. 44 5 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R3	52
Fig. 45 5 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R3	53
Fig. 46 5 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R3	53
Fig. 47 3 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R5	56
Fig. 48 3 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R5	57
Fig. 49 3 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R5	57
Fig. 50 4 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R5	60
Fig. 51 4 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R5	60
Fig. 52 4 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R5	61
Fig. 53 5 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R5	63
Fig. 54 5 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R5	63
Fig. 55 5 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R5	64
Fig. 56 Failures in product quality	66
Fig. 57 3 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R7.5	68
Fig. 58 3 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R7.5	68
Fig. 59 3 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R7.5	69
Fig. 60 4 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R7.5	72
Fig. 61 4 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R7.5	72
Fig. 62 4 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R7.5	73
Fig. 63 5 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R7.5	75
Fig. 64 5 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R7.5	76
Fig. 65 5 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R7.5	76

ABSTRACT

A Study on the Design of Stamping Dies with the Reduced Spring Back for a Member Panel of Automotive

Cheon jeong pil

Advisor : Prof. Ahn Dong-Gyu, Ph.D.

Department of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

The purpose of study is to design improved stamping die to solve Spring back and Spring go, where occur at "U" shape of Vehicle parts during mass production. In modern society, safety is particularly important during the development of the automobile industry. Therefore, high-strength steel with a tensile strength of 590Mpa or more are being used for car body. In the improved stamping dies, Cam was added by referring to structure of the previous design in order to solve Spring back and Spring go that occur when High-strength steel material is bent. By controlling the Cam, it was designed so that the problems of Spring back and Spring go can be corrected in the stamping die. In order to compare product forming, Cam stroke is designed as 3mm, 4mm, 5mm and Compensation angle is applied 1.5 degrees to Lower punch and Upper cam steel to make Spring go when Cam is bottomed at bending area. To verify

this, the results for each experiment were derived using Auto form R7, a finite element analysis program. For the research method, DP (Dual Phase) 590, which is a high - strength steel plate, was used as a material, and the radius of the bent part to be formed was divided into R3, R5, R7.5 Accordingly, finite element analysis was performed by applying the material thickness as 3mm To verify whether the Spring back and Spring go can be modified in the stamping die it self using improved die, Cam designed with 3mm stroke was first tasted through finite element analysis. As a derived using Auto form R7, a finite element analysis program. For the research method, DP (Dual Phase) 590, which is a high-strength steel plate, was used as a material, and the radius of the bent part to be formed was divided into R3, R5, R7.5 Accordingly, finite element analysis was performed by applying the material thickness as 3mm To verify whether the Spring back and Spring go can be modified in the stamping die it self using improved die, Cam designed with 3mm stroke was first tasted through finite element analysis. As a result, it was confirmed that all problems for Spring back and Spring go can be solved only by Cam stroke control. It is verified that the improved stamping die has no problem through analysis. In case of 4mm and 5mm Cam stroke, controlling the cam stroke could not solve the problem for Spring back and Spring go. As a result of analyzing the problem through finite element * analysis, the biggest cause is the stroke of the Cam. The Cam stroke means a gap between the lower punch and the upper cam steel, which are formed by design. If this gap exceeds 3mm, it was confirmed that there is a problem in formability depending on the size of this gap when bending is primarily applied to the material. A simple solution is to use a cam designed with 3mm stroke that has been verified through analysis. However, in preparation for the need to use the 4mm and 5mm stroke in various situations, a solution was created and an experiment was performed through analysis. The first solution is to change the stroke to the Pad. As a result of performing the finite element analysis by changing the pad stroke, it was confirmed

that there was a change in the minute value. This can be applied when meeting a more precise tolerance in a value within tolerance. The second is to test while correcting the compensation angle. Since the initially derived values are very different depending on the compensation translate, the compensation angle was corrected based on the initially derived value so that the value could come within the tolerance. Results in the experiment Both the 4 mm and 5 mm cam stroke tests ended in failure. It was confirmed that the larger the stroke of the cam, the larger the gap between the upper and lower punches, and the size of these gaps caused problems in formability. As a conclusion, if improved stamping die is used with a Cam design with 3mm stroke, even if there is a change in the material, thickness and R value of the bent part, it is believed that the problem of Spring back and Spring go can be solved directly from the stamping die it self.

제 1 장 이론적 배경

제 1 절 연구 배경 및 필요성

1. 연구 배경

우리나라의 금형산업은 1970년대 이후부터 산업의 고도성장과 더불어 많은 발전을 하여 왔다. 초기의 금형은 제품이나 부품을 가공 생산하는데 하나의 보조 작업에 사용되는 공구의 취급을 받아왔다.¹⁾ 하지만 현대에 금형은 자동차 산업 및 전기·전자 분야의 발전 그리고 가전분야의 사출금형 산업이 발전함에 따라 보조공구에서 주공구의 개념으로 바뀌었으며 하나의 전용 기계라 정의하고 있다.¹⁾ 산업의 발전에 따라 수요자의 요구는 다양해지고 각각에 개성에 맞추어 제품을 생산하기 위해 다품종에 소량생산이 필요하게 되다보니 제품의 디자인에 따라 금형의 제작 기술 또한 많은 발전을 이루고 있다.²⁾ 우리나라 경제성장의 기반은 자동차, 반도체, 가전제품 등으로 대표할 수 있으며 특히 우리나라 자동차 산업은 전 세계 Top 5위 이내의 생산국이다. 자동차는 3만여 개 이상의 부품으로 구성되어 있으며 부품에 대부분이 금형에 의해서 제작이 된다.²⁾ 그만큼 금형에 비중이 크며 4차 산업혁명 시대에 맞춰 자동차 산업시장에선 금형제작에 있어 금형납기의 단축, 제작비 절감, 우수한 품질 등을 요구하고 있다. 이렇게 금형제작에 대한 생산 환경이 변화되고 있으며 각 자동차 메이커별 상호간 경쟁에 의한 요청에 따라 CAD/CAM/CAE 등을 활용한 설계 및 제작 시스템이 지속적으로 발달하고 있다.²⁾ 차량용 제품은 크게 내 (Inner), 외 (Outer) 파트로 분류하고 특히 외관파트는 밖으로 들어나는 스킨 (Skin) 파트이기에 금형 품질에 있어 고 정밀성을 요구 한다. 특히 차체의 무게를 감소시키기 위해 고강성 설계, 손상허용설계 및 고강도 재료 적용등의 다양한 연구를 수행하고 있다. 이렇게 자동차 시장에 요구에 맞춰 금형에 빠른 제작, 고 품질 등에 대응하기 위해선 금형 제작에 있어 실패사례에 대한 Data 구축을 철저히 하고 금형 초기 개발 공정에서부터 성형해석기술, 금형설계 3D 자동화, 금형제작 기술, 자동화를 위한 CNC 화 등 고도에 정도와 단 시간 내에 금형을 제작할 수 있는 최적에 조건들 연구하고자 한다.⁴⁾

2. 연구의 필요성

금형에 제작에 있어 가장 중요한 부분은 제품의 품질이다. 초기 공법부터 성형해석, 공법설계, 금형설계, 패턴 및 주물제작, 기계가공불량 최소화, 시험 타발 (Try out) 수순대로 문제없이 잘 진행이 되었다 하더라도 제품의 품질에 정도가 떨어지게 되면 그에 따른 품질육성 (금형에 품질을 완성시키는 작업) 에 많은 시간이 소비될 수밖에 없다.²⁵⁾

현재는 금형 개발 초기 단계에 CAE (Computer Aided Engineering) 를 통해 미리 제품 품질에 대한 정도를 확보하여 품질육성에 소비되는 시간을 많이 단축시키고 있지만 자동차 차체 디자인에 특성상 동일한 명칭을 가지고 있는 파트라 할지라도 각 자동차 메이커별 디자인에 변화가 다양하기에 T/O후 실제 제품검사를 해보기 전까지는 성형해석에만 100% 의존 할 수 없는 상황이다. 간혹 제품 생산처가 변경되는 경우가 발생하는데 생산처가 변경이 되면 프레스가 달라지기 때문에 제품의 품질에 문제가 생기는 경우가 발생한다. 프레스의 기본구조는 다음 Fig. 1 과 같다.

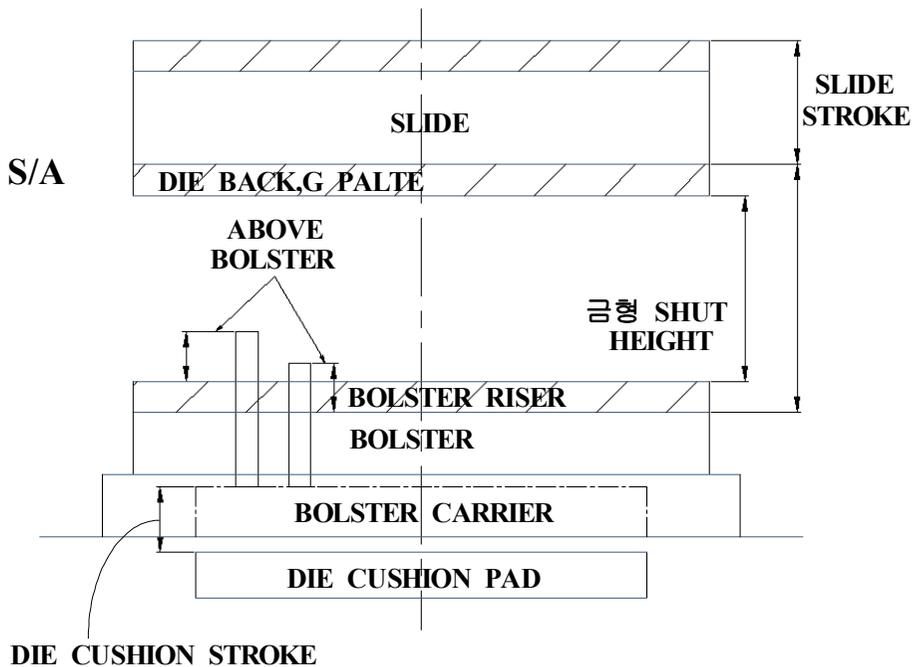


Fig. 1 Press specification (single action type) ⁶⁾

Press 조건에 따라 제품에 정도가 틀러지는 이유 중 하나는 Fig. 2 와 같이 프레스 기계 타입에 따라 슬라이드에 고정해주는 Pillar 라는 부품의 개수나 또는 위치가 틀러지기도 하고 동일 프레스라 할지라도 사용 환경에 따라 프레스 기계에 슬라이드 및 볼스터의 평탄도 틀어짐 등등 기계에 정도가 달라질 수 있기 때문이다.

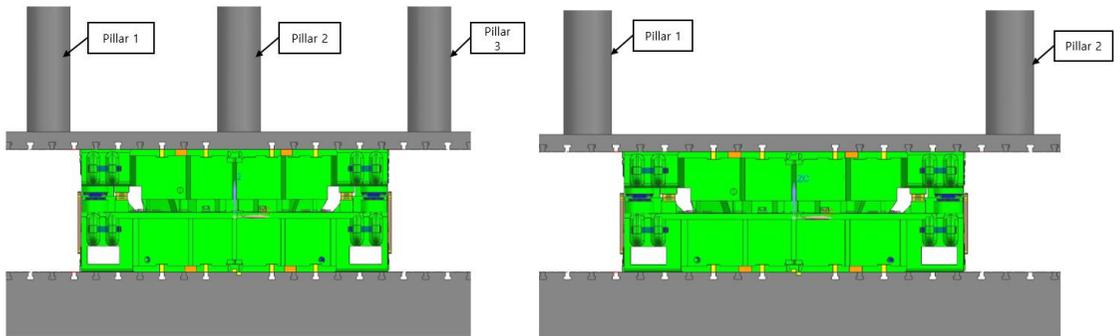


Fig. 2 Press slide pillar type

Fig. 3 은 Press 센터에 Pillar가 없을 경우 휨이 발생하는 것을 표현한 것이다. 이렇게 눈에 보이지 않은 미세한 휨이 발생할 수도 있으며 문제의 원인은 다양하겠지만 이전 프레스에서 T/O 및 품질 육성을 끝낸 금형을 다른 조건에 Press 에 세팅하게 되면 제품의 품질에 문제가 발생하게 되는 것이다.⁶⁾

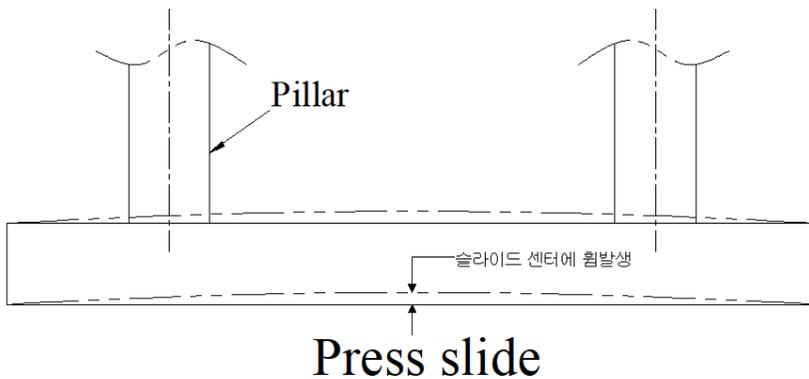


Fig. 3 Press slide trust prevention

이밖에도 제품 품질에 영향을 미치는 원인은 여러 가지로 다양하지만 자동차 Press금형 종사자로서 문제점 수정에 대한 지식과 경험을 바탕으로 품질 육성에 들어가는 인력, 비용, 시간, 납기 지연 등을 최소화하는 것에 필요성을 느끼며 품질 육성 없이 금형자체에서 품질을 수정할 수 있는 금형을 개발하고자 한다.

3. 선행연구

소성이 가능한 재료에 굽힘을 가한 다음 외력을 제거하면 탄성에 의해 원상태로 복구하려고 하는 현상을 스프링 백이라고 한다. 특히 고강력 강판을 요구하는 현재 시점에 맞춰 스프링 백에 대한 문제를 해결하기 위하여 많은 연구가 진행되었다.

2002년 M. J. Shin 등은 냉연 강판 (SPCI) 은 펀치의 형상 반경이 커질수록 스프링 백량이 증가 하고 재료의 두께가 두꺼워질수록 스프링 백량이 감소하는 걸 실험을 통하여 확인하고 0.8t 와 1.2t 의 소재를 각각 용접하여 냉연강판 (SPCI) 와 용접판재 (TWB) 의 스프링 백 특성을 비교하고 실험하여 결과를 도출하였다.¹⁷⁾

2003년 S. H. Hong 등은 원형 딥드로잉을 통하여 블랭크 홀딩력이 스프링 백에 미치는 영향을 분석하고 Side member rear panel 에 실험방법을 적용 후 비교 분석을 하였다.¹⁸⁾

2009년 D. H. Song 등은 DL950 고강력 강판을 성형하기 위한 내부 보강판 금형 설계를 하고 3차원 탄소성 유한요소 해석을 수행하여 공정별로 요구되는 최대 성형하중을 도출하였다.¹⁹⁾

2011년 D. G. Jeong 등은 고강력 강판을 프레스로 성형시 발생하는 형상 정밀도 문제를 체계적으로 분석하고 소재강도와 금형 형상에 연관되는 스프링 백 발생요인을 분석하였다.²⁰⁾

2012년 H. C. Lee 등은 자동차용 초 고강도강 DP780 과 고강도강인 TRIP590 소재의 스프링 백량을 정확히 예측하기 위하여 다구찌실험 계획법과 유한요소 해석을 통하여 실험 후 결과를 도출하였다.²¹⁾

2015년 J. H. Park 등은 협소한 공간에서 서로 다른 각도를 가지는 홀에 다방향으로 작업할 수 있고 기존 장치보다 생산성 및 효율성등 제조 원가 절감에 효과적인 다방향 멀티캠을 설계하였다.²²⁾

2017년 J. H. Kwak 등은 블랭크 홀딩력 제어에 따른 초고강도강의 스프링 백 및 성형특성 평가를 통하여 주름 및 파단과 스프링 백 발생량을 제어하고 최종적으로

실제 양산에 필요한 가이드라인을 도출하였다.²³⁾

2018년 Y. H. Tak 등은 4각형 모함에 드로잉 금형을 통하여 DP980급 초 고강도 냉연 강판의 성형성 및 스프링 백 실험 및 유한요소 해석을 통하여 강판의 기계적 특성을 도출하였다.²⁴⁾

제 2 절 연구 목적 및 방법

1. 연구 목적

본 연구의 목적은 품질 육성에 들어가는 비용 및 시간 등 여러 가지 문제점을 단축시키고자 U자형 굽힘 금형에 대표적으로 발생하는 스프링 백 및 스프링 고의 문제점을 품질육성 없이 금형자체에서 보정하고 수정할 수 있도록 스프링 백 개선 금형 설계에 목적을 두고 있다. U자형태의 차량용 제품은 대표적으로 멤버(Member), 레인프(Reinf), 대쉬(Dash) 등이 있으며 이 제품들은 자체에 강성을 보강하기 위해 쓰이고 특히 안전과 밀접한 관계를 가지고 있다. 품질 육성이란 제품의 품질에 정도를 잡기 위한 과정이며 제품 종류 및 소재 재질에 따라 품질 육성에 들어가는 작업공수가 달라지기도 하지만 기본적으로 품질육성 방법은 Fig. 4와 같다.⁶⁾

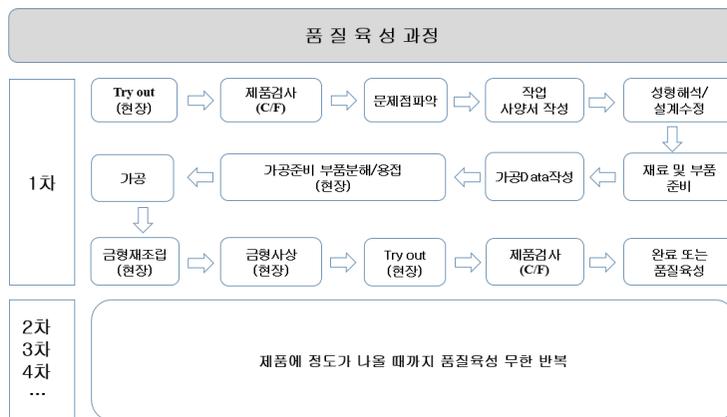


Fig. 4 Quality control

이와 같이 품질육성 시 들어가는 작업공수는 무시 할 수 없을 정도로 수준이며 품질육성 기간이 길어질수록 초기 금형 수주가 보다 금형 납기 시점에 문제점 수정 등으로 인한 비용이 더 발생하여 오히려 손해를 보는 상황이 발생하기도 한다. 이러한 문제점으로 제작업체에선 품질 육성을 최소화하기 위해 여러 가지 대책방안을 모색하고 있으며 본 연구를 위해 설계한 이 스프링 백 개선 금형 또한 품질육성 최소화에 도움이 될 것으로 사료된다.

2. 연구 방법

본 연구에 대상이 되는 U자형 판넬의 제품 형상은 Fig. 5와 같으며 설계 Tool 은 NX UG 7.5 프로그램을 사용하였다. 요한요소 해석은 Auto form R7 을 이용하였으며 재료는 물성 계산 소프트웨어인 JMatPro 를 이용하여 고장력 강판인 DP (Dual phase) 590 물성을 도출하였고 판재에 두께는 3 mm 로 선정하였다. 성형이 이루어지는 굽힘부 R 값을 각각 R3, R5, R7.5 로 하여 해석 모델을 생성하였고 항복강도 및 탄성회복에 의한 스프링 백 및 고에 대한 특성 파악 및 각 R 의 크기에 따른 크랙 및 주름 등의 여부에 대한 해석을 수행하고자 한다.

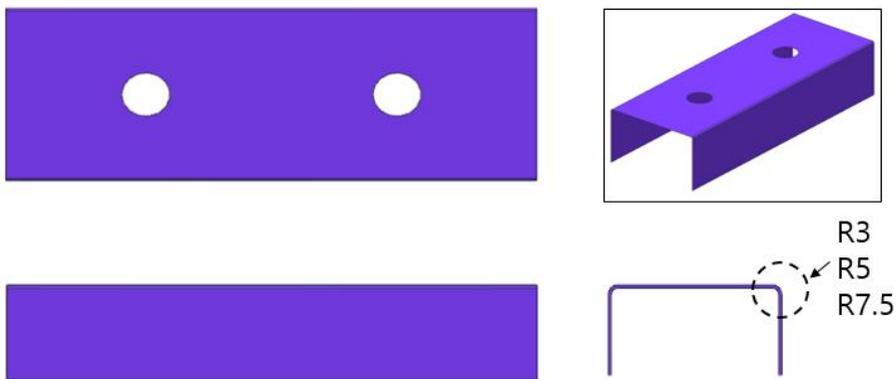


Fig. 5 U-shaped panel

해석방법은 Fig. 6 과 같으며 제품의 굽힘이 발생하는 성형 R 값을 R3, R5, R7.5

로 하고 캠의 스트로크는 3 mm, 4 mm, 5 mm 로 설계를 하였다. 각각의 캠 스트로크 마다 보정각도를 1.5° 도, 1.0° 도, 0.5° 도로 하고 변경하여 테스트 하고 각 보정각도 마다 패드의 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 변경하여 어떠한 변화가 발생하는지 테스트 하였다.

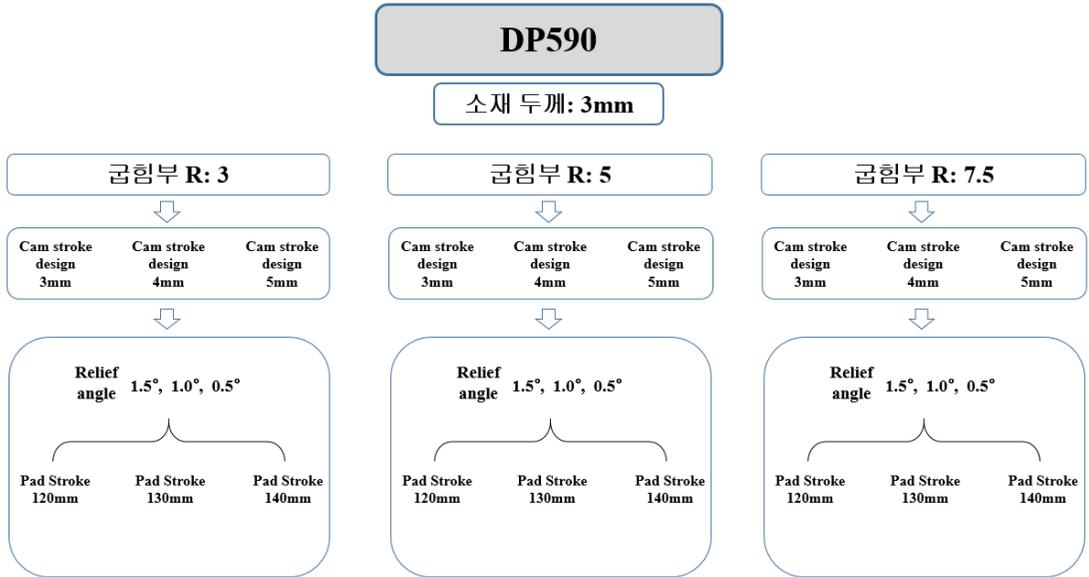


Fig. 6 Finite element analysis procedure

제 3 절 이전방식의 문제점 및 개선된 금형을 통한 문제 해결방법

1. 유한요소 해석을 통한 문제점 검증

이전방식의 U자형 제품을 생산하는 금형의 구조는 Fig. 7 과 같으며 이전방식의 경우 제품의 스프링 백을 방지하기 위해 단순하게 패드의 압력을 조절 하거나 성형이 이루어지는 작업부에 보정각도를 적용하는 게 전부였다.¹⁾ 이러한 이전방식의 문제점은 금형 제작이 완료된 후 제품의 재질이나 두께 값이 변경되었을 때 그에

따른 대응을 바로 할 수가 없다. 특히 재질이 변경되었을 경우 각 재질에 따라 가지고 있는 물성들이 각각 다르기 때문에 성형 시 발생하는 인장, 압축, 항복강도, 탄성회복 등에 성질이 달라지기 때문이다.

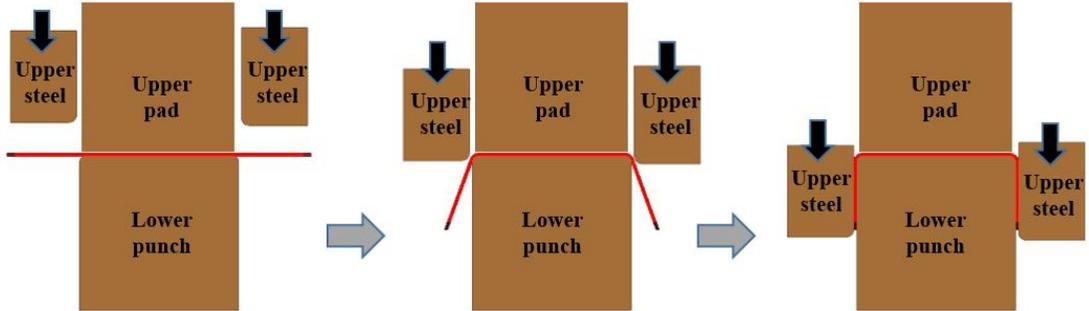


Fig. 7 U-bending die basic structure

Fig. 8 은 이전에 사용되었던 금형 구조를 이용하여 성형이 이루어지는 작업부에 보정각도를 적용하지 않고 단순히 패드 스트로크 (Pad stroke) 및 패드압력 (Padding force) 에 변화를 주었을 때 어떠한 변화 및 문제점이 발생하는지 성형해석을 통하여 실험한 결과이다. 우선 제품의 재질은 Auto form R7 프로그램에 기본적으로 내장되어 있는 JSC590R 로 선정 후 소재의 두께는 4t 로 적용하였다. 패딩력 (Padding force)은 797 kN 을 적용하였는데 이는 유한요소 해석을 통해 도출된 수치이다. 그리고 패드 스트로크는 110 mm 를 적용하였다. 해석 후 도출된 값은 -1.8 mm 에 스프링 백이 발생하였다. 도출된 값에 첫 번째로 패드에 압력만 확대하였을 때 어떠한 결과가 나오는지 해석 테스트를 해보기로 한다. 패드에 압력은 기존 797 kN 에서 1000 kN 으로 높여보기로 한다. 패드 압력을 높여 테스트해본 결과는 -1.7 mm 에 값이 도출되었다. 패드 압력을 높여본 결과 이전보다 미세한 값이지만 0.1 mm 정도에 스프링 백이 개선된 게 확인되었다. 두 번째로는 패드 스트로크를 확대하였을 때의 결과를 실험을 통해 알아본다. 패드 스트로크는 기존 110 mm 에서 120 mm 로 확대하였다. 패드 스트로크를 늘리게 되면 상형 펀치가 소재를 성형할 때 성형되는 작업 타이밍이 달라지게 되며 스트로크가 늘어남에 따라 패드에 압력 또한 커지게 된다. 테스트결과 -1.5 mm 에 값이 도출되었고 초기 값인 -1.8 mm 에 비해 약 0.3 mm 정도의 스프링 백 감소 효과가 있었다. 이 해석 테스트로 인한 결

과는 단순히 패드에 압력만 올리는 것 보다는 패드 스트로크를 조절하여 소재를 성형하는 타이밍에 변화를 주는 것이 더 효과가 좋다는 것이 검증이 되었다. 하지만 제품에 공차 기준을 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 로 보았을 때 상기 내용에 결과 값은 공차 이내 값에 한참 미치지 못하는 결과이다. 내용에서도 알 수 있듯이 단순히 패드에 압력 및 패드 스트로크를 조절하는 것으로는 근본적인 문제를 해결할 수가 없다는 것을 알 수가 있었다.

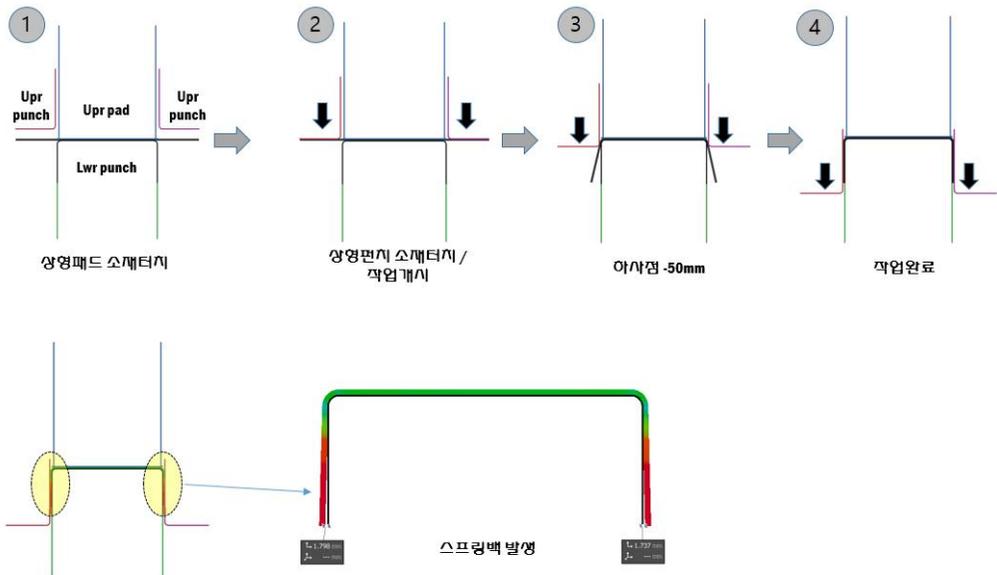


Fig. 8 Previous methods molding system

2. 문제점 해결 방법

이 연구에 기본 목적은 스프링 백이나 스프링 고 가 발생하였을 때 이 문제에 대한 해결을 품질 육성을 통하지 않고 금형 자체에서 수정할 수 있도록 하는 것이다. 개선 금형에 설계 방식은 이전방식의 구조를 참고하였다. 이전방식의 구조는 상형 펀치가 수직으로 내려와 1차적으로 소재에 굽힘을 가하는 게 잡업에 끝

이었다. 개선된 금형은 이 상형 펀치가 굽힘 작업을 끝내고 2차적으로 캠 작업을 병행 할 수 있도록 설계하였다. 그리고 이 캠을 제어하여 스프링 백 및 스프링 고에 대한 문제점을 금형 자체에서 바로 수정할 수 있도록 한 것이다.

가. 개선된 금형의 캠 스트로크 조절만으로 문제 해결

문제점 해결의 첫 번째 방법으로는 개선된 금형의 캠 스트로크 조절만으로 스프링 백 및 고에 대한 문제를 해결 할 수 있는가 이다. 캠의 스트로크를 제어하는 방법은 Fig. 9 와 같다. 하형 펀치에 스프링 백을 감안하여 미리 보정각 1.5° 도를 적용하여 스프링 고 상태로 되게끔 설계 되었으며 캠 스트로크는 5 mm를 모두 사용하였을 경우 소재는 하형 펀치 와 상형 캠 펀치 사이에서 완전히 버팀 (Bottom) 이 된다. 유한요소 해석을 이용하여 결과 값을 확인하고 현재 도출된 값이 공차이내 에 벗어나는 스프링 고 상태이면 이를 반대로 스프링 백 상태로 돌리면서 수치를 맞춰야 되기 때문에 캠을 완전히 버팀 (Bottom) 이 되지 않게 갭 (Gap) 을 0.05 mm ~ 0.1 mm 식 캠을 반대 방향으로 조절하여 정도를 맞추는 것이다. 이를 조절하는 것은 금형 외곽에 조립되어 있는 스트로크 엔드 블록 (Stroke end block) 이란 부품이다.

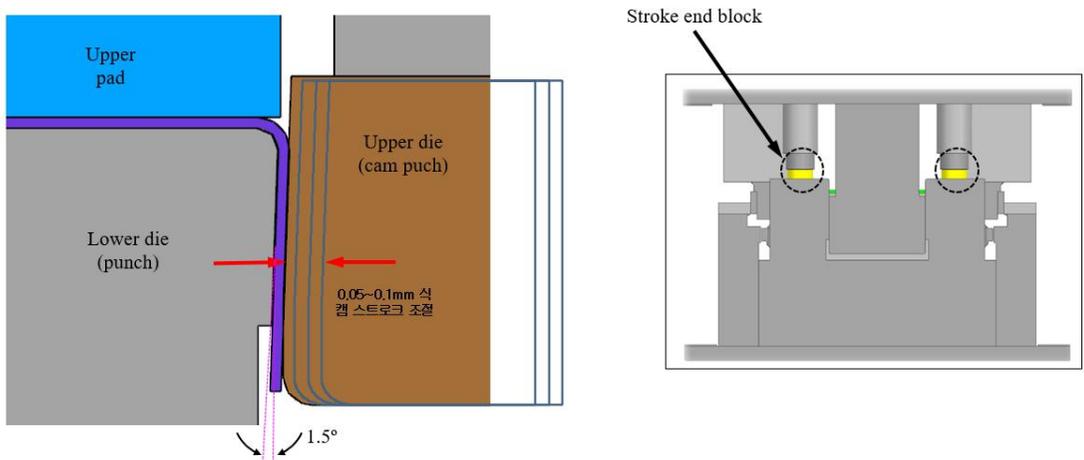


Fig. 9 Cam stroke adjustment

나. 캠 스트로크 설계 변경 (Upper die cam punch 와 Lowe Punch 의 Gap 조절)

두 번째 방법으로는 하형 펀치와 상형 캠 스틸 간에 성형작업이 이루어지는 간격인 갭 (Gap) 인 캠의 스트로크를 각각 3 mm, 4 mm, 5 mm 로 설계하여 테스트 해보는 것이다. Fig. 10 여기에서 작업부 갭 이란 설계상 캠 스트로크와 동일하며 작업부 갭의 크기가 제품에 어떠한 영향을 미치는지 유한요소 해석을 통하여 테스트 해보기로 한다. Fig. 11 은 작업부 갭을 3 mm 와 5 mm 로 설계하여 유한요소 해석을 수행하였을 때 을 하였을 때 나온 결과이다. 3 mm의 결과는 성형된 제품의 곡률반경 R 끝에서부터 굴곡 등 별문제 없이 일직선을 이어가고 있는 것을 확인 할 수 있으며 성형성에 있어 상, 하형 스틸 간에 갭이 적절함을 확인 할 수 있다. 5 mm의 결과는 스틸 간에 갭이 클수록 상단 영역 (Upper region) 에는 스프링 백 이 발생하고 하단 영역 (Lower region)는 스프링 고 현상이 발생 되는 것을 확인 할 수 있었다.

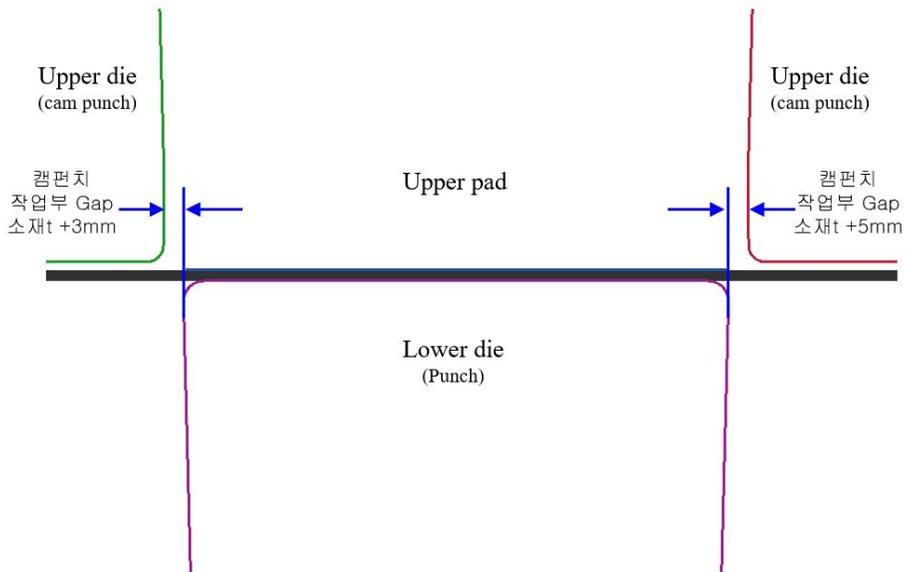


Fig. 10 Gap of lower steel and upper cam steel

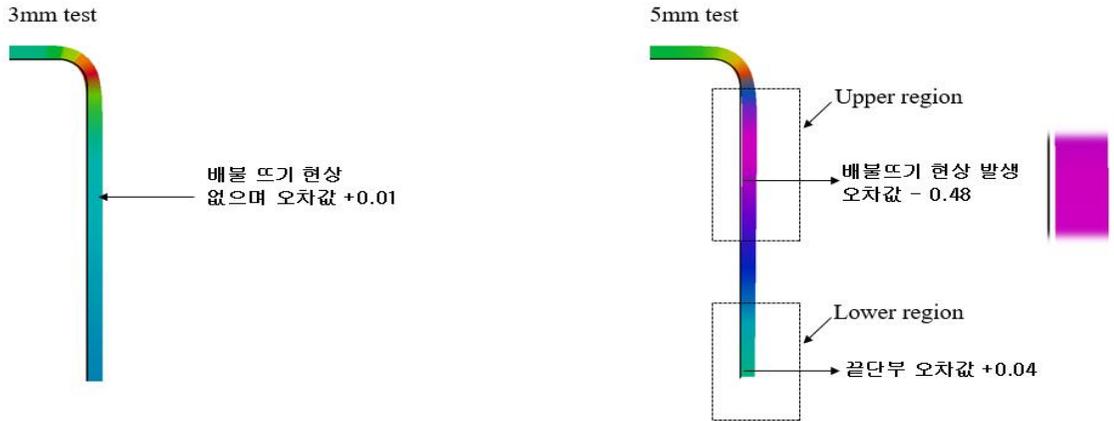


Fig. 11 Steel gap 3 mm & 5 mm test result

다. 패드 스트로크 조절

세 번째로는 상기내용 중 1번 유한요소 해석을 통한 문제점 검증 에서도 알 수
 가 있듯이 패드의 스트로크를 조절하여 문제점을 해결하는 것이다. 제품을 성형
 하는 작업 타이밍은 1차적으로 상형 패드 (Upper pad) 가 먼저 내려와 소재를 잡
 고 압력을 발생시켜 소재가 움직이지 않게 고정시켜야 된다. 그 후 2차적으로
 상형 캠 펀치 (Upper cam punch) 가 내려와 소재를 굽히면서 성형을 하는 것이
 다. Fig. 12 에서 알 수 있듯이 현재 패드 스트로크는 120 mm 이며 패드와 상형
 캠 스틸 간에 작업 타이밍은 5 mm 이다. 이때 도출된 결과 값은 -1.9 mm 이다.

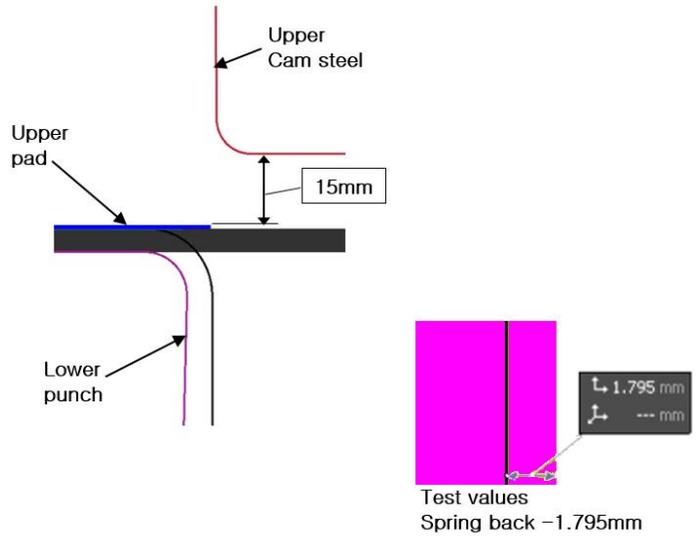
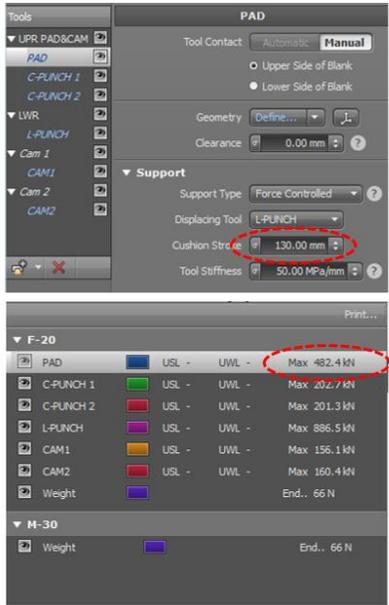


Fig. 13 Changed to pad stroke 130 mm

라. Upper cam punch 와 Lowe Punch 의 보정각도 변경

연구 방법에 마지막인 네 번째 방법으로는 성형이 이루어지는 작업부인 하형 펀치와 상형 캠 스틸에 스프링 백 및 고에 대한 보정 각도를 변경하는 방법이 있다. 본 실험에선 기본 작업 각도를 1.5° 도 로 선정하였으며 문제가 있을 경우 1.0° 도 에서부터 0.5°도 까지 다양하게 각도를 변경하여 해석 테스트를 하였다.

Fig. 14

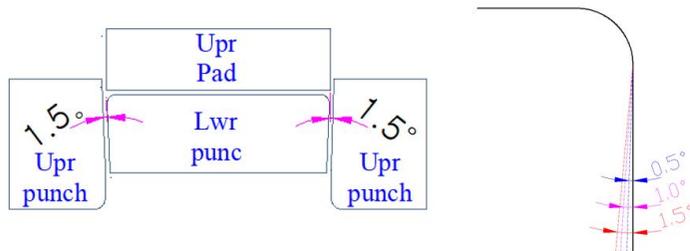


Fig. 14 Relief angle

보정 각도에 따른 차이를 확인하기 위해 보정각도는 0.5° 도 와 1.5° 도를 적용하여 유한요소 해석을 수행해 보기로 한다. 첫 번째 테스트 조건은 소재 두께 3t 를 적용하고 캠 스트로크는 3 mm 를 적용하여 캠 스트로크 조절 없이 캠을 완전히 버텀 (Bottom) 시키기로 한다. 패드 스트로크는 기본 120 mm 를 적용하고 성형이 되는 굽힘부는 R7.5 를 적용하기로 한다. 첫 번째 실험으로 보정 각도를 0.5° 도를 적용하여 테스트 해보기로 한다. Fig. 15 유한요소 해석을 통하여 도출된 값은 스프링 백인 -0.5 mm 에 값이 도출되었다.

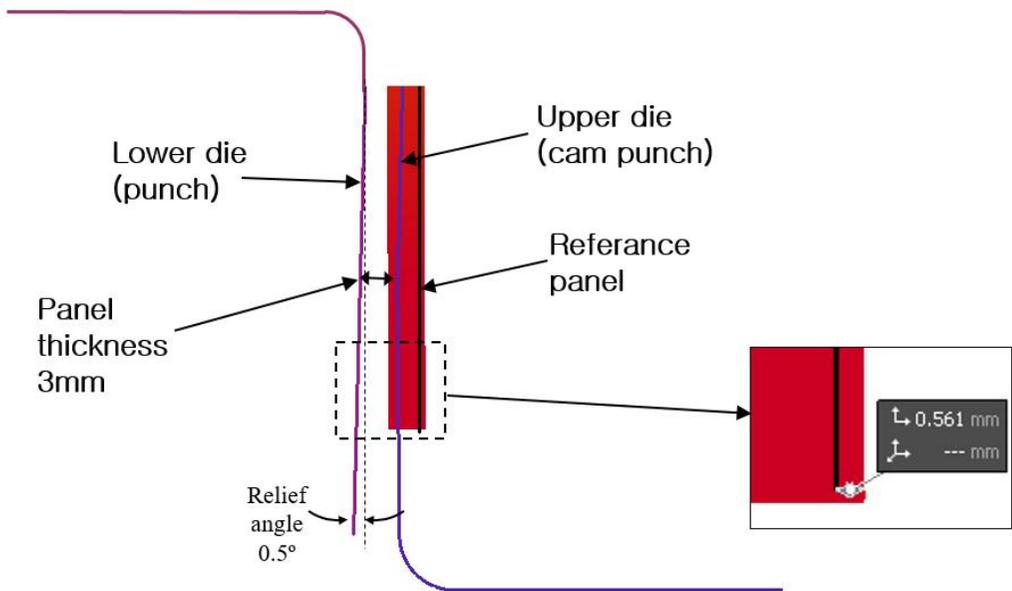


Fig. 15 Change the relief angle to 0.5 degrees

보정각도 0.5° 에서는 캠의 스트로크 3 mm를 모두 사용하여 캠을 완전히 버텀 시켰을 때 도출된 결과는 스프링 백 상태이다. 현 상태에서는 캠을 내측으로 더 전진 시킬 수 없으며 반대로 스트로크를 조절 하면 제품에 스프링 백 상태는 더욱 커지기 때문에 두 번째 실험에선 보정각도를 1.5° 로 수정하여 소재가 내측으로 더 꺾여 들어가 스프링 고 상태로 되게끔 하기로 한다. Fig. 16 보정각도를 1.5° 로 수정 후 유한요소 해석을 수행한 결과는 +0.2 mm에 스프링 고 상태의 값이 도출 되었고 이는 공차 기준인 ± 0.5 mm 내에 들어오는 것으로 현재와 같

은 문제점이 발생 시 보정각도 수정을 통하여 문제해결을 할 수 있음을 검증 하였다.

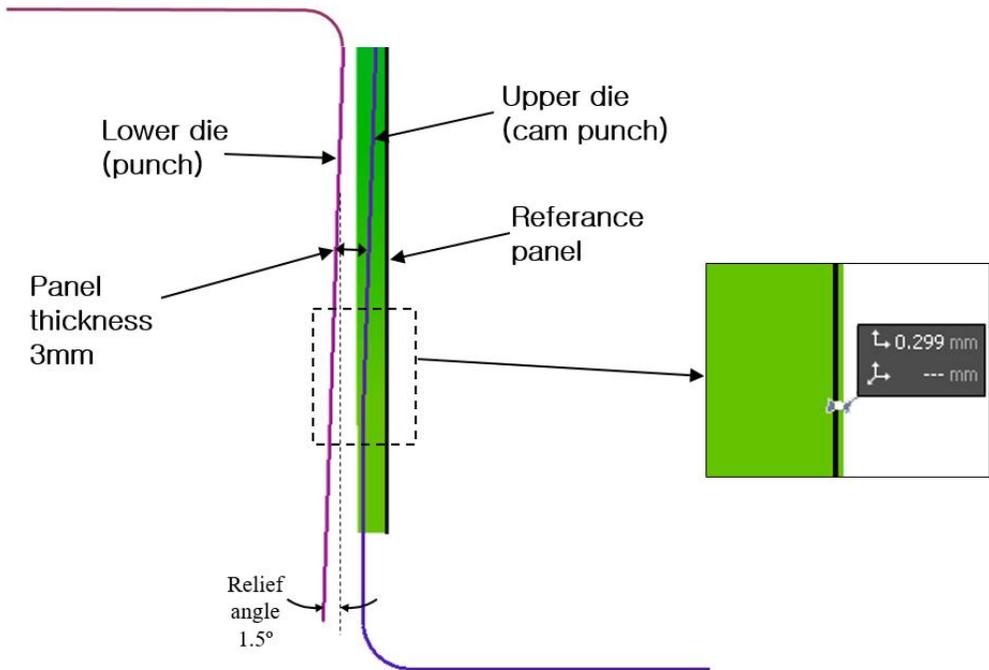


Fig. 16 Change the relief angle to 1.5 degrees

보정각도 수정을 끝으로 본 실험에 있어 문제 발생 시 문제를 해결 하는 방법에 대하여 알아보았다. 본 연구에 기본은 스프링 백 및 고에 대한 문제를 품질 육성 없이 개선된 금형에서 캠 스트로크 조절만으로 문제를 해결하는 것이다. 유한요소 해석 결과 캠 스트로크를 3 mm 로 설계하고 보정각도를 1.5° 도로 하였을 때 굽힘부 곡률반경 R값 에 크기를 달리 하더라도 대부분에 문제점은 캠 스트로크 조절만으로 해결이 되었다. 3 mm 설계에서 모든 문제점이 해결이 되었다면 이 연구에 대한 실험은 성공적이라 볼 수 있다. 하지만 상황에 따라 캠 스트로크 설계가 변경

이 될 수도 있고 캠 스트로크를 달리하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 비교하기 위해 4 mm 및 5 mm 캠 스트로크 설계에 대한 유한요소 해석도 같이 수행하였다. 해석결과 4 mm 및 5 mm 캠 스트로크 설계에선 많은 문제점이 도출되었다. 이를 해결하기 위해 문제점 해결 방법에 네 가지 해결방법을 활용하여 제 4 장 유한요소 해석을 이용한 스프링 백 및 고에 대한 결과 및 고찰에서 문제점을 풀어가고 해결 하는 과정을 정리 하고자 한다.

제 2 장 기본 이론

제 1 절 소성가공

1. 소성가공 (Plastic working) 이론

재료에 외력 (外力) 을 가하면 재료에는 변형 (Deformation) 이 생긴다. 재료에 가하는 외력의 크기가 탄성한도 (Elastic limit) 이내일 경우 외력을 제거하게 되면 변형 전의 상태로 복귀되며 이를 탄성변형 (Elastic deformation) 이라 한다.¹⁾ 소성변형 (Plastic deformation) 은 외력이 탄성한도보다 크게 작용하여 외력을 제거한 후에도 잔류변형(영구변형)이 남는 것을 소성변형이라 하며 이 성질을 소성 (Plasticity) 이라 한다. 재료의 소성을 이용하여 필요한 형상으로 강도, 연성, 탄성 등의 기계적인 성질을 개선하는 가공법을 소성가공 (Plastic working) 이라한다. 소성가공의 단점은 비절삭가공 (Chipless working) 이다 보니 절삭 (기계) 가공에 비해 생산속도, 생산비용 등의 유리한 장점이 있으나 제품의 치수정밀도, 표면에 정도 등에서 다소 떨어지는 단점이 있다. 소성가공의 종류는 작업방식에 따라 단조 (Forming), 압연 (Rolling), 인발 (Drawing), 압출 (Extrusion), 판금가공 (Sheet metal working), 전조 (Form rolling) 등으로 분류할 수 있다. 프레스금형에 의하여 제품을 가공하는 것을 대표적인 소성가공이라 할 수 있으며 금형에 의한 소성가공에 영향을 미치는 응력 (Stress), 변형, 가공경화 (Work hardening), 시효경화 (Age hardening), 등이 있다.²⁾

2. 응력 (Stress)

재료에 외력을 가하면 외력에 대응하여 재료 내부에 생기는 저항력 (Resistivity) 을 응력이라 하며 작용하는 외력의 종류에 따라 인장응력 (Tensile stress), 압축응력 (Compressive stress), 굽힘 응력 (Bending stress), 전단응력 (Shearing stress) 및 비틀림 응력 (Torsional stress) 등으로 분류한다. 이 응력의 크기는 단위면적당 작용하는 외력의 크기로 나타낸다. 재료에 외력이 작용하면 재료에는 응력이 발생하는데 항상 외력과 크기가 같고 반대 방향으로 작용한다. 재료가 외력에 견딜 수 있는 힘을 강도 (Strength)라고 한다. 강도는 재료의 단위면적당 가할 수 있는 최대의 외력의 세기를 최대강도 또는 파괴강도라 하고 (Breaking strength) 재료에 외력을 가하여 사용할 수 있는 한계의 강도를 허용강도라 (Allowable strength) 하며 프레스금형에서는 재료의 파괴강도를 이용하여 소재를 소성가공 한다. Fig. 17 은 하중 - 연신율 선도로서 항복점(Yield-point), 최대강도, 파단강도 등을 나타내 주고 있다. 소성가공에서는 재료가 영구변형을 하여야 하기 때문에 재료의 탄성한계 (Elastic limit) 이상의 힘을 가하여 변형시켜야 하며, 일반적으로 최대 강도를 많이 이용한다. 지룡의 강도 값은 재료에 따라서 값이 다르며, 응력과 같이 단위 면적당 견딜 수 있는 외력의 세기로 나타낸다. 재료에 가한 응력을 제거한 후에도 재료에 남아있는 응력을 잔류응력 (Residual stress) 이라 한다. 잔류 응력이 원인이 되어 소성가공에 의하여 완성된 제품이 변형되므로 잔류응력을 제거하여야 한다.²⁾

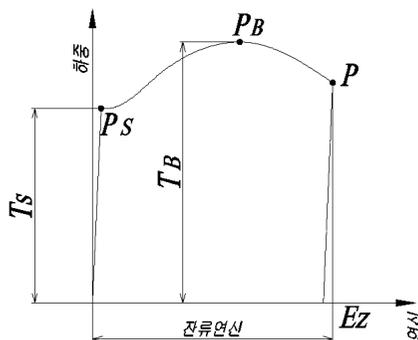


Fig. 17 Weight _ Elongation diagram

3. 변형 (Deformation)

소성이 가능한 재료에 힘을 가하면 재료에 응력이 발생하며 외력이 증가하면 재료는 변형하나 외력의 크기가 재료의 탄성한계 (Elastic limit) 보다 약하면 외력제거와 동시에 원래의 모양으로 돌아간다. 외력의 크기가 탄성한계를 넘어서면 외력을 제거하여도 변형이 남아있게 되는데 이것을 이를 영구변형 (Permanent set) 이라고 하며, 소성가공(Plastic working) 은 재료를 영구 변형시킨 것이다. 변형은 작용하는 외력에 따라 인장, 압축, 굽힘, 전단 및 비틀림 등으로 분류하고 제품을 가공하기 위한 변형은 복합변형에 의해 이루어진다.²⁾

4. 가공경화 (Work hardening)

소성이 가능한 재료를 상온에서 소성가공하면 재질이 단단해지고 항복점이 높아지는 현상을 가공경화 (Work hardening) 또는 변형경화 (Strain hardening) 라 한다. 가공경화의 정도는 가공내용 및 재질에 따라 다르며, 가공도가 높을수록 경화도가 크고, 재질에 대해서는 알루미늄과 그 합금, 동과 그 합금, 스테인리스강 등이 심하고, 저 탄소강은 거의 가공경화가 되지 않으며, 상온보다 낮은 재결정온도를 가진 금속은 가공경화가 되지 않는다. 특히 가공경화에 성질이 큰 재료를 여러 공정으로 소성 가공할 때는 중간에 풀림 (Annealing) 공정을 추가하여 풀림처리 후 가공을 하여야 된다. 소성가공 후 변형이 생기는 원인은 가공경화에 의한 잔류응력 때문이라 할 수가 있다.²⁾

5. 시효경화 (Age hardening)

시간이 경과함에 따라 금속 재료의 특성이 변하는 것을 시효 (Age) 라 하며 재료가 시간이 경과함에 따라서 경화되는 성질을 시효경화 (Age hardening) 라 한다. 금속 중에서도 시간이 경과하더라도 경화되지 않은 재료를 비시효성 재료라고 한다. 이러한 재료는 소성가공에 문제가 되지 않으나, 시효경화가 빠른 재료는 작업 공정

이 많고 시간이 많이 걸리는 소성가공에서는 시효경화에 의한 강도의 증가로 가공력이 많이 소요되고 가공성이 나빠지기 때문에 시효경화를 방지하면서 가공을 하여야 한다. 위에서 설명한 것은 소성가공에서 복합적으로 일어나기 때문에 가공저해 요인에 문제점을 고려해가면서 가공을 하여야 한다.²⁾

제 2 절 프레스금형의 종류 및 특성

1. 프레스금형의 정의

프레스금형 (Press die) 이란 동력원으로 프레스 기계 (Press machine) 를 사용하며 프레스 슬라이드 (Slide) 와 볼스터 (Bolster) 에 상형과 하형을 체결하고 그사이에 금속판재의 Blank (소재) 를 넣어 성형 및 전단시켜 원하는 형상에 제품을 만들어 내는 형틀을 말한다. 동일규격에 제품을 대량생산 할 수 있는 장점을 가지고 있으며 한 개의 제품을 만들어내기 위해선 기본적으로 블랭킹 (Blanking), 드로우 (Draw), 트림 (Trim), 플랜지(Flange), 리 스트라이크 (Restrike) 등에 공정을 거쳐야 된다.¹⁾⁻²⁾

2. 금형의 종류

금형의 종류는 작업방법 및 피 가공 재료의 종류에 따라 Table. 1과 같이 분류한다.

분 류	금형 종류	재료(소재)	재질(금형)
프레스금형	전단 밴딩 드로잉 압축 성형	금속 금속 금속 금속,비금속 금속	공구강,초경합금 공구강,주철 공구강,주철 공구강,초경합금
플라스틱(사출)금형	압축성형 이송성형 사출성형 진공성형 블로우성형	열경화성수지 열경화성수지 열가소성수지 열가소성수지 열가소성수지	경강 경강 경강 알루미늄연,경강 알루미늄연,경강

다이캐스팅 금형	-	응용합금, 아연합금 알루미늄, 주석 납합금, 마그네슘, 동합금	내열강
단조형	-	금속	단조형강
분말 야금형	-	금속분말	합금강 초경합금
요업형	-	요업분말	
고무형	-	고무	강, 주철, 알루미늄
유리형	압형	유리	주철, 내열강, 주철
주조금형	사출용형 셀몰드형 로스트왁스주조형 중력주조형 압력주조형	모래 수지혼입사 왁스 플라스틱 응용합금외	알루미늄, 포금, 주철 주철, 포금 강 주철

Table.1 Type of die processing²⁾

3. 프레스가공의 종류 및 특성

프레스가공 (Press working) 은 넓은 의미에서 소성가공의 대부분을 가리키며 좁은 의미로는 프레스기계 (Press machine) 를 이용한 소성가공을 말한다. 프레스 가공에는 그 종류가 많고 가공법 및 내용이 유사하지만 Table. 2 와 같이 분류한다.

프레스가공				
전단가공 그룹	굽힘가공 그룹	드로잉가공 그룹	압축가공 그룹	기타 가공 그룹
시어링	굽힘	드로잉	전방압출	별지가공
블랭킹	성형	리스트라이크	후방압출	스트레치드로포밍
슬리팅	버링	역드로잉	복합압출	가공
노칭	비딩	아이어닝	충격압출	하이드로포밍
트리밍	넥킹		업세팅	허프
분할전단	엠보싱		헤딩	
세이빙	플랜지		압인	
정밀 블랭킹			사이징	
루브링			스웨징	
피어싱				

Table.2 Type of press die processing¹⁾

4. 프레스금형 제작과정

자동차용 프레스금형의 제작과정은 보통 공법검토에서부터 금형 납기 에 이르기 까지 에 과정은 Fig 18 과 같다.

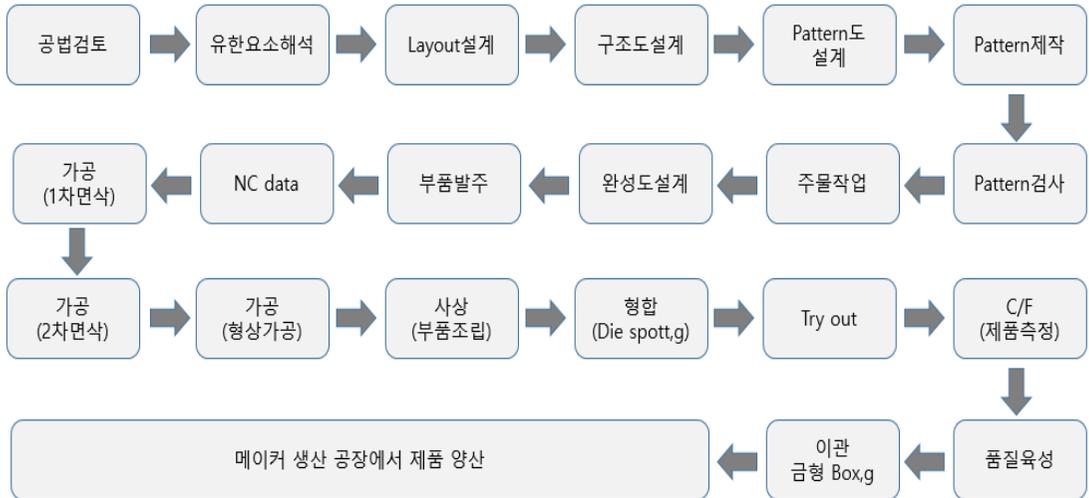


Fig. 18 Press die making process

제 3 장 스프링 백 개선 금형의 이론

제 1 절 굽힘 (Bending) 가공

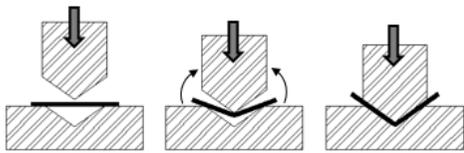
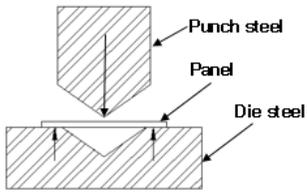
1. 굽힘 방식에 종류

굽힘 방식에 종류에는 (a) V-굽힘 (b) L-굽힘 (c) U-굽힘 (d) U-굽힘 패드 적용방식이 있으며 (e) 에 헤밍 (Hemming) 굽힘 방식이 있다. Fig. 19

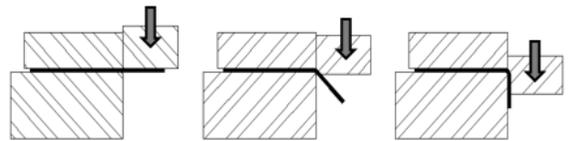
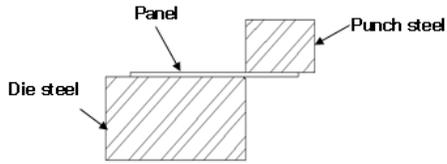
헤밍작업은 판재의 끝단을 접어서 포개는 공정이다. 제품의 강성을 높이고 외관

을 돋보이게 하며 날카로운 면을 없앨 수도 있다.

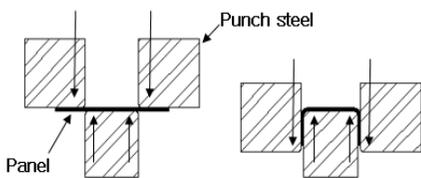
두 장의 판재를 겹쳐서 해밍을 하면 시밍(Seaming) 접합법이 되며 비슷한 공정으로 특정한 형상을 가진 롤러로 이중 시밍작업을 하게 되면 음식이나 음료용기에서 수분이나 공기가 새지 않도록 가공할 수 있다.



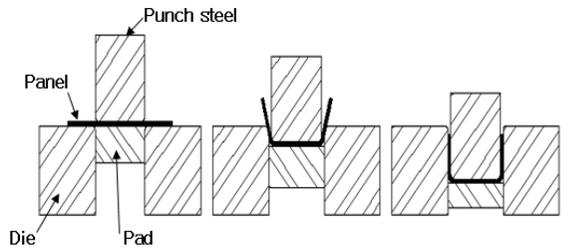
(a) V-Bending



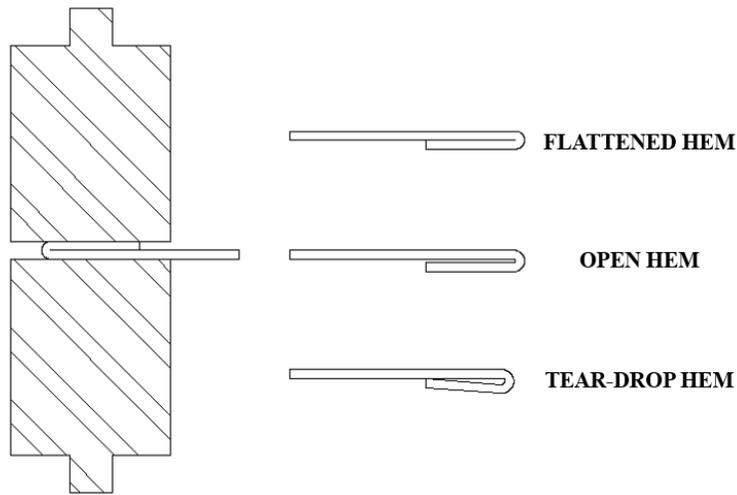
(b) L-Bending



(c) U-Bending



(d) U-Bending pad type



(e) Hemming-Bending

Fig. 19 Type of bending process ¹⁾⁻⁶⁾

2. 굽힘 변형

금형의 펀치와 다이 사이에 소재를 넣고 펀치에 힘을 가하면 펀치 축을 기준으로 소재나 내측은 압축력을 받고 외측은 인장력이 이루어진다. 이때 금속의 탄성이 있기 때문에 탄성한계 이하로 힘을 가한 후 제거하면 소재는 처음상태로 돌아간다.

소재에 굽힘 변형을 주기 위해서 탄성한계 이상으로 영구변형을 일으키도록 하는 것이 굽힘 변형이라 한다.

3. 최소 굽힘 반경 (R)

굽힘 반지름이 너무 작으면 재료가 늘어나는 바깥쪽의 표면에 균열이 생겨 가공이 불가능하게 된다.

이런 한계에 굽힘 반지름을 최소 굽힘 반경이라 한다. Fig. 20

$$R = R_b \times t \text{ (mm)}$$

R: 최소 굽힘 반경 (mm)

R_b: 굽힘 시험의 최소 굽힘 반경비 (R_b=R/t)

t: 가공 소재의 판두께 (mm)

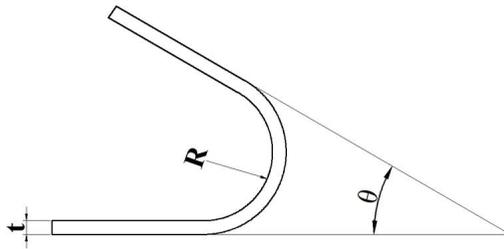


Fig. 20 Minimum bend radius¹⁾

Table. 3 은 최소 굽힘 반경에 대한 재질별 R_b 값이다.

재료	상태	R _b	재료	상태	R _b
극연강	압연	0.5이하	황동	연질	0.5이하
반경강	압연	1.0~1.5	알루미늄	압연	1.0이하
스테인레스강	연질	0.5	마그네슘합금	풀림	4.0~5.0
스테인레스강	1/4경질	0.5~1.5	두랄미늄	연질	1.0이하
동		1.0~2.0	두랄미늄	경질	3.0~4.0

Table. 3 Minimum bend radius of the various materials³⁾

제 2 절 스프링 백 개선금형의 기구학 해석

1. 스프링 백 (Spring back)

굽힘 가공에서 탄성한계 이하의 힘을 가하거나 그이상의 힘을 가하여도 소재가 원상태로 돌아가려는 성질이 있다. 굽힘 가공된 제품과 대상물의 각도는 약간의 차이가 발생하는데 이를 스프링 백이라 한다. 특히 크기의 소재 두께 굽힘 반경 및 가공조건에 따라 다르지만 스프링 백의 양이 적을수록 제품의 정밀도가 높아지며 연질보다 경질이 스프링 백의 양이 크다. Fig. 21

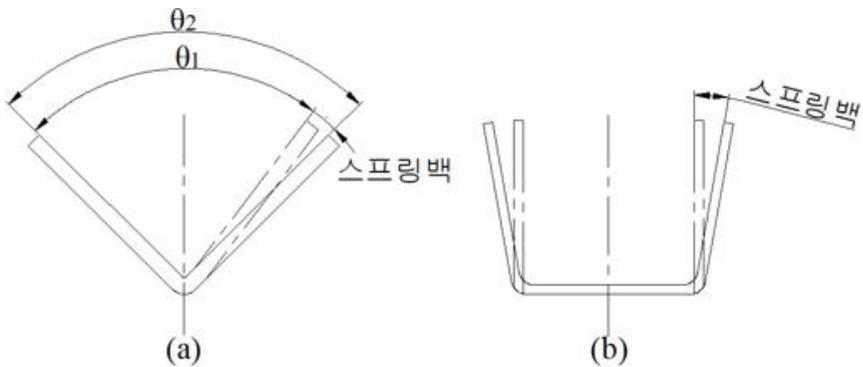


Fig. 21 Concept of Spring back ¹⁾

2. 굽힘 금형 (Bending & flange) 정의

프레스 작업에서 많이 하는 작업 중의 하나로 제품을 만들기 위해 드로잉 하여 성형시킨 제품의 불필요 부위를 전단 가공한 후 제품의 끝 부분을 굽혀서 밴딩 또는 플랜지 시키는 가공이며 평판의 직선부분에 플랜지 할 경우에는 직선 굽힘이지만 플랜지가 외측으로 향할 때는 압축플랜지 내측으로 향할 때는 신장플랜지 가공이 된다.¹⁾

굽힘을 포함하여 성형가공을 할 때 현저한 특징은 판에 발생하는 응력이 국부적으로 한정되는 것이다. 따라서 이 국부적인 응력이 펀치와 다이의 각 부분에서 제한되어 있어 잔여 부분은 거의 응력이 발생하지 않는다.¹⁾

3. 설계순서

금형 금형에 설계 순서 및 내용은 메이커 별 설계표준에 따라 다르지만 기본적인 사항은 다음과 같다.

하형 평면도⁶⁾

플로팅 된 제품도와 초기에 그려진 제품도가 일치하는지 확인을 한다. 제품이 한 금형에서 두 개가 생산될 경우 제품의 RH 및 LH를 확인하여야 하며 제품의 축척, 및 이송방향등을 정해야 한다. 제품의 Set-up 상태가 Lay out 도와 일치하는지 확인한다.

밴딩 이나 플랜지 금형의 작업부 라인은 굵은 선으로 도시한다. 금속인서트 (Steel insert) 를 배치하고 자리면 및 가공한계를 표시한다.

금형공정에 필요한 항목들을 평면도에 옮긴다. 제품 위치 게이지 (Gauge) 또는 파일롯 핀 (Pilot pin) 을 설치하고 가이드 힐 (Guide heel) 을 배치한다. 우레탄 셋팅 블록을 설치하고 설치부 하단에는 반드시 보강리브 (Rib) 를 적용한다. 금형 외각 크기를 결정한다. 기본적으로 금형의 크기는 강도를 고려하여 작게 설계하여야 하며 불필요 부위는 강도상 문제가 없을 경우 여유 (Relief) 처리한다.

U-클램프 (Clamp) 자리면을 도시한다. 프레스 표준을 참고하여 정확한 위치에 그려야 하며 금형이 크기가 클 경우 최소 3군데 이상 설치 적용한다.

후크 (Hook) 와 키홈 (Key home) 을 도시하고 후크는 기본 4개를 기준으로 금형의 중량을 고려하여 후크 사이즈를 결정한다.

금형의 중량은 = 가로 x 세로 x 높이 (Shut height) x 총진율 x 비중(7.85)로 적용한다. 전기 배선용, Air 배관관용, 기계가공 간섭 방지용, 웨어 플레이트 (Wear plate) 갭(Gap) 측정용, 주물경감용 등 각종 기능성 코어 (Core) 를 적용한다.

상형평면도⁶⁾

기본적인 사항은 하형과 같으며 제품플로팅 및 공정에 필요한 항목들을 평면도에 옮기고 금속 인서트 (Steel insert) 를 배치한다. 패드 (Pad) 및 상, 하 금형 가이드용 웨어 플레이트를 적용하고 측정용 코어를 도시한다. 금형 외각 크기를 결정한다. 스프링 자리면 및 U-클램프 자리면을 도시한다. 후크 와 키홈 및 각종 코어를 도시한다.

4. 스프링 백 개선금형의 구조 및 작동 방법

가. 스프링 백 개선 금형의 구조

Fig. 22 는 스프링 백 개선 금형의 기본 구조이다.

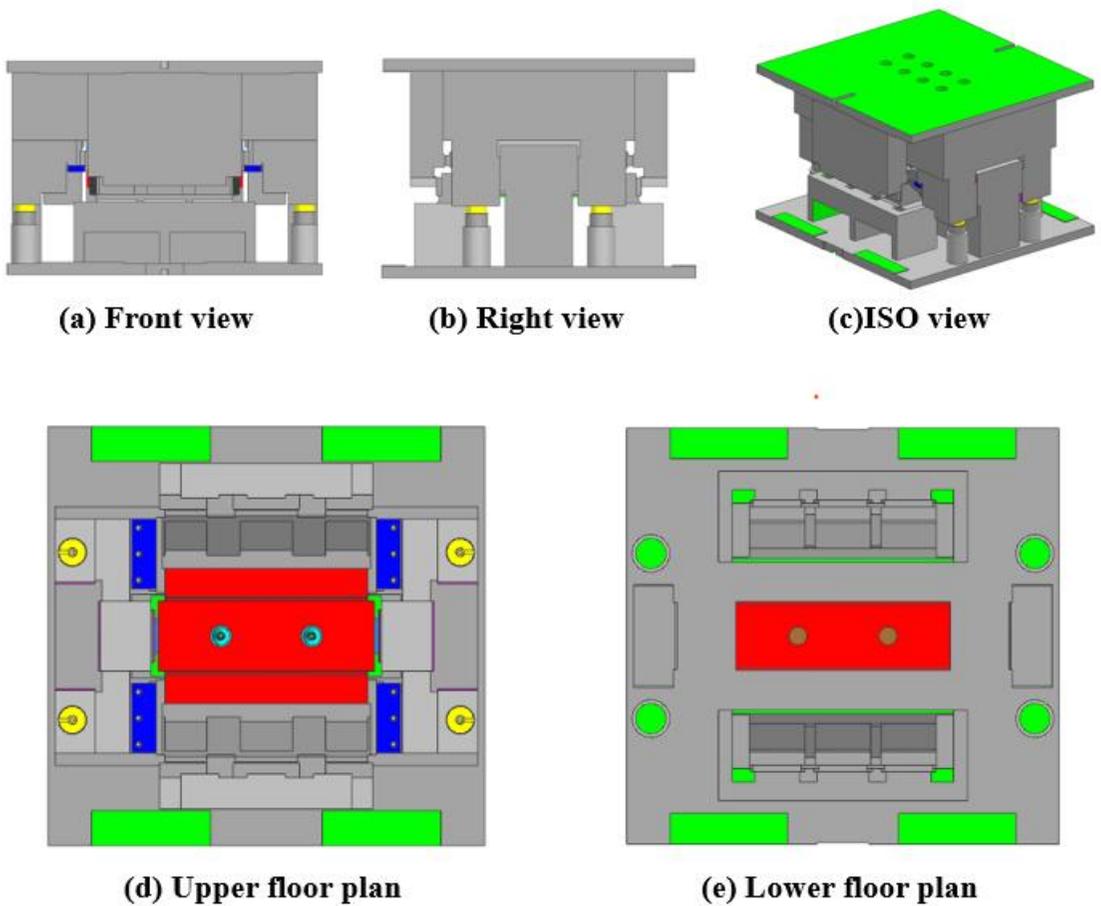


Fig. 22 Spring back improvement mold basic structure

나. 스프링 백 개선 금형의 작동원리

Fig. 23은 스프링 백 개선 금형의 단면도 이다. 개선 금형에 핵심 부품인 캠 장치가 적용되어있다. 상형 캠 펀치 (Upper cam punch) 는 캠 슬라이드 (Cam slide) 에 조립되어 고정이 되고 캠 슬라이드 (Cam slide) 는 상형 (Upper die) 에 조립되어 좌, 우로 작동이 가능하다. 캠은 성형 작업 전 리턴 스프링 (Return spring) 에 의하여 캠 (Cam) 에 스토로크 (Stroke) 만큼 리턴 되어 있으며 이를 제어 하는 부품은 캠 스토퍼 블록 (Cam stopper block) 이다. 금형이 작동하고 소재를 성형 하는 방법은 첫 번째로 상형 패드(Upper pad)가 내려와 하형 펀치 (Lower punch) 위에 놓여 있는 소재 (Panel) 를 눌러 압력을 가하면서 소재를 견고하게 고정을 시킨다. 이 과정이 소재를 굽힘 성형하기 전 1차적인 단계이다.

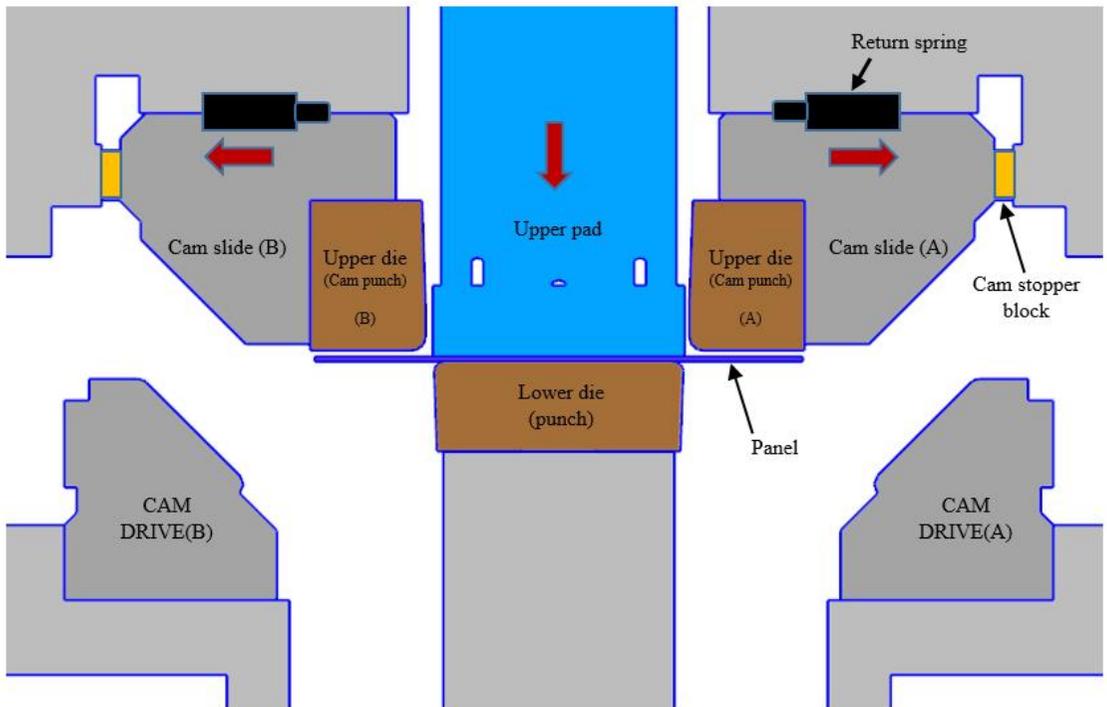


Fig. 23 Cross section of mold & operation method

그 후 상형 캠 펀치가 내려와 소재를 굽힘을 가하는 것이다. Fig. 24 는 1차 성형이 끝난 상태이다. 1차 성형에 완료되는 기준은 상형 캠 슬라이드 와 하형 캠 드라이브 가 터치된 상태를 기준으로 한다. (a) 는 캠이 작동하는 2차 성형 전 상태이고 이때 상형 캠 스틸과 하형 펀치 사이에 소재 두께 + 캠의 스트로크만큼 에 틈 (Gap) 이 생기게 된다. 2차 성형은 상형 캠이 하형 캠 드라이브 터치 후 가이드면 (Guide face) 을 따라 캠이 설계된 스트로크만큼 이동하고 2차 작업이 완료된다.

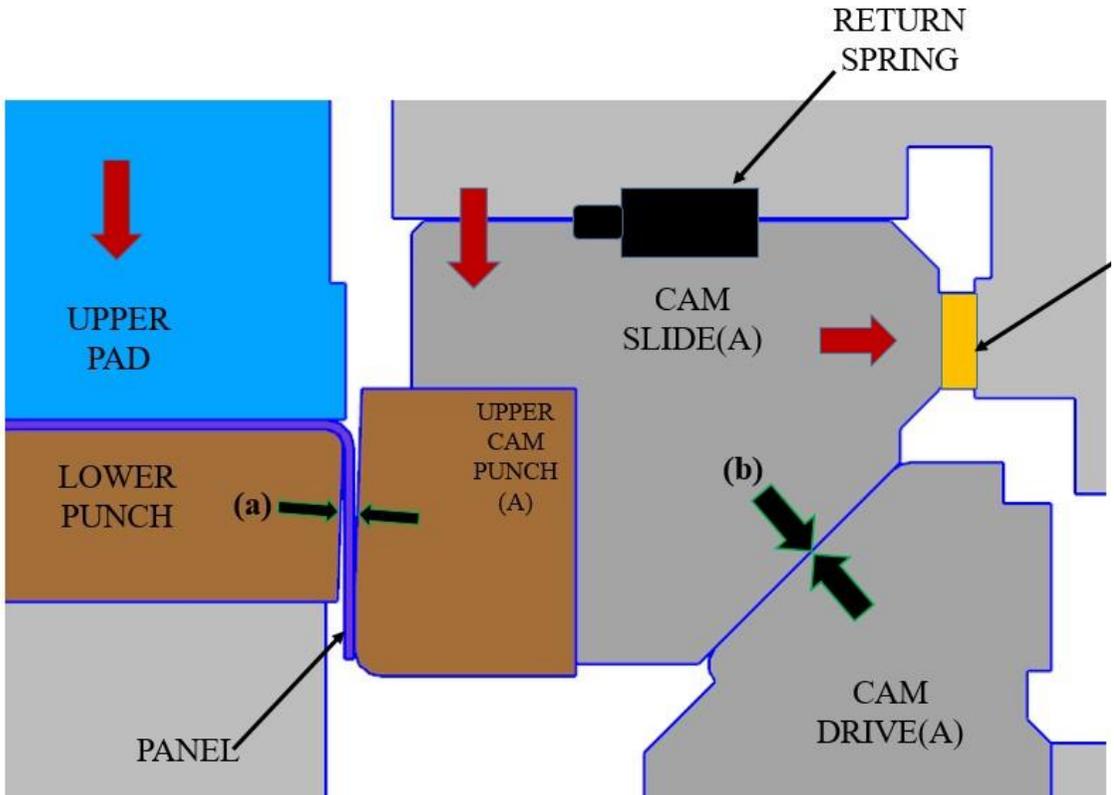


Fig. 24 Operation method of cam

Fig. 25 는 캠에 스트로크를 제어 하는 방법이다. 캠에 스트로크를 완전히 다 사용하여 캠이 버텀 (Bottom) 되었을 때 (c) 캠 스톱퍼 블록에 갭 (Gap) 이 생기는데 이는 캠 스트로크 와 동일한 수치이다. 캠의 스트로크 제어는 (e) 와 같이 금형 외곽에 조립되어져 있는 스트로크 엔드 블록 밑에 얇은 박판을 고여 스트로크를 제어 하는 것이다. (d), (f) 와 같이 캠에서 최대로 사용할 수 있는 스트로크가 3 mm 이고 스트로크 엔드 블록 밑에 0.1 mm 에 박판을 고이게 되면 금형을 완전히 닫았을 때 박판에 의해 캠은 0.1 mm만큼 덜 내려오게 되고 캠은 하형에 Cam drive 를 타고 전진하여 소재에 2차 성형을 가할 때 캠 스트로크 3.0 mm 를 다 사용하지 못하고 박판에 두께 만큼 -0.1 mm 하여 2.9 mm 만 사용하게 되는 것이다. 참고로 설계는 캠을 완전히 다 사용하여 버텀 시켰을 때 제품이 스프링 고 상태가 되게끔 설계가 되어있고 해석을 통해 값을 도출하여 Fig. 25 에 (e) 와 같이 박판을 고여 스프링 백 상태로 만들어 공차 기준을 맞춰 나가는 것이다.

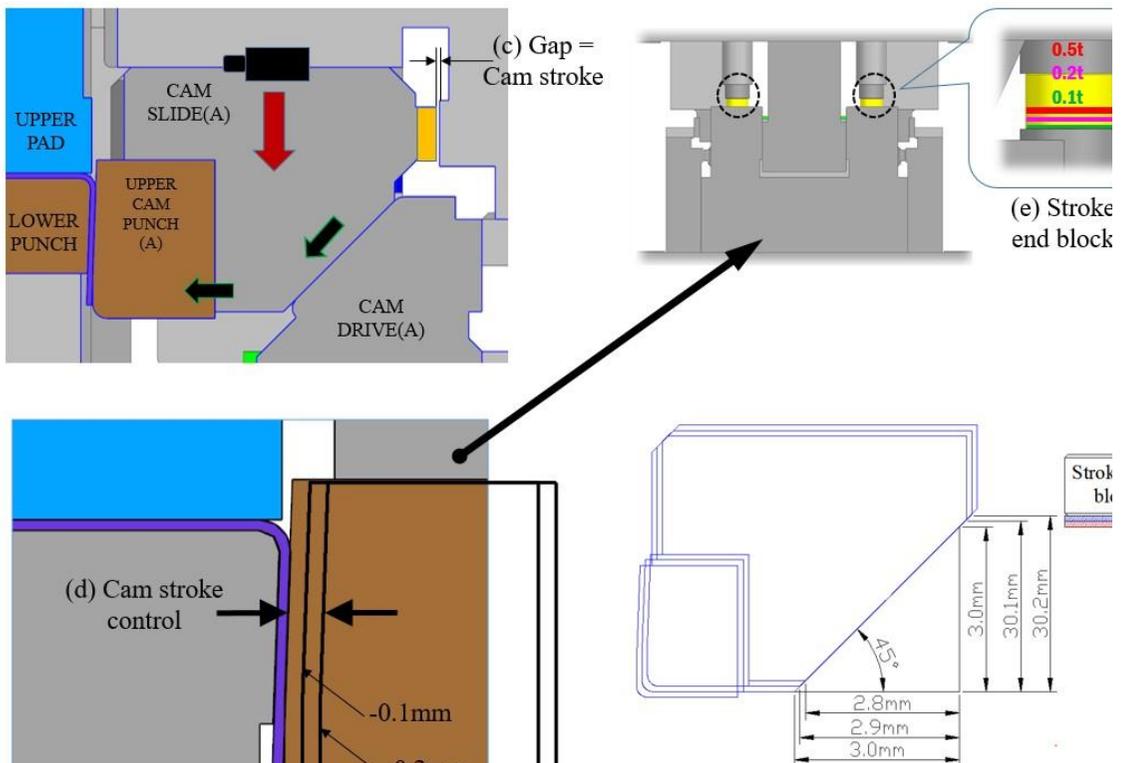


Fig. 25 Control cam using stroke end block

제 4 장 유한요소 해석을 이용한 스프링 백에 대한 결과 및 고찰

제 1 절 DP590 물성 해석 결과 및 분석

1. 탄소성 유한요소 해석

본 연구에선 스프링 백 개선 금형을 설계 하였고 이를 검증하기 위해 고장력 강판인 DP (Dual Phase) 590 강판을 적용하여 유한요소 해석을 통하여 검증하였다. 고장력 강판의 경우 인장강도가 증가되지만 최대 변형률이 감소하여 대변형을 요구하는 성형 공정에선 적용이 쉽지가 않다.¹⁰⁾¹¹⁾ 또한, 항복강도증가에 따른 탄성 구간이 증가하여 판재 성형 후 스프링 백량이 현저하게 증가한다. 그렇기 때문에 고장력 강판을 이용한 프레스 성형은 제품의 탄성회복에 의한 스프링 백을 고려하여 금형 설계를 수행하여야 한다.¹²⁾ DP 590 급 고장력 강판의 경우 인장강도가 590 MPa 내외이고 최대 연신율이 20% 미만으로 제품으로 본 연구에서 실험할 제품의 모양은 Fig. 26 과 같다.

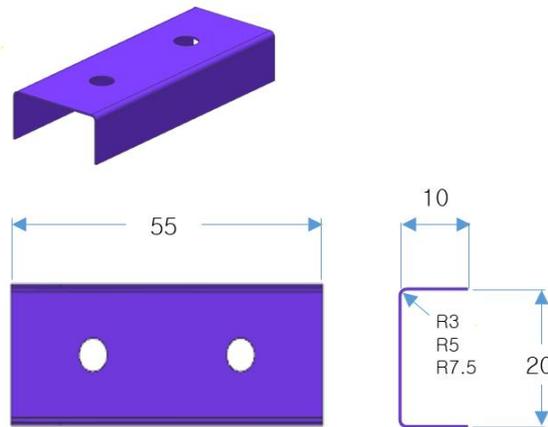


Fig. 26 Molding analysis using DP590 panel

3차원 탄소성 유한요소 해석 프로그램은 Auto form R7 을 이용하였다. 성형용 판재 두께는 각각 3.0 mm, 이며 굽힘부 곡률 반경 (R) 은 3R 과 5R, 7.5R 을 적용하여 테스트 하였다.

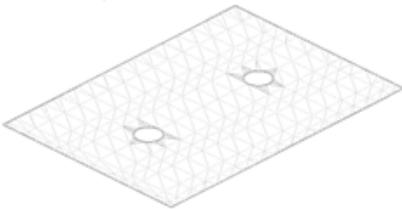


Fig. 27 Design and initial mesh structures of blanks

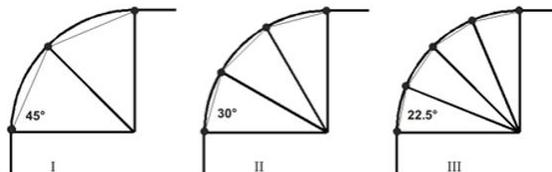


Fig. 28 Final mesh of the finished product

Fig. 27 은 초기 블랭크 형상이며 Fig. 28 은 성형이 완료된 형상이다. 블랭크에 유한요소격자 생성은 Auto form R7성형 해석 프로그램을 이용하였다. 블랭크 삼각형 쉘요소 (Triangular shell element) 는 Fig. 29 와 같이 메쉬 (Mesh) 에 최대각도는 FV (Final validation) 그리고 격자 재생성 수준은 6으로 선정하여 최대한 타이트 (Tight) 하게 해석을 진행하였으며 블랭크의 초기 및 최종 요소 수들은 Table. 4 와 같다.

2. Max Element Angle

- Case I: Max Element Angle = 45°
- Case II: Max Element Angle = 30° (CE or CE+)
- Case III: Max Element Angle = 22.5° (FV)



3. Max Refinement Level

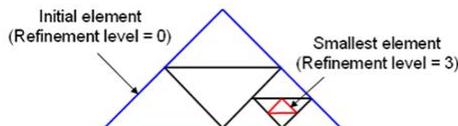


Table. 29 Engineering phase and Max refinement level

Status	Element (EA)	Node (EA)	Refinement Level
Initial	1811	971	6
Final	19598	9013	6

Table. 4 Number of meshes and those refinement level

2. DP590 재료 물성

Fig. 30 과 Table. 5 는 유한요소 해석 프로그램 Auto form R7 에서 도출된 진응력-진변형률 곡선 과 기계적 물성 데이터이며 DP 590 기계적 물성은 물성 계산 프로그램인 JMat pro를 이용하여 도출하였다.¹⁶⁾

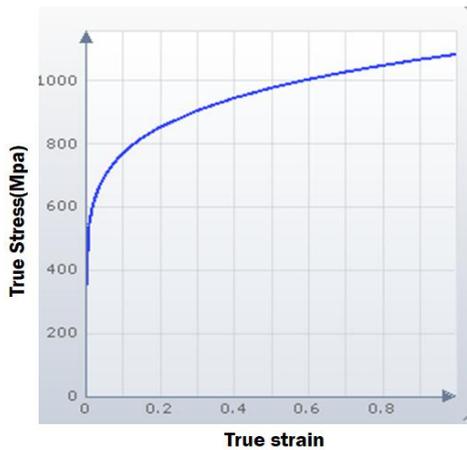


Fig. 30 Stress-strain relationship of DP590 high strength steel sheet

Young's Modulus (GPa)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Poisson's Ratio
210	355	703.5	0.33

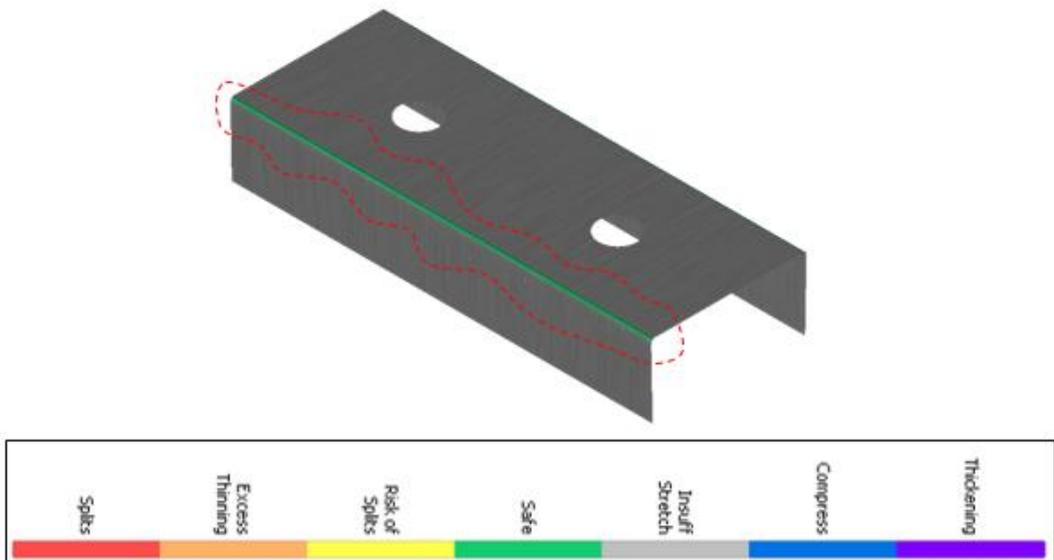
Table. 5 Mechanical properties of DP 590 high strength steel sheet

3. 성형성

제품은 비교적 단순한 U자 형태이며 성형이 이루어지는 부분은 좌, 우측에 굽힘부 정도이다. 각각 성형이 이루어지는 굽힘부 (R) 값을 3R, 5R, 7.5R 로 달리 하고 캠의 스트로크는 3 mm, 작업부 릴리프각도는 1.5°도, 그리고 패드 스트로크는 120 mm를 기준으로 하여 성형이 이루어지는 굽힘부 (R) 에 발생하는 인장 및 압축에 변화 그리고 주름 (Wrinkle), 네킹 (Neck), 크랙 (Crack) 등에 문제점이 발생하는지 확인하도록 한다.

가. 굽힘부 곡률반경 R3 성형성 테스트

Fig. 31 은 굽힘부 곡률반경 R3 에 대한 성형성 결과이다. 성형이 이루어지는 R 값이 비교적 적은 편에 고장력 강판인 DP590 을 사용하였지만 그림에서 알 수 있듯이 주름 (Wrinkle), 네킹 (Neck), 크랙 (Crack) 에 문제가 발생되지 않았으며 Fig. 31 의 FLD 성형한계도 에서 확인할 수 있듯이 굽힘을 가하였을 때 약간에 인장이 발생하였음을 알 수가 있다.



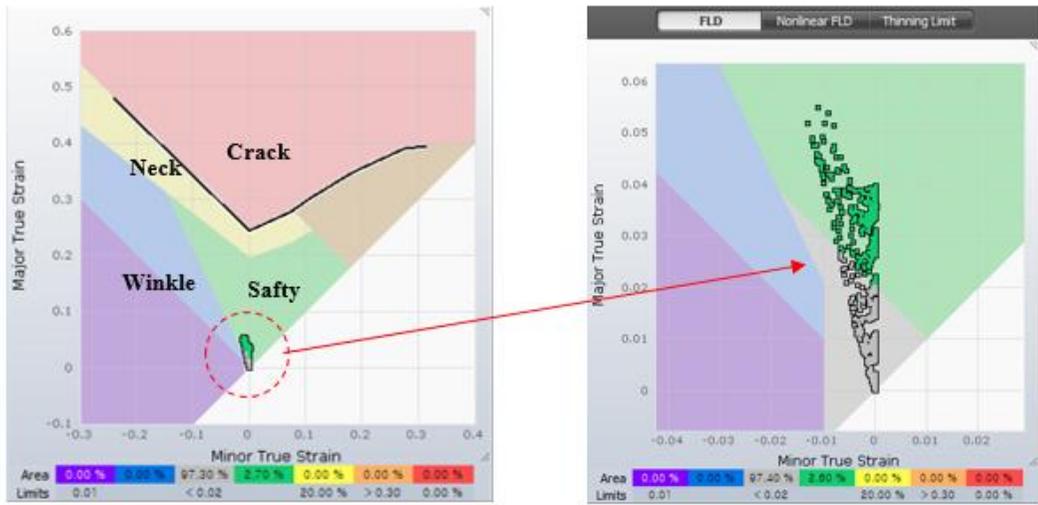


Fig. 31 Formability of bending area R3 test

나. 굽힘부 곡률반경 R5 성형성 테스트

다음은 곡률반경 R5 에 대한 성형성 결과이다. Fig. 32 FLD 도표에서 확인할 수 있듯이 굽힘 성형으로 인한 압축 과 인장이 거의 발생하지 않은 회색영역에 분포되어 있는 결과가 도출되었다. 이는 이전 R3에 비하여 R값이 커진 것도 영향이 있지만 소재에 굽힘을 가할 때 소재를 좌, 우에서 고정시켜 인장을 하는 것이 아니며 Page. 28 에 개선된 금형에 구조와 같이 상형패드가 수직으로 내려와 눌러 소재의 중심부에 압력을 가하고 소재가 이탈하지 못하도록 한 다음 각각에 상형 캠 펀치가 소재의 좌, 우에 단순하게 굽힘만 가하기 때문에 성형성 부분에 있어 R3 과 R5 에 결과가 도출되는 것으로 사료된다.

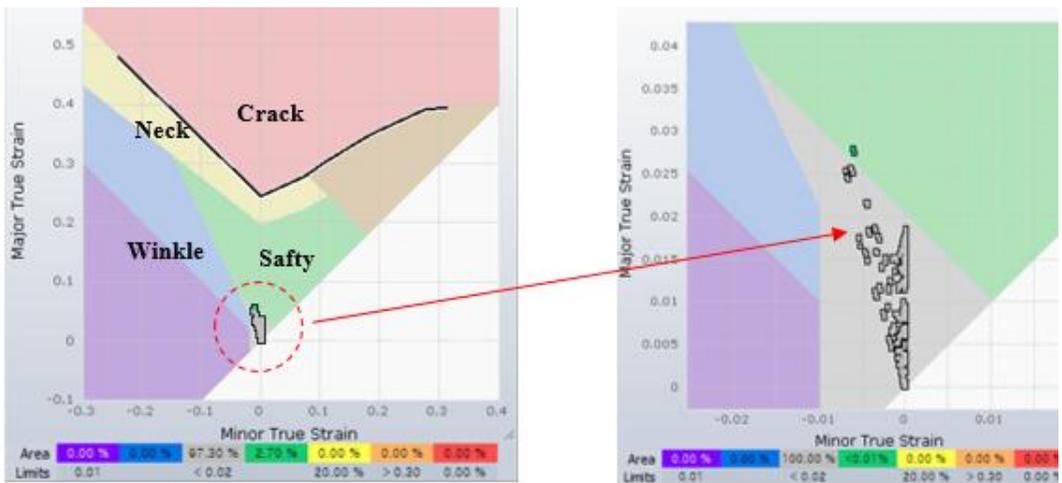
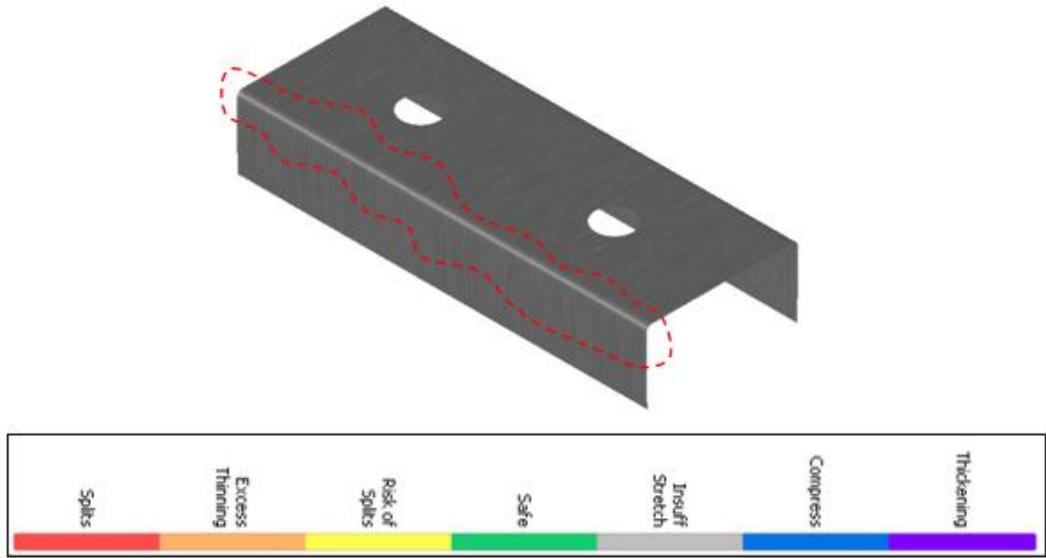


Fig. 32 Formability of bending area R5 test

다. 굽힘부 곡률반경 R7.5 성형성 테스트

다음은 마지막으로 굽힘부 R7.5에 대한 성형해석 테스트 결과며 R5와 비슷한 결과를 보이고 있다. Fig. 33

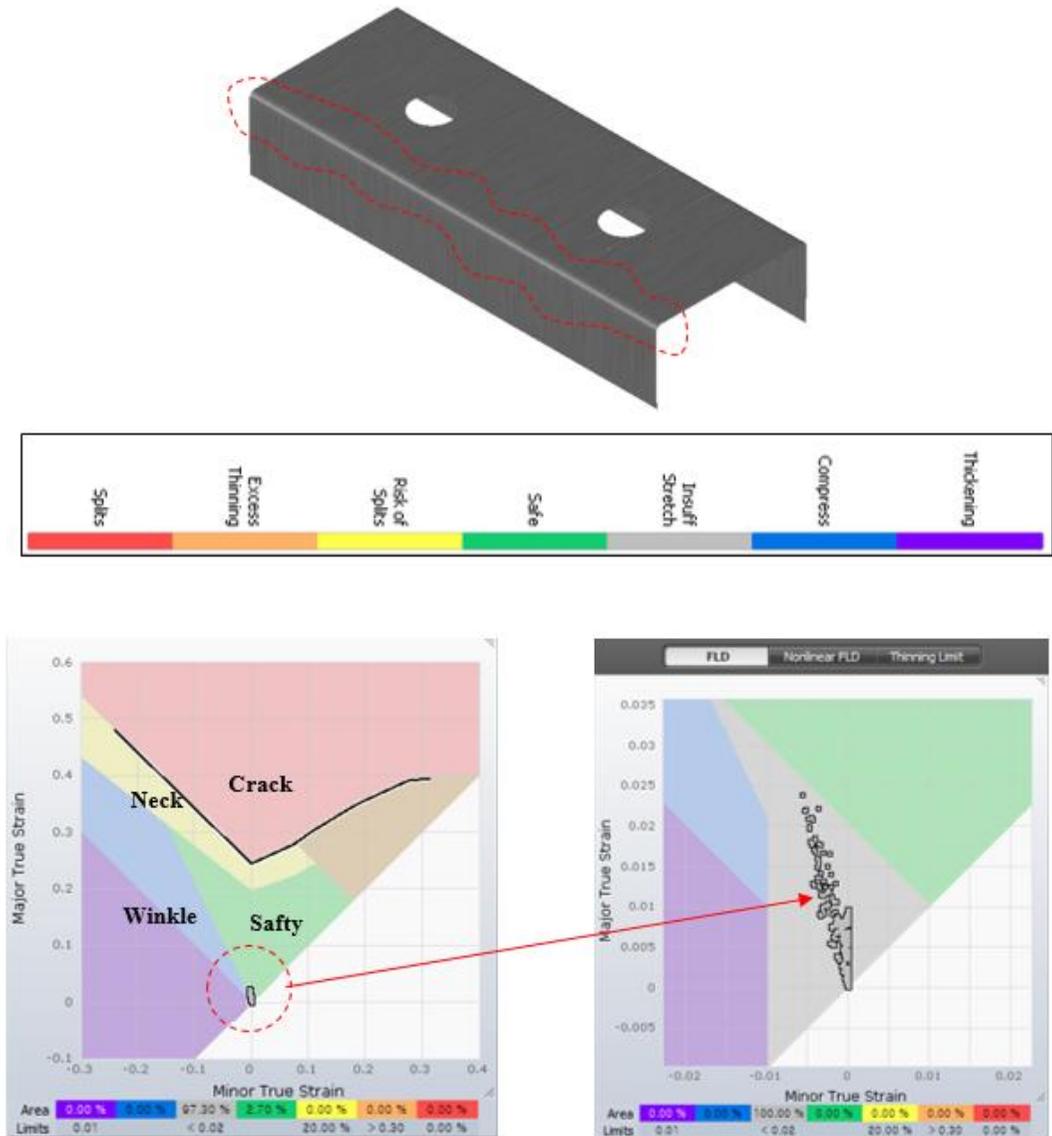


Fig. 33 Formability of bending area R7.5 test

4. 캠 스트로크 크기에 따라 소재를 성형하는데 발생하는 힘에 대한 결과 분석

캠 스트로크 (Cam stroke) 는 Fig. 34 와 같이 상형펀치 (Upper punch) 와 하형펀치 (Lower punch) 간의 틈새 (Gap) 을 뜻하기도 한다. 이 상형펀치는 소재에 굽힘 (Bending) 작업을 주는 역할을 하며 하형 캠 드라이브 (Lower cam drive) 가이드면 (Guide face) 에 닿기 전까지 가스 스프링 (Gas spring) 에 의해 리턴 (Return) 되어 있다. 1차적으로 수직으로 내려와 소재에 굽힘 작업을 끝내고 하형 캠 드라이브 면에 터치하고 내측으로 전진 하여 2차적으로 소재의 양 날개를 한 번 더 다져 눌러 주는 역할을 한다. 본 실험에선 이 캠의 스트로크를 각각 3 mm, 4 mm, 5 mm 로 하였을 때 프레스 기계 (Press machine)에 발생하는 힘 (Force) 에 어떤 변화가 일어나는지 알아 보도록 한다.

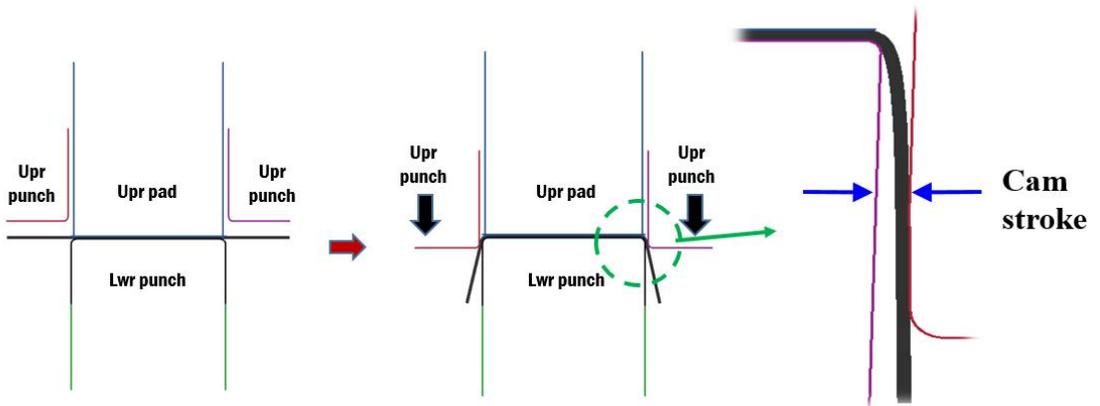


Fig. 34 Gap between upper punch and lower punch

Fig. 35 는 캠 스트로크 각각 3 mm, 4 mm, 5 mm 적용하고 소재를 성형할 때 발생한 힘에 대한 결과이다. 테스트 조건은 굽힘부 곡률반경 3R로 적용하고 소재의 두께는 3 mm 그리고 보정각도 (Relief angle) 와 패드 스트로크 (Pad stroke) 는 각 1.5° 와 120 mm 로 하여 유한요소 해석 테스트를 수행 해 보도록 한다.

첫 번째로 패드 (Pad)에 발생한 힘 (Force) 을 살펴보면 틈새가 가장 협소한 3

mm 에서 661 kN 그리고 4 mm 에선 651 kN 마지막으로 틸새가 가장 큰 5 mm 에서는 659 kN 에 힘이 발생되었다. 3 mm에서 가장 큰 힘이 발생되었는데 이는 소재가 성형되는 작업부인 상, 하형에 틸새가 협소할수록 부하가 걸리게 되어 순수하게 상형 패드에만 적용되는 가장 큰 힘을 요하는 것으로 보이며 4 mm, 5mm 의 경우는 아래 네 번째 실험에서와 같이 2차 성형 시 발생하는 캠의 힘에 비례하게 패드에 힘 또한 증가한 것으로 사료된다. Fig. 35

두 번째로는 캠 펀치 (Cam punch)에 발생하는 힘이 어떠한가 알아보기로 한다. 참고로 캠 펀치 (C-punch) 와 캠 (cam)은 설계상 같은 부품이고 해석상 명칭을 달리 하였을 뿐이다. 그리고 이 캠 부품은 좌, 우 대칭으로 설계되었기 때문에 C-punch 1의 결과에 대한 결론만 내리기로 한다. 캠 스트로크 3 mm 일 때 115.7 kN 에 힘이 발생되었고 4 mm 일 때 115.1 kN 그리고 5 mm 에서 93.9 kN 에 힘이 발생되었다. 캠 펀치에 발생하는 힘은 캠의 스트로크가 협소한 3 mm 일 때 가장 큰 힘이 발생되었고 4 mm, 5 mm 순으로 발생된 힘에 크기가 비례하게 감소 한 것을 볼 수가 있다.

세 번째는 하형 다이 펀치 (Lower die punch)에 대한 결과이다. 3 mm 일 때 893 kN, 4 mm 에선 882 kN, 마지막으로 5 mm 에선 847 kN 에 결과가 도출되었다. 이 결과도 캠 펀치 와 마찬가지로 3mm 스트로크 일 때 가장 많은 힘이 발생되고 4 mm, 5 mm 수순대로 힘의 크기가 감소되는 걸 확인 할 수가 있었다.

마지막으로 네 번째 실험으로 상형 캠 펀치가 수직방향으로 내려와 1차 굽힘 작업을 끝내고 2차 작업으로 하형 캠 드라이브 면에 터치 후 내측으로 가이드 되며 1차 적으로 굽힘 된 소재의 좌, 우 측면에 2차적인 성형을 가하게 되는데 이때 캠 펀치에 발생하는 힘에 대해 알아보도록 한다. 유한요소 해석 결과 3 mm 는 186 kN 의 힘이 발생되었고 4 mm 의 경우 195 kN 그리고 마지막으로 5 mm 는 213 kN 이란 힘이 발생되었다. 내용에 결과는 캠에 스트로크 즉 상형 펀치와 하형 펀치의 틸새 가 클수록 발생하는 힘이 커진다는 것이다. 이러한 결과에 대해 해석을 하자면 1차 성형 때 상형 캠 펀치가 수직으로 내려와 굽힘을 가하는데 틸새가 클수록 성형이 불안정하게 이루어지고 특히 Fig. 35와 같이 틸새의 크기가 커질수록 굽힘부 R에 성형이 불안정한 상태로 탄성에 의한 스프링 백 현상이 커지게 되고 현 상태에서 상형 캠 펀치가 측면으로 다시 한 번 성형을 가하게 되면 캠 에 발생하는 힘이 커지는 것으로 사료된다.

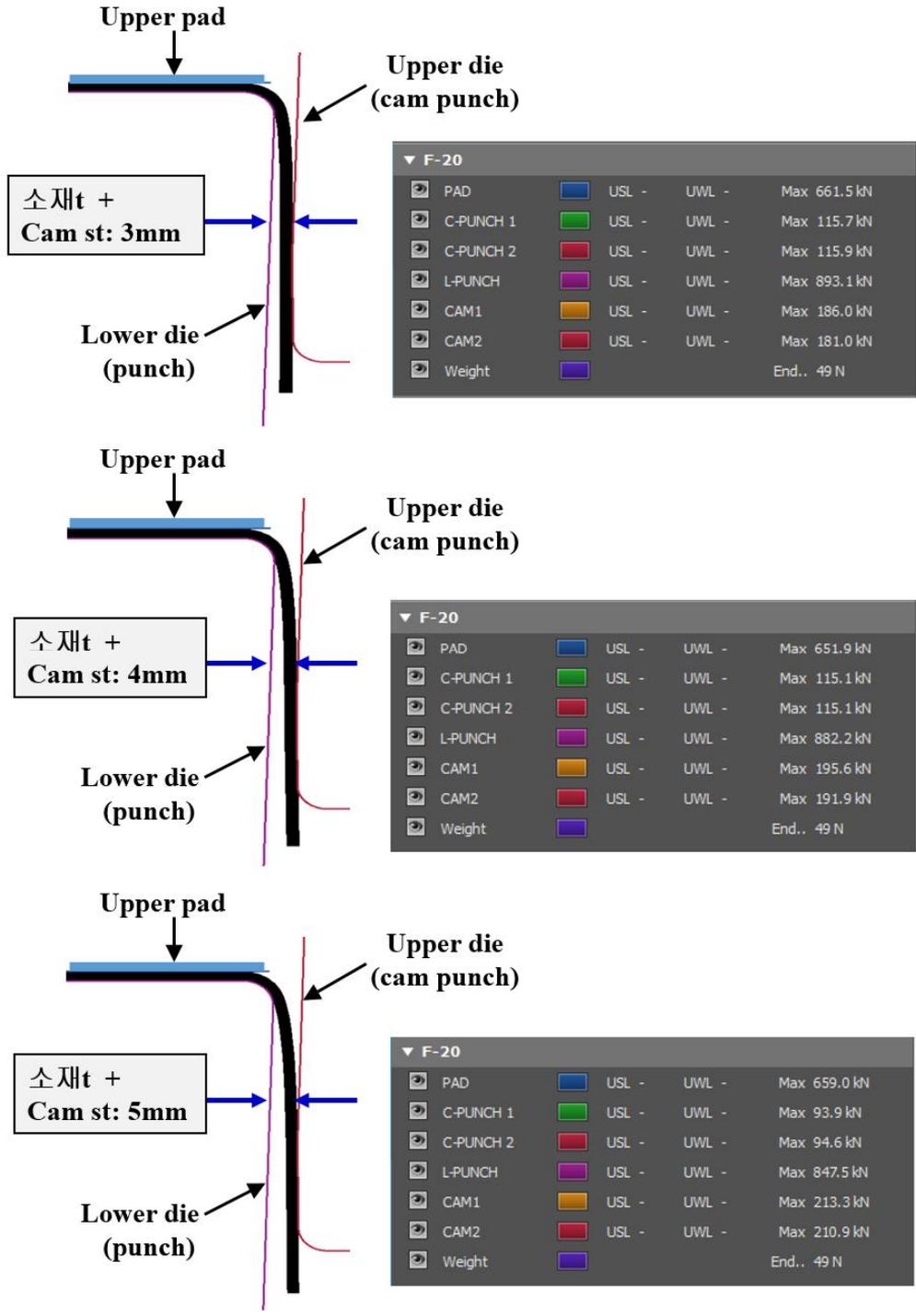


Fig. 35 Formability test according to each cam stroke

5. 굽힘부 곡률반경을 R3 에 대한 해석 결과 및 분석

본 연구에서는 U자 형태를 가진 제품에서 주로 발생하는 스프링 백 및 스프링 고에 대한 문제점을 품질육성을 거치지 않고 금형자체에서 바로 수정할 수 있도록 개선 금형을 설계하였다. 이를 검증하기 위해 유한요소 프로그램인 Auto form R7 을 이용하여 실험에 대한 결과를 도출하고 내용을 분석하였다. 실험에 재료는 고장력강재인 DP (Dual phase) 590 물성을 사용하였으며 소재에 성형이 이루어지는 굽힘부 곡률반경 R값을 각각 R3 과 R5, R7.5 로 나뉘었고 소재의 두께는 3 mm 로 선정하였다. 캠의 스트로크는 3 mm, 4 mm, 5 mm 로 설계를 하였다. 각각의 캠 스트로크 마다 보정각도를 1.5° 도, 1.0° 도, 0.5° 도로 적용하여 유한요소 해석 테스트를 하고 각 보정각도 마다 패드의 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 변경하였을 때 어떠한 변화가 발생하는지 그리고 스프링 백 및 고에 대한 문제점을 해결할 수 있는지 실험을 해보기로 한다.

가. 캠 스트로크 3 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

첫 번째 실험으로 3 mm 스트로크로 설계된 캠에 보정각도 (Relief angle) 는 1.5° 도로 적용하고 패드 스트로크 (Pad stroke) 를 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한요소 해석 실험을 수행하여 보기로 한다. 캠 스트로크 3 mm 를 다 사용하고 캠을 완전히 버텀 시켰으며 패드 스트로크를 120 mm 적용하였을 때 유한요소 해석에 대한 결과 값은 Fig. 37과 같이 스프링 고 상태인 -1.9 mm 에 값이 도출되었다. 제품에 정도를 잡기위해 -0.1mm씩 캠 스트로크를 제어하여 해석 테스트를 수행하였고 캠에 갭 (Gap) 을 -0.3mm 하였을 때 스프링 고 상태인 -0.3 mm 에 값이 도출되었다. 공차기준 $\pm 0.5\text{mm}$ 이내에 들어와 공차 기준에 합격 되는 결과가 도출되었다. 여기에서 캠 스트로크에 갭을 주었다는 말은 캠에 스트로크 설계를 3 mm 로 하였을 때 스트로크를 모두 사용하여 캠을 완전히 버텀 (Bottom) 시키지 않고 -0.3 mm 갭을 주어 2.7 mm 만 사용하였다는 뜻이다. 다음은 패드 스트로크 130 mm 에 대한 결과이다. Fig. 38 패드 스트로크 130

mm 에서도 캠 스트로크를 -0.3 mm 하였을 때 스프링 고인 -0.5 mm 에 값이 도출되어 공차기준에 합격되는 값이 도출되었다. 다음은 보정각도를 1.5°도로 적용하였을 때의 마지막 실험인 140 mm 패드 스트로크에 대한 해석 결과이다. Fig. 39 패드 스트로크 140 mm 에서도 캠에 스트로크를 -0.3 mm 하였을 때 공차기준인 ±0.5 mm 이내에 값인 스프링 백 +0.2 mm 와 스프링 고인 -0.5 mm 에 값이 도출되었다. 하지만 이 결과는 제품에 정도에 있어 실패로 봐야 된다. 성형된 R 끝에서부터 일직선으로 내려오면서 스프링 고 나 백에 형태를 갖추고 있었다면 문제가 없겠지만 상단 영역에는 굴곡이 생기고 하단 영역은 고 형태로 말려 들어갔기 때문에 이러한 결과가 도출될 경우 Failure 처리 한다. Fig. 36

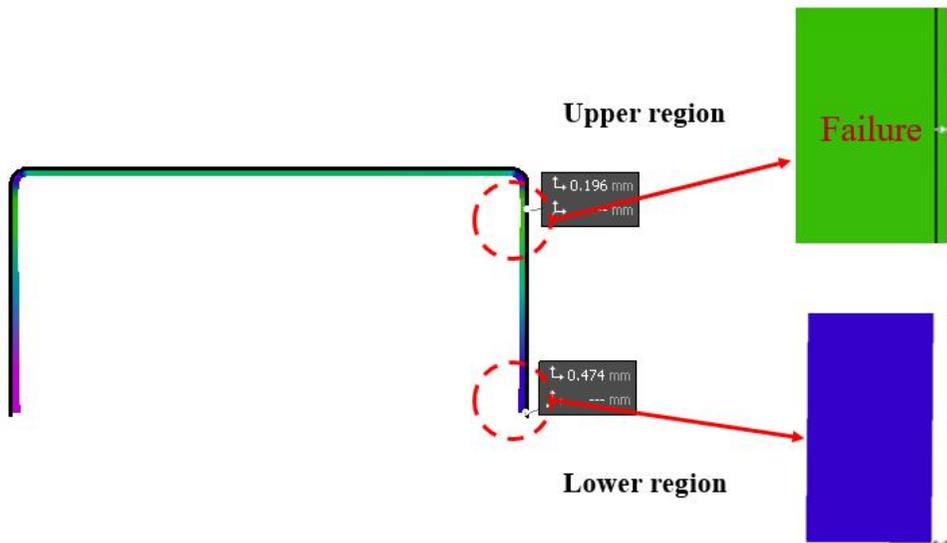


Fig. 36 Failures in product quality

다음은 보정각도 1.0° 도를 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 3 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시킨 유한요소 해석 결과는 -2.2 mm 에 조금 과한 스프링 고 현상이 발생하였다. Fig. 37 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였지만 캠 스트로크 -0.4 mm 에서 상단영역은 스프링 백인 +0.3 mm 상태와 하단영역은 스프링 고인

-1.1 mm 에 값이 도출되어 제품에 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상에 캠 스트로크 조절은 의미가 없는 걸로 판단된다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되었다. Fig. 38, 39 실험결과 보정각도 1.0° 도 실험에선 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 순차적으로 적용하여 해석 실험을 하였지만 모두다 실패로 끝이 났다. 다음은 캠의 설계를 3 mm 로 적용하였을 때 마지막 실험인 보정각도 0.5° 도 에 대한 유한요소 해석을 수행해 보기로 한다. 마찬가지로 보정각도 0.5°에 대한 실험도 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 순으로 순차적으로 유한요소 해석을 수행하였다. 패드 스트로크 120 mm에서는 캠 스트로크를 -0.2 mm 상태에서부터 스프링 백인 +0.2 mm 와 스프링 고인 -1.8 mm 에 값이 도출되어 더 이상 캠 스트로크 조절이 의미가 없는 실패 상태의 결과가 도출되었다. Fig. 37 패드스트로크를 변경하여 유한요소 해석 실험을 한 패드 스트로크 130 mm 와 140 mm 에 결과에서도 마찬가지로 캠에 스트로크를 -0.2mm 적용하였을 때 비슷한 경향을 보였다. Fig. 38, 39

굽힘부 곡률반경 R3 에 캠 스트로크 설계를 3 mm 로 하였을 때의 실험 결과를 정리 해 보자면 보정각도 1.5° 도에선 캠 스트로크 -0.3 mm 적용하고 패드 스트로크를 120 mm 와 130 mm 사용하였을 때 공차 기준 ± 0.5 mm 이내에 값이 도출되었으며 패드 스트로크 140 mm 에서는 공차 이내에 값이 도출되었긴 하지만 제품에 상단부 영역에 스프링 백 으로 인한 굴곡이 발생하여 제품에 정도에 문제가 있기 때문에 실패로 간주 하였으며 보정각도 1.0° 도 와 0.5° 도 실험에선 모두 캠 스트로크 -0.2 mm 상태에서부터 제품 상단부에 굴곡이 발생하여 모두 실패로 결론을 내렸다.

이로서 굽힘부 곡률반경 R3 에 캠 스트로크 설계를 3 mm 로 하였을 땐 보정각도를 1.5°도로 적용하고 패드 스트로크는 120 mm 또는 130 mm 를 사용하여야만 제품의 정도에 문제가 없는 결과를 얻을 수 있음을 실험을 통해 확인할 수가 있었다.

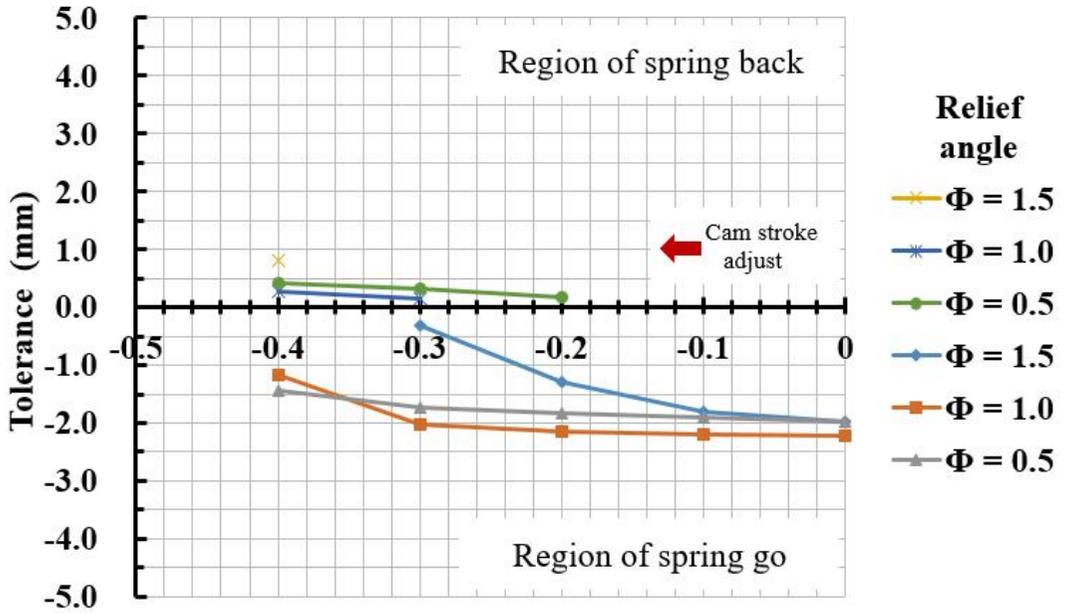


Fig. 37 3 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R3

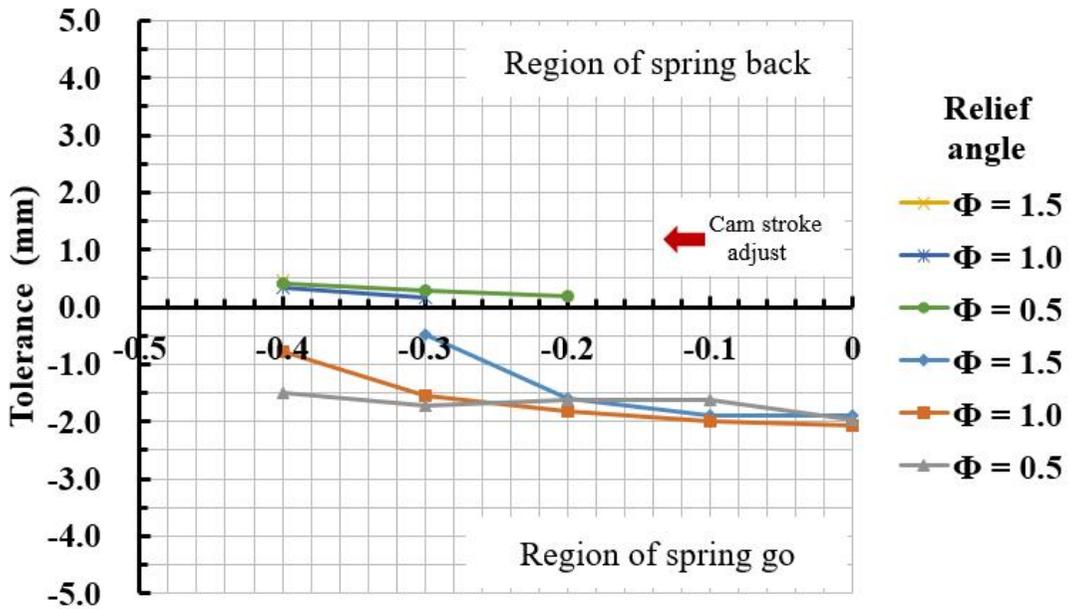


Fig. 38 3 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R3

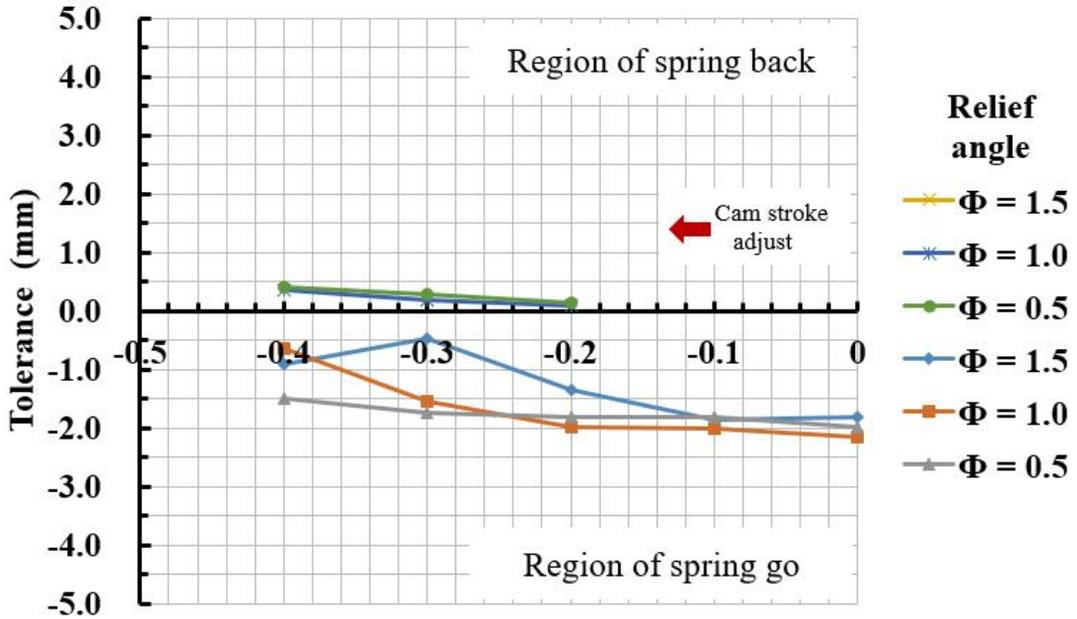


Fig. 39 3 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R3

나. 캠 스트로크 4 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

다음은 성형이 이루어지는 곡률반경 R3 은 그대로 유지하고 캠 스트로크 설계를 4 mm 로 하였을 때 3 mm 에 비해 어떠한 결과가 도출 되는지 유한요소 해석을 통하여 알아보기로 한다. 실험 방법은 상기내용에 캠 설계 3 mm 스트로크와 동일한 방법으로 보정각도 1.5° 도 에 패드 스트로크 120 mm 부터 순차적으로 유한요소 해석을 통하여 테스트해보기로 한다.

첫 번째 실험으로 패드 스트로크 120mm 에 캠 스트로크 4 mm 를 다 사용하고 캠을 완전히 버팀 시켜 도출된 값은 스프링 고인 -3.3 mm 값이 도출되었다. Fig. 41 확실히 초기에 소재를 성형할 때 상형 펀치와 하형 펀치의 틈새가 커진 만큼 도출된 값에 크기도 비례하게 커진 것이 확인 되었다. 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 실험을 진행 하였고 캠 스트로크 -0.3 mm 에서 제품에 정도가 -3.0 mm 까지 조절 되었지만 캠 스트로크 -0.4 mm에선 제품의 상단부에 스프링 백인 +0.2 mm 와 하단부에 스프링 고인 -2.5 에 값이 도출되었기 때문에 제품에 품질에 있어

불량이기 때문에 더 이상 캠 스트로크 조절은 의미가 없는 걸로 판단된다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되었다. Fig. 42, 43 실험결과를 정리하여 보자면 보정각도 1.5° 도 실험에선 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 순차적으로 적용하여 해석 실험을 하였지만 모두다 실패로 끝이 났다.

다음은 보정각도 1.0° 도를 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 4 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시킨 유한요소 해석 결과는 -3.0 mm 에 스프링 고 현상이 발생하였다. Fig. 41 보정각도 1.5° 도에 패드 스트로크 120 mm를 사용하였을 때와 비교하면 0.3 mm 에 값이 보정되긴 하였지만 문제해결에 있어 보정각도 -0.5° 도 수정으로는 문제 해결에 있어 제품의 품질에 정도를 높이는데 한계가 있어 보인다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되었고 실험결과 보정각도 1.0° 도 실험에선 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 순차적으로 적용하여 해석 실험을 하였지만 모두다 실패로 끝이 났다. Fig. 41, 42, 43

다음은 캠의 설계를 4 mm 로 적용하였을 때에 마지막 실험인 보정각도 0.5° 도에 대한 유한요소 해석을 수행해 보기로 한다. 마찬가지로 보정각도 0.5°에 대한 실험도 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 순으로 순차적으로 유한요소 해석을 수행하였다. 첫 번째로 패드 스트로크 120 mm 에서 도출된 값은 스프링 고인 -2.2 mm 에 값이 도출되었고 캠 스트로크를 -0.2 mm 상태에서부터 스프링 백인 +0.2 mm 와 스프링 고인 -2.4 mm 에 값이 도출되어 더 이상 캠 스트로크 조절이 의미가 없는 실패 상태의 결과가 도출되었다. Fig. 41 패드 스트로크를 변경하여 유한요소 해석 실험을 한 패드 스트로크 130 mm 와 140 mm 에 결과에서도 마찬가지로 캠에 스트로크를 -0.2 mm 와 -0.3 mm를 적용 하였을 때 비슷한 경향을 보였다. Fig. 42, 43

굽힘부 곡률반경 R3에 캠 스트로크 설계를 4 mm 로 하였을 때 실패 원인은 초기에 소재를 U자 형으로 굽힘 성형을 가할 때 상형 펀치 와 하형 펀치 간의 틈새 (Gap) 의 차이가 캠 3mm 스트로크 보다 크다 보니 굽힘을 가하면서 만들어지는 성

형 R 이 불안정하게 만들어지고 2차적으로 캠이 측면으로 들어와 불안정하게 성형된 R을 한 번 더 눌러 다지다 보니 굽힘부 R을 두 번 꺾어 성형을 시키는 문제가 발생하여 3mm 설계 보다 과한 스프링 고 상태의 결과가 도출 되는 걸로 사료된다. 그나마 보정각도를 1.5° 도 에서 0.5° 도 까지 수정하여 스프링 고 현상을 감소시키긴 하였지만 한계가 있었고 근본적인 문제의 원인은 캠 스트로크에 크기에 있다고 볼 수가 있다. Fig. 40

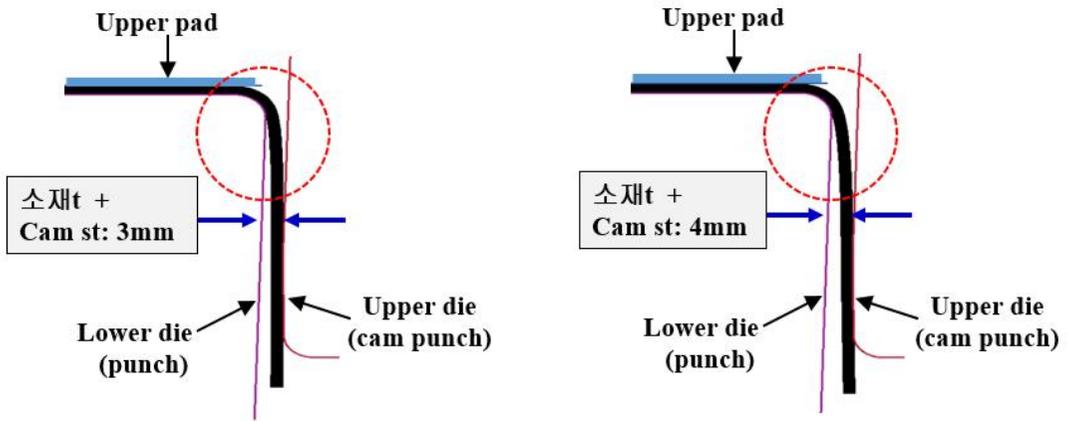


Fig. 40 Comparison of differences in cam strokes

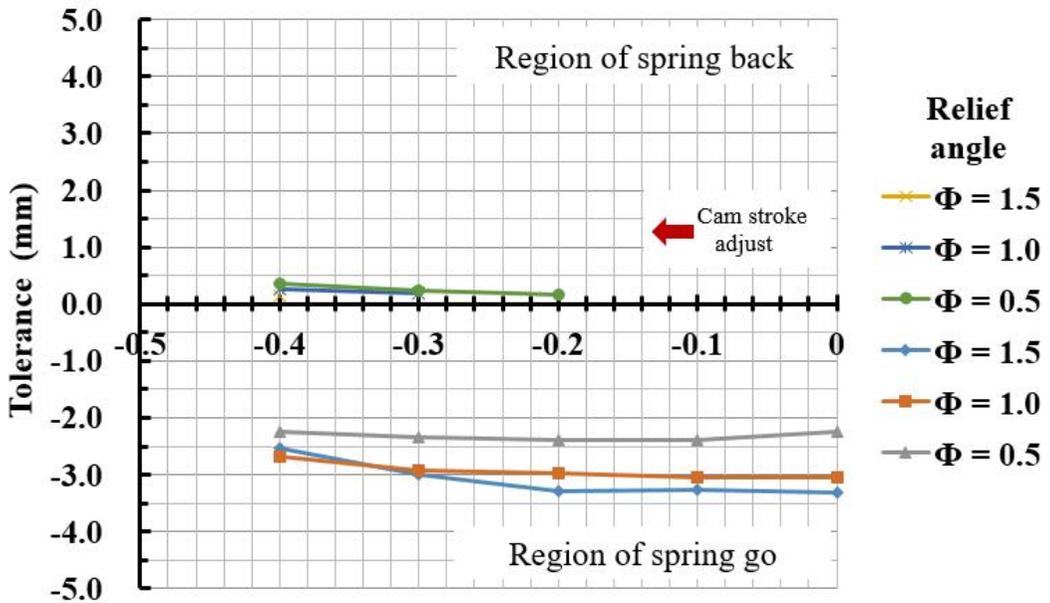


Fig. 41 4 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R3

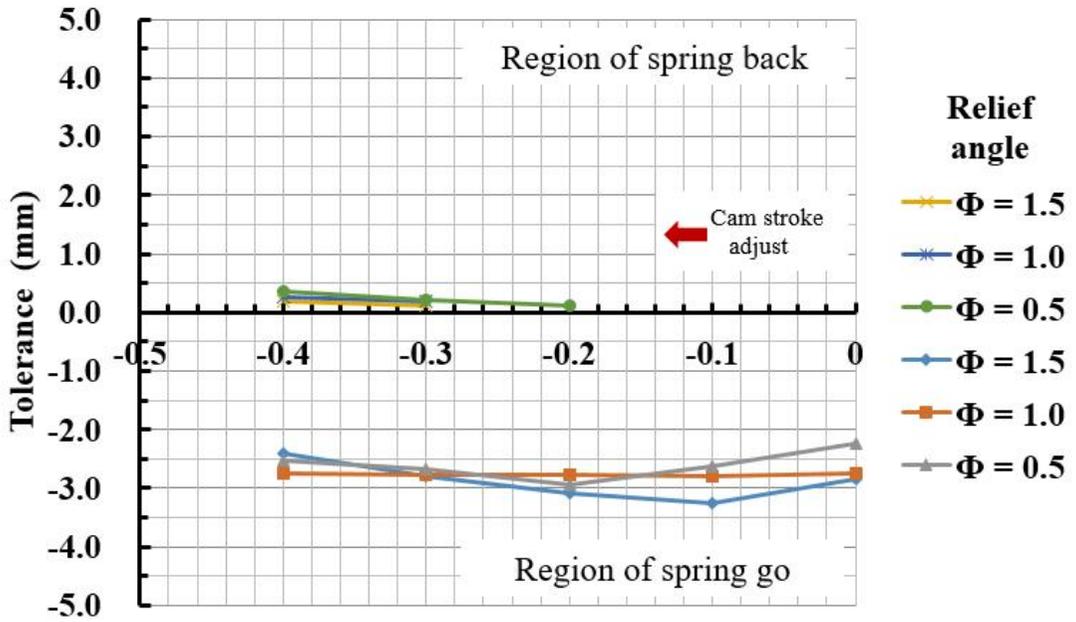


Fig. 42 4 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R3

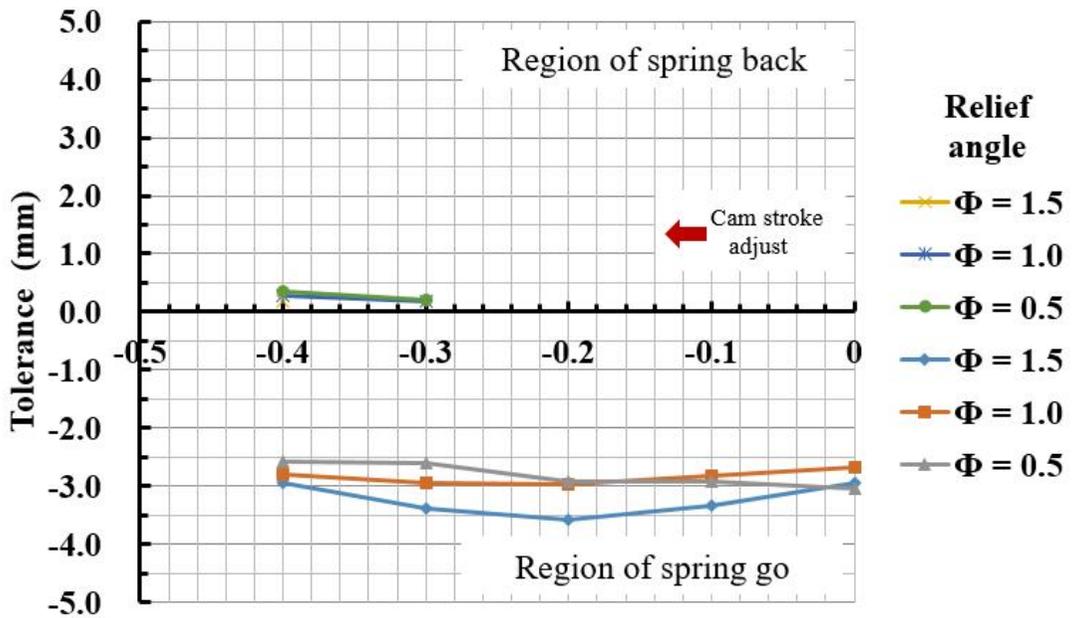


Fig. 43 4 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R3

다. 캠 스트로크 5 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

다음은 성형이 되는 굽힘부 곡률반경 R3 에 마지막 실험인 캠 스트로크 5 mm 설계에 대한 실험이다. 패드 스트로크 4 mm 설계에 실험에서 드러난 문제점이 5 mm 설계에서도 그대로 반영될 듯 보이지만 유한요소 해석을 통해 정확히 검증해 보기로 한다.

첫 번째 실험은 앞서 실험하였던 수순대로 보정각도 1.5°도 부터 순차적으로 진행하기로 한다. 먼저 패드 스트로크를 120 mm 하였을 때 유한해석 결과이다. Fig. 44 캠의 스트로크를 다 사용하여 완전히 버텨 시켰을 때 초기 값은 과한 스프링 고인 -3.6 mm 에 값이 도출되었다. 캠의 스트로크를 4 mm 로 하였을 때는 - 3.3 mm 에 값이 도출되었는데 이번 실험에서도 알 수 있듯이 상형 펀치 와 하형 펀치 에 틈새 (Gap) 가 클수록 제품의 공차 기준인 ± 0.5 에서 더욱 멀어지는 결과가 도출됨을 알 수가 있었다. 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였지만 캠 스트로크 -0.4 mm 에서 상단영역은 스프링 백인 +0.2 mm 상태와 하단영역은 스프링 고인 -2.5 mm 에 값이 도출되어 제품에 품질 에 있어 불량이기 때문에 더 이상 캠 스트로크를 조절은 의미가 없는 걸로 판단된다. 다음은 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 45, 46 도출된 결과는 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되었으며 실험결과 보정각도 1.5° 도 실험에선 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 순차적으로 적용하여 해석 실험을 하였지만 모두다 실패로 끝 이 났다.

다음은 보정각도 1.0°도 를 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 5 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시켰을 때 유한요소 해석 결과는 스프링 고인 -3.1 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 44 보정각도 수정으로 인하여 이전 1.5° 도에 비해 약 0.5 mm 에 값이 보정 되었지만 공차 기준에 다가가기에는 한계가 있어 보인다. 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였다. 특이점으로 캠 스트로크 -0.1 mm 에서 스프링 백 0.33 mm 와 스프링 고 -1.1 mm 에 값이 도출 되었고 스프링 고 값이 초기 값에 비하여

-1.1 mm 까지 보정 되었지만 캠 스트로크 -0.2 mm부터 스프링 백 0.1 mm 와 스프링 고 -3.4 mm 에 값이 도출되어 스프링 백 값은 감소하고 스프링 고 값이 증가하였다. 그리고 캠 스트로크 - 0.2 mm 에서부터 스프링 백 값은 다시 상승하고 스프링 고 값은 감소하였지만 캠 스트로크 -0.4 mm 에서는 다시 스프링 고 값이 증가하는 비 규칙적인 값들이 도출되었다. 패드 스트로크 120 mm 실험에선 캠 스트로크 -0.2 mm 에서부터 제품에 상단영역에는 스프링 백 제품에 하단 영역에는 고 현상이 발생하였고 공차 기준에서도 벗어났기 때문에 실패 상태가 되었고 패드 스트로크 130 mm 에서는 패드 스트로크 120 mm 와 비슷한 경향을 보였고 패드 스트로크 140 mm 에서는 초기에 도출된 값이 과한 스프링 고인 - 3.4mm 에 값이 도출되었으며 패드 스트로크 120 mm 및 130 mm 에 비해 비교적 규칙적인 값들이 도출되었지만 보정각도 1.0°도 실험은 모두 실패로 끝이 났다. Fig. 45, 46

다음은 굽힘부 곡률반경 R3 에 캠의 설계를 5 mm 로 적용하였을 때에 마지막 실험인 보정각도 0.5° 도 에 대한 유한요소 해석을 수행해 보기로 한다. 마찬가지로 보정각도 0.5°에 대한 실험도 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 순으로 순차적으로 유한요소 해석을 수행하였다. 첫 번째로 패드 스트로크 120 mm 에서 도출된 값은 스프링 고인 -2.3 mm 에 값이 도출되었다. Fig.44 보정각도 1.5°도를 적용하였을 때와 비교하면 1.3 mm 에 값이 보정되었다. 여기에서 다시 한 번 알 수 있는 점은 패드 스트로크 조정은 미세한 조정만 가능하고 보정각도를 수정하였을 때는 보정되는 값들에 크기가 많이 달라진다는 점이다. 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였지만 캠 스트로크 -0.2 mm 에서부터 상단영역은 스프링 백인 +0.2 mm 상태와 하단영역은 스프링 고인 -2.6 mm 에 값이 도출되어 제품에 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상 캠 스트로크를 조절은 의미가 없는 걸로 판단이 되며 패드 스트로크를 130 mm로 변경하여 유한요소 해석을 수행한 결과에서는 초기 값이 스프링 고인 -3.0 mm 에 값이 도출되어 120 mm 패드 스트로크 에 비해 오히려 0.7 mm 에 값이 증가하였고 140 mm 패드 스트로크 에서는 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되었다. Fig. 45, 46

이로서 소재에 성형이 이루어지는 굽힘부 곡률반경을 R3 으로 하고 캠의 설계를 각각 3 mm, 4 mm, 5 mm 로 달리 설계한 다음 각각의 캠 스트로크 마다 보정각도를 1.5° 도 1.0° 도 0.5° 도로 적용하고 또 각각의 보정각도에 패드 스트로크를 120 mm 부터 140 mm 까지 달리하였을 때의 실험은 모두 끝이 났다. 마지막 실험인 캠

스트로크 5 mm 실험도 실패로 끝이 났다. 문제의 원인을 파악하여 보자면 역시 캠의 스트로크 크기에 있다고 본다. 캠 스트로크 3 mm 실험에선 보정각도 1.5° 도를 적용하고 캠의 스트로크를 -0.3 mm 하였을 때 패드 스트로크 120 mm 와 130 mm 에서 모두 공차 기준에 합격하였지만 캠의 스트로크를 4 mm 및 5 mm 로 설계하였을 때는 보정각도 1.5° 도에서 초기에 도출된 값들이 다소 과한 스프링 고에 값이 도출되었고 캠의 스트로크를 조절하였을 때 대부분 -0.2 mm에서 -0.4 mm 사이에 제품에 상단영역은 스프링 백이 발생하고 제품에 하단 영역은 스프링 고에 문제점이 발생 하여 제품에 품질에 있어 모두 실패 상태가 되었기 때문에 근본적으로 캠의 설계에 있어 스트로크의 크기를 어떻게 하느냐에 따라 제품에 품질에 있어 실패 및 성공에 여부가 갈리었고 그 다음으로 보정각도에 크기에 따라 제품의 스프링 백 및 스프링 고에 큰 변화가 있음이 확인되었고 마지막으로 패드 스트로크에 크기를 달리 하였을 때는 미세한 조정이 가능하다는 걸 알 수가 있었다.

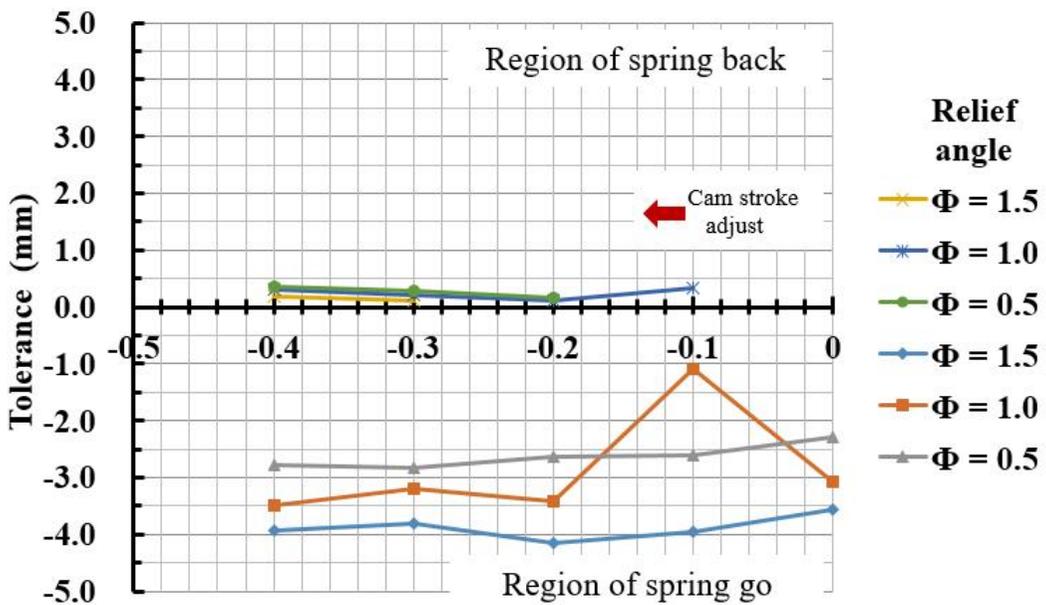


Fig. 44 5 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R3

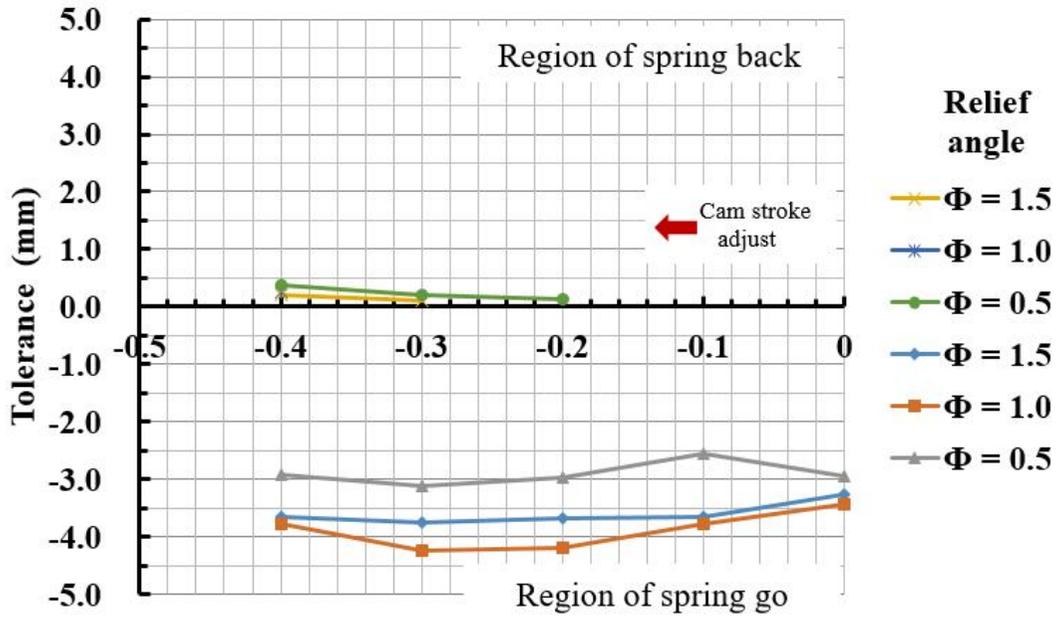


Fig. 45 5 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R3

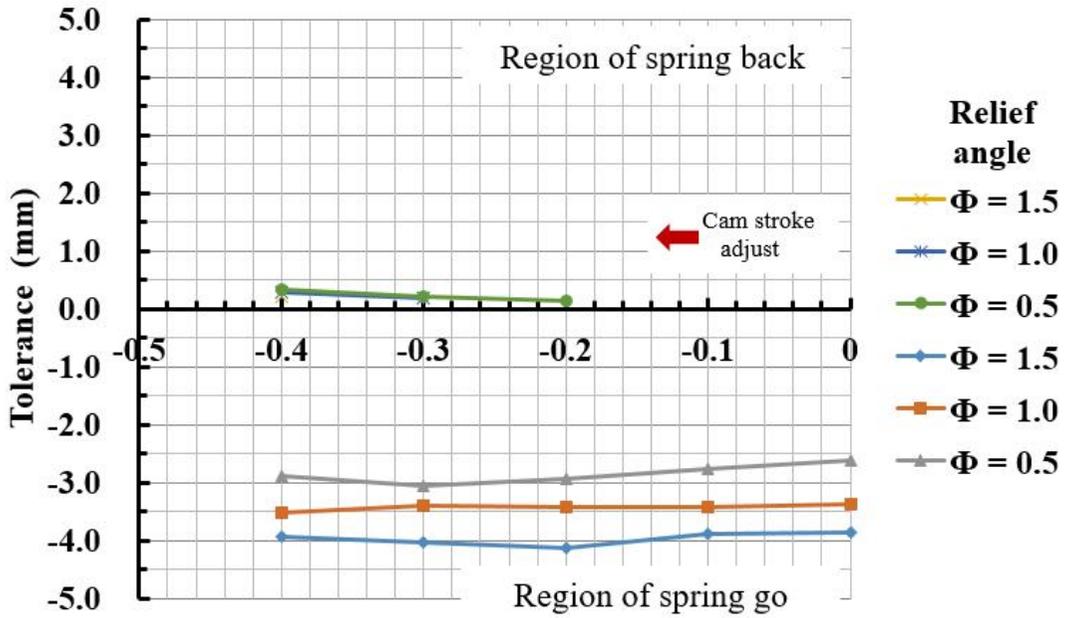


Fig. 46 5 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R3

6. 굽힘부 곡률반경을 R5 에 대한 해석 결과 및 분석

다음은 성형이 이루어지는 굽힘부 곡률반경을 R5 로 하였을 때 유한요소 해석 실험에 대한 결과 및 분석이다. 이전 실험에 곡률반경 R3 실험 이었을 때와 비교 하였을 때 어떠한 변화가 있는지 알아보기로 한다.

가. 캠 스트로크 3 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

첫 번째 실험은 캠의 스트로크 설계를 3mm 로 하고 보정각도 1.5° 도를 적용하여 패드 스트로크를 각각 120 mm, 130mm, 140mm 하였을 때 어떤 결과가 도출되는지 알아보기로 한다. 먼저 캠에 스트로크 3mm 다 사용하여 캠을 완전히 버텀 시키고 패드 스트로크 120 mm 를 적용하였을 때에 대한 유한요소 해석의 결과이다. Fig. 47 도출된 값은 스프링 고 상태인 -0.6 mm 에 값이 도출 되었다. 공차 기준 ± 0.5 에 거의 근접해 가는 값이 도출되었기 때문에 캠 스트로크를 -0.1 mm 조절하여 유한요소 해석을 수행하여 보았다. 도출된 값은 스프링 백인 +0.1 mm 로 공차 기준에 합격되는 값이 도출되었다. 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였고 캠 스트로크 -0.1mm 에선 +0.7 mm, 캠 스트로크 -0.4 mm 에선 +3.0 mm 에 값이 도출되어 캠 스트로크를 -0.1 mm 할 때 마다 스프링 백에 값이 증가하면서 공차 기준에서 멀어지는 걸 확인할 수가 있었다.

두 번째 실험은 패드 스트로크를 130 mm 로 적용하여 유한요소 해석을 수행하였을 때의 결과 값으로 캠 스트로크 -0.1 mm 하였을 때 스프링 고 인 -0.2 mm 에 값이 도출되었고 캠 스트로크 -0.2 mm 에서는 스프링 고인 -0.4 mm 에 결과 값이 도출되어 공차 기준 ± 0.5 에 합격이 되는 값이 도출되었다. Fig. 48

마지막으로 세 번째 실험은 패드 스트로크를 140 mm 로 하였을 때의 결과이다. 캠의 스트로크 3 mm를 다 사용하고 캠을 완전히 버텀 시킨 유한요소 해석 결과는 -0.7 mm 의 값이 도출되었다. Fig. 49 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하여 보기로 한다. 캠의 스트로크를 -0.1 mm 하였을 때는 0.1 mm 에 스프링 백 과 -0.1 mm 의 스프링 고 현상이 발생하였고

캠에 스트로크 제어를 -0.2 mm 하였을 때 스프링 백인 0.4 mm 에 값이 도출되어 공차 기준에 합격이 되는 결과가 도출되었다. 이어서 캠 스트로크 -0.3 mm 에서는 스프링 백인 1.3 mm 에 값이 도출되었고 캠 스트로크 -0.4 mm 에서는 스프링 백인 2.5 mm 에 값이 도출되었다. 캠 스트로크 -0.3 mm 에서부터 스프링 백이 1 mm 이상씩 큰 수치로 상승한 걸 알 수가 있었다.

다음은 보정각도 1.0° 도를 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 3 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시켰을 때 유한요소 해석 결과는 -0.7 mm 에 스프링 고 상태의 결과가 도출되었다. Fig. 47 공차 기준 ± 0.5 mm 에 근접하는 값이 도출되었지만 캠 스트로크 제어를 -0.2 mm 하였을 때 스프링 백인 0.2 mm 와 스프링 고인 -0.6 mm 에 값이 도출되어 제품에 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상에 캠 스트로크 조절은 의미가 없는 걸로 판단된다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행한 결과는 먼저 패드 스트로크 130 mm 에서 캠에 스트로크 3mm 모두 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시켰을 때 초기 값이 스프링 백 인 0.1 mm 와 스프링 고인 -0.5 mm 에 값이 도출되어 제품으로서 불량이기 때문에 실패 로 끝이 났고 패드 스트로크 140 mm 에서는 캠의 스트로크를 -0.1 mm 하였을 때 도출된 값이 스프링 백인 0.2 mm 와 스프링 고인 -0.7 mm 에 값이 도출되어 이 또한 제품에 있어 불량이기 때문에 보정각도 1.0° 도를 적용하였을때의 실험음 모두 실패로 끝이 났다. Fig. 48, 49

다음은 캠의 설계를 3 mm 로 적용하였을 때에 마지막 실험인 보정각도 0.5° 도에 대한 유한요소 해석 실험을 하기로 한다. 마찬가지로 보정각도 0.5°에 대한 실험도 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 순으로 순차적으로 유한요소 해석을 수행하였다. 패드 스트로크 120 mm에서는 캠 스트로크 3 mm 를 다 사용하고 캠을 완전히 버텨 시킨 초기 상태에서부터 스프링 백인 +0.2 mm 와 스프링 고인 -0.4 mm 에 값이 도출되어 더 이상 캠 스트로크 조절이 의미가 없는 실패 상태의 결과가 도출되었고 패드 스트로크 130 mm 와 140 mm 에 결과에서도 마찬가지로 초기 값에서부터 비슷한 스프링 백 과 스프링 고에 현상이 동시에 발생하는 비슷한 경향을 보였다. Fig. 47, 48, 49 이로서 굽힘부 곡률반경 R5 에 캠 스트로크 설계를 3 mm 로 설계하였을 때 실험 은 끝이 났으며 결과를 정리 해 보자면 첫 번째로 보정각도 1.5° 도를 적용하였을 때는 패드 스트로크 120 mm, 130 mm, 140

mm,에서 모두 공차 기준 ± 0.5 에 들어와 합격이 되었으며 보정각도를 변경한 1.0° 도 와 0.5° 도 실험에서는 캠 스트로크 3 mm 를 모두 다 사용한 초기 값에서 부터 대부분이 제품의 상단영역에는 스프링 백 하단영역에는 스프링 고에 상태로 제품의 품질에 문제가 발생하여 실패로 끝이 났다.

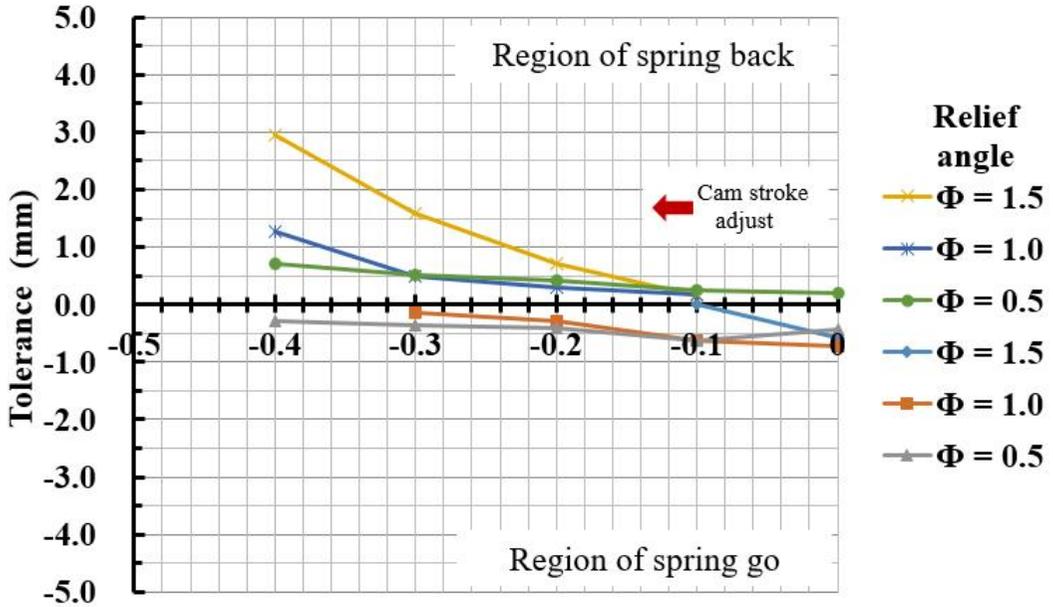


Fig. 47 3 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R5

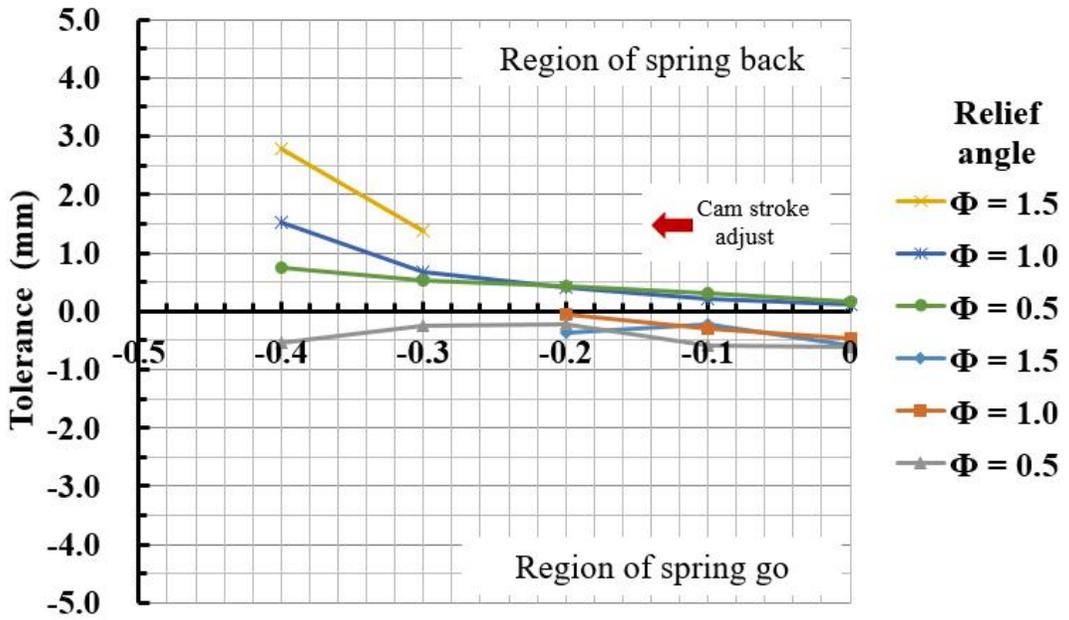


Fig. 48 3 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R5

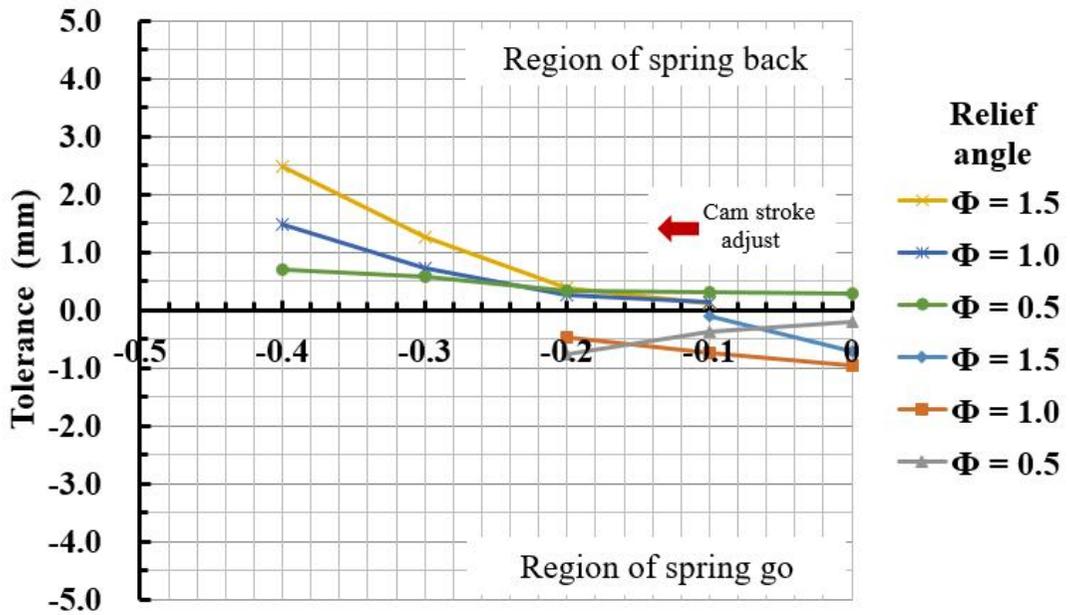


Fig. 49 3 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R5

나. 캠 스트로크 4 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

다음은 성형이 이루어지는 곡률반경 R5 은 그대로 유지하고 캠 스트로크 설계를 4 mm 로 하였을 때 3 mm 에 비해 어떠한 결과가 발생하는지 실험을 통하여 결과를 도출하기로 하고 실험에 앞서 굽힘부 곡률반경 R3 에서의 실험결과는 캠 스트로크 4 mm 와 5 mm 실험에서 모두 실패로 끝이 났는데 굽힘부 곡률반경에 크기가 커진 R5 실험에서는 성형되는 곡률반경 R 에 크기가 어떠한 영향을 미치는지 유한요소 해석 실험을 통하여 알아보기로 한다.

첫 번째 실험은 보정각도를 (Relief angle) 1.5°도로 하고 패드 스트로크 (Pad stroke) 를 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 하여 유한요소 해석을 수행하였다.

먼저 120 mm 패드 스트로크에 대한 실험이다. 패드 스트로크를 120 mm 로 적용하고 캠에 스트로크 4mm를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시켜 도출된 초기 값은 스프링 고인 -2.2 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 50 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였지만 캠 스트로크 -0.2 mm 에서 부터 상단영역은 스프링 백인 +0.1 mm 상태와 하단영역은 스프링 고인 -2.0 mm 에 값이 도출되어 제품에 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상 캠 스트로크를 조절은 의미가 없는 걸로 판단된다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 130 mm 에서는 초기 값이 -1.4 mm 로 스프링 고 현상이 1 mm 정도 감소하였고 패드 스트로크 140 mm 에서는 초기 값이 -3.0 mm 로 스프링 고 현상이 반대로 2 mm 정도가 증가 하였다. 그 외에는 패드 스트로크 120 mm 와 유사한 경향을 보였다. 이로서 1.5°도 실험결과는 모두 실패로 끝이 났다. Fig. 51, 52

다음은 보정각도를 1.0° 도로 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 3 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시킨 유한요소 해석 결과는 -1.3 mm 에 스프링 고 현상이 발생하였고 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였지만 캠 스트로크를 -0.1 mm 하였을 때 스프링 백 0.1 mm 와 스프링 고 -1.3 mm 에 값이 도출되어 제품에 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상 캠 스트로크를 조절은 의미가 없는 걸로 판단된다. Fig.

50 다음은 패드 스트로크를 130 mm 로 하였을 때 초기에 도출된 값은 스프링 고인 -1.5 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 51 패드 스트로크 120 mm를 적용하였을 때와 비슷한 경향을 보였고 패드 스트로크를 140 mm 로 하였을 때는 초기에 도출된 값이 스프링 고인 -2.5 mm 에 값이 도출되었는데 스프링 고에 값이 약 1mm 정도 증가한 걸 알 수가 있었으며 보정각도를 1.0° 도로 적용하였을 때 실험은 실패로 끝이 났다. Fig. 52

다음은 캠의 설계를 4 mm 로 적용하였을 때에 마지막 실험인 보정각도 0.5° 도에 대한 유한요소 해석을 수행해 보기로 한다. 마찬가지로 보정각도 0.5°에 대한 실험도 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 순으로 순차적으로 유한요소 해석을 수행하였다. 첫 번째 실험으로 패드 스트로크 120 mm를 적용하고 캠의 스트로크를 모드 사용하고 캠을 완전히 버팀 시켜 도출된 초기 값은 스프링 백인 0.3 mm 와 스프링 고인 -0.5 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 50 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행한 결과 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절할 때 마다 스프링 백 과 스프링 고에 값이 비례하게 증가하다가 캠 스트로크 -0.4 mm 에서 스프링 고에 값이 급 감소함을 알 수가 있었다. 다음은 패드 스트로크를 130 mm 와 140 mm 로 하였을 때에 결과인데 스프링 백 과 스프링 고에 값이 비례하게 증가하다가 캠 스트로크 - 0.3 mm ~ -0.4 mm에서 스프링 고에 값이 급 감소하는 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수가 있었다. Fig. 51, 52

이로서 굽힘부 곡률반경 R5 에 캠 스트로크 설계를 4 mm 로 하였을 때의 실험은 실패로 끝이 났다. 곡률반경 R3 에 결과와 비교를 하자면 보정각도 1.5° 도에 패드 스트로크를 120 mm 하였을 때 R3 스프링 고 -3.3 mm 에 값이 도출되었고 R4 에서는 스프링 고 -2.2 mm 에 값이 도출되었다. 이번 실험에서 확실히 알 수 있는 점은 같은 조건일 때 성형이 되는 곡률반경 R 에 크기에 따라 초기에 도출되는 값이 달라지고 이는 곡률반경 R에 크기가 성형성에 영향을 미친다는 것이다.

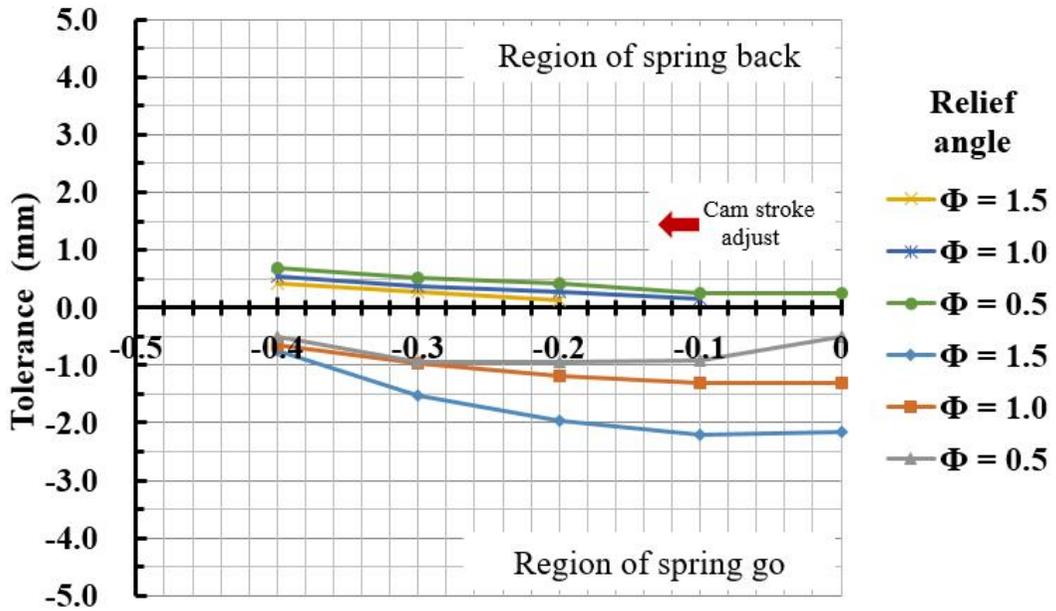


Fig. 50 4 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R5

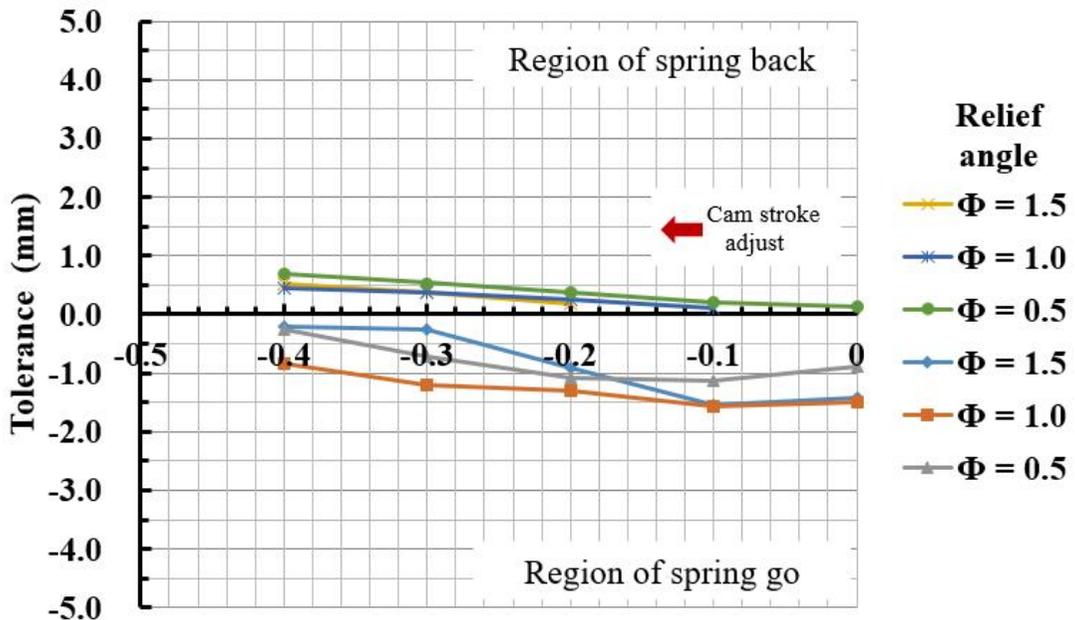


Fig. 51 4 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R5

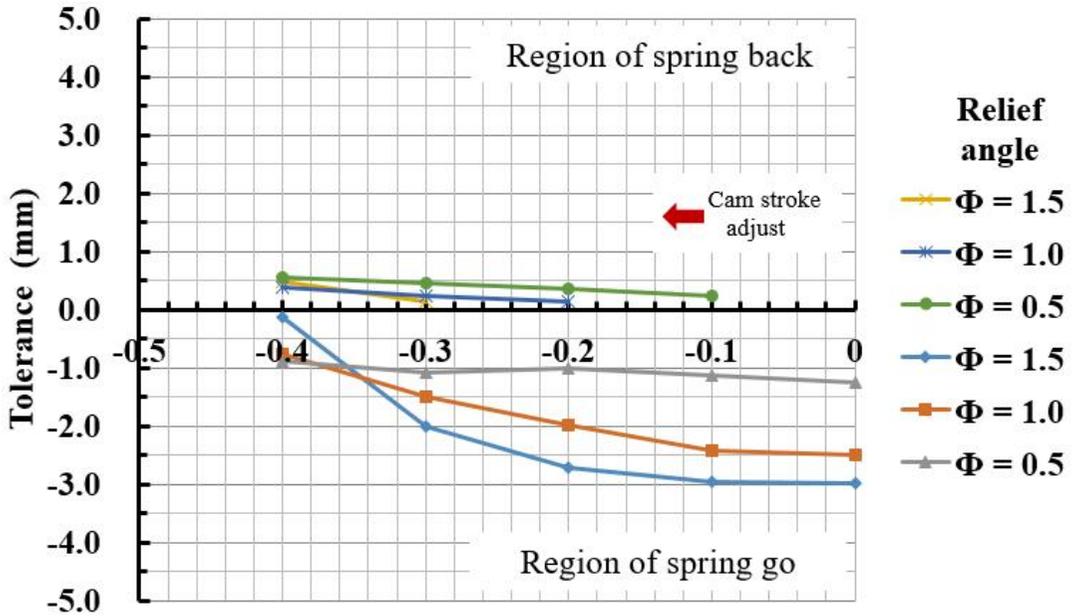


Fig. 52 4 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R5

다. 캠 스트로크 5 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

다음은 성형이 이루어지는 굽힘부 곡률반경 R5 에 마지막 실험인 캠 스트로크 5 mm 설계에 대한 실험이다. 패드 스트로크 4 mm 설계에 실험에서 드러난 문제점이 5 mm 설계에서도 그대로 반영될 듯 보이지만 유한요소 해석을 통해 정확히 검증해보기로 한다. 첫 번째 실험은 앞서 실험하였던 수순대로 보정각도 1.5°도 부터 순차적으로 진행하기로 한다. 먼저 패드 스트로크를 120 mm 하였을 때 유한해석 결과이다. Fig. 53 캠의 스트로크를 다 사용하여 완전히 버팀 시켰을 때 초기 값은 스프링 고인 -2.5 mm 에 값이 도출되었다. 캠 스트로크 -0.2 mm에서 스프링 백 0.2 mm 와 스프링 고 -3.0 mm 에 값이 도출되어 제품 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상에 캠 스트로크 조절은 의미가 없으며 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절 할 때마다 스프링 백 현상은 증가 하고 스프링 고 현상은 감소하였다. 패드 스트로크

130 mm 와 140 mm 에 실험에서도 비슷한 경향을 보이며 보정각도 1.5° 도 실험은 모두 실패고 끝이났다. Fig. 54, 55 다음은 보정각도 1.0° 도를 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 5 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시킨 유한요소 해석 결과는 -1.5 mm 에 스프링 고 현상이 발생하였다. Fig. 53 캠 스트로크를 -0.1 mm 하였 때 스프링 백 0.2 mm 와 스프링 고 -1.9 mm 값이 도출되어 제품의 품질에 있어 불량상태 이기 때문에 더 이상에 캠 스트로크 조절은 의미가 없는 걸로 판단이 된다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되었으며 실험결과 보정각도 1.0° 도 실험에선 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 순차적으로 적용하여 해석 실험을 하였지만 모두다 실패로 끝이 났다. Fig. 54, 55

다음은 굽힘부 곡률반경 R5 에 캠의 설계를 5 mm 로 적용하였을 때에 마지막 실험인 보정각도 0.5° 도에 대한 유한요소 해석을 수행해 보기로 한다. 마찬가지로 보정각도 0.5°에 대한 실험도 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 순으로 순차적으로 유한요소 해석을 수행하였다. 첫 번째로 패드 스트로크 120 mm 에서 도출된 값은 스프링 백인 -0.2 mm 와 스프링 고인 -1.1 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 53 캠 스트로크 5mm 다 사용한 초기 값에서부터 제품에 상단 과 하단영역에 도출된 값이 동시에 나왔기 때문에 제품의 품질에 있어 불량이다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되었으며 실험결과 보정각도 0.5° 도 실험에서도 마찬가지로 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 순차적으로 적용하여 해석 실험을 하였지만 모두다 실패로 끝이 났다. Fig. 54, 55 이로서 소재에 성형이 이루어지는 굽힘부 곡률반경을 R5 로 하고 캠의 설계를 각각 3 mm, 4 mm, 5 mm 로 달리 설계한 다음 각각의 캠 스트로크 마다 보정각도를 1.5° 도 1.0° 도 0.5° 도로 적용하고 또 각각의 보정각도에 패드 스트로크를 120 mm 부터 140 mm 까지 달리하였을 때의 실험은 모두 끝이 났다.

이번 실험을 통하여 알 수 있는 점은 같은 조건일 때 성형이 되는 곡률반경 R 에 크기에 따라 초기에 도출되는 값이 달라지고 이는 곡률반경 R에 크기가 성형성에 영향을 미친다는 것이다.

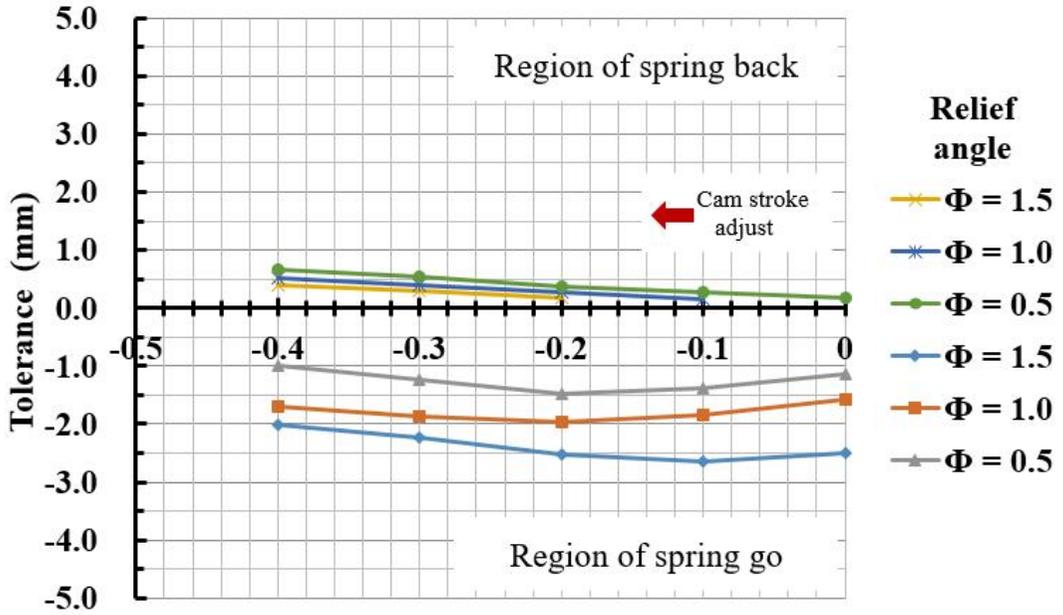


Fig. 53 5 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R5

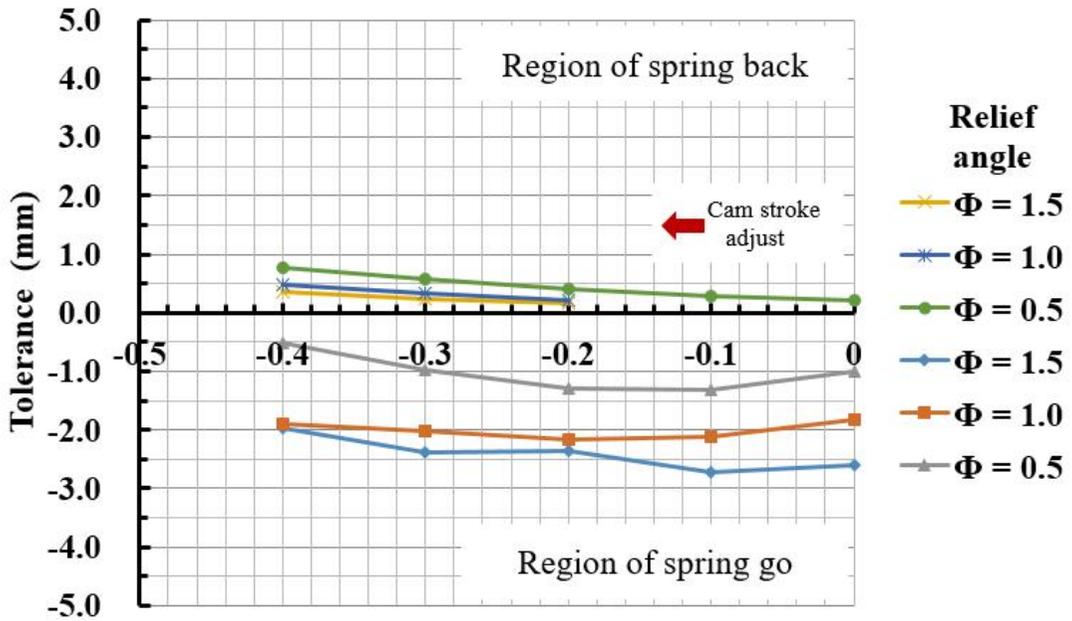


Fig. 54 5 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R5

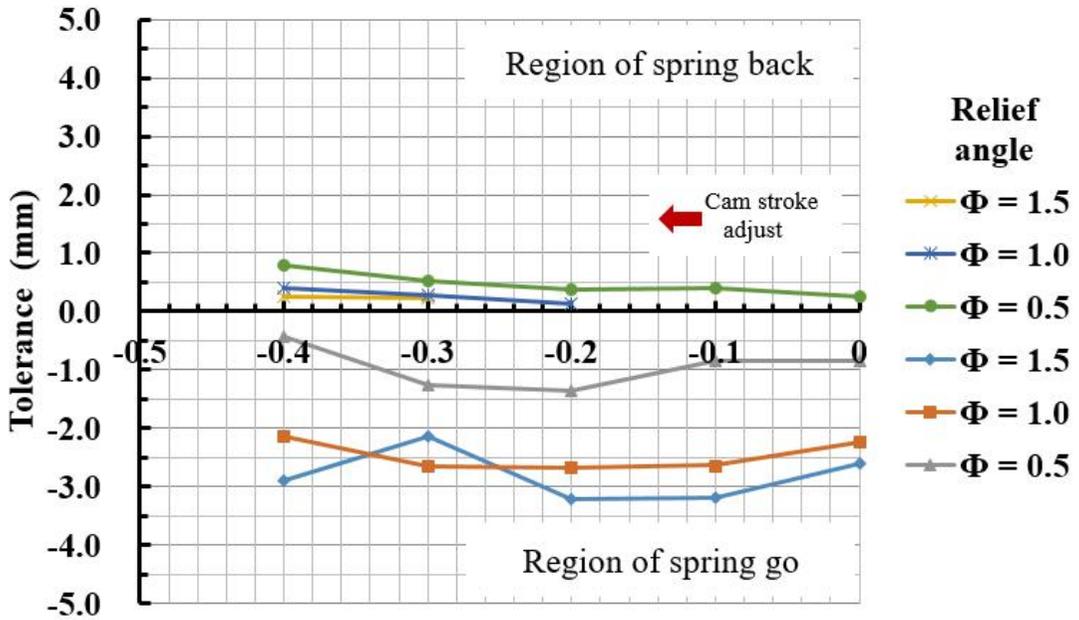


Fig. 55 5 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R5

7. 굽힘부 곡률반경을 R7.5 에 대한 해석 결과 및 분석

다음은 이 실험에 마지막 실험인 성형이 이루어지는 굽힘부 곡률반경을 R7.5 로 하였을 때 유한요소 해석 실험에 대한 결과 및 분석이다. 굽힘부 곡률반경 R 값이 커질수록 어떠한 변화가 나타나는지 알아보기로 한다.

가. 캠 스트로크 3 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

첫 번째 실험은 캠의 스트로크 설계를 3 mm 로 하고 보정각도 1.5° 도를 적용하여 패드 스트로크를 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm 하였을 때 어떤 결과가 도출되는지 알아보기로 한다. 먼저 캠에 스트로크 3 mm를 다 사용하여 캠을 완전히 버

텀 시키고 패드 스트로크 120 mm 를 적용하였을 때에 대한 유한요소 해석의 결과이다. Fig. 57 도출된 값은 스프링 고 상태인 -0.3 mm 에 값이 도출되었다. 공차 기준 ± 0.5 에 합격인 값이 도출되었다. 지금까지의 실험으로 확인할 수 있는 점은 캠 스트로크 3 mm 설계를 적용하였을 때는 곡률반경 R 값에 크기에 상관없이 공차 이내 값이 도출되었음을 확인 할 수가 있다. 다음은 캠에 스트로크를 -0.1 mm 하였을 때의 결과이다. 도출된 값은 스프링 고 상태인 -0.03 mm 에 값이 도출되었는데 지금까지의 실험에 있어 제품의 품질에 있어 가장 우수한 수치에 값이 도출되었다. 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행한 결과 캠 스트로크 -0.2 mm 에서부터는 스프링 백 상태로 약 1.0 mm 씩 수치가 일정하게 증가함을 알 수가 있었다. 다음은 130mm 패드 스트로크에 대한 실험이다. 패드 스트로크를 130 mm 로 적용하고 캠에 스트로크 3 mm를 모두 사용하였을 때 초기 값은 -1.9 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 58 특이한 점은 패드 스트로크 120 mm 와 비교해봤을 때 초기에 도출된 값에 차이가 크다는 것이다. 곡률반경 R3 과 R5 에 실험에서는 캠 스트로크 3 mm 를 사용하였을 때 패드 스트로크 120 mm 와 130 mm에서 도출된 초기 값에 차이는 0.2 mm 내였다. 이러한 현상이 발생한 원인은 아무래도 곡률반경 R 값에 크기의 차이에 있지 않을까 하는 추측이 든다. 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 하였을 때 스프링 고 상태인 -1.1 mm 에 값이 도출되었고 캠 스트로크 -0.2 mm 로 조정 하였더니 -0.3 mm 에 값이 도출되어 공차 기준 ± 0.5 mm 에 합격인 값이 도출되었는데 특이한 점은 캠 스트로크를 -0.4 mm 로 조정하였더니 제품에 형태가 스프링 백 으로 급변하면서 2.4 mm 에 값이 도출되었다는 점이다. 다음은 패드 스트로크를 140 mm 로 하였을 때에 결과이다. 패드 스트로크 4 mm를 모두 사용한 초기 값은 스프링 고인 -0.5 mm 값이 도출되었고 캠 스트로크를 -0.1 mm 로 조절 하였을 때 스프링 백인 0.1 mm 에 값이 도출되어 공차 기준 ± 0.5 mm 에 합격인 값이 도출되었다. 그리고 캠 스트로크 -0.2 mm에서 부터는 스프링 백에 값이 약 1.0 mm 씩 증가하였다. Fig. 59

다음은 보정각도 1.0° 도를 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 3 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시킨 유한요소 해석 결과는 Fig. 56 과 같이 상단 영역과 하단 영역에 모두 스프링 백 상태로 값이 도출되었다.

이와 같은 경우는 굽힘부 R 끝과 연결된 상단 영역이 하단 영역보다 더 큰 수치

이기도 하고 제품의 품질로 봤을 때 상단 영역이 배가 불러오는 형태이기 때문에
 실패로 처리를 한다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm 로 변경하여 유한요소 해석
 을 수행한 결과 캠 스트로크 3 mm를 모두 사용한 초기 값에서부터 스프링 백인
 0.1 mm 와 스프링 고인 -0.3 mm에 값이 도출되었다. 이렇게 상단 영역과 하단 영
 역에 동시에 값이 도출되면 제품에 품질에 있어 불량상태 이기 때문에 더 이상에
 캠 스트로크 조절은 의미가 없어 보인다. Fig. 58 다음은 패드 스트로크를 140 mm
 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 120 mm
 와 비슷한 경향을 보이며 상단 영역 과 하단 영역이 동시에 스프링 백 형태를 보
 여 제품에 품질에 있어 불량이기에 실패로 끝이 났다. Fig. 59

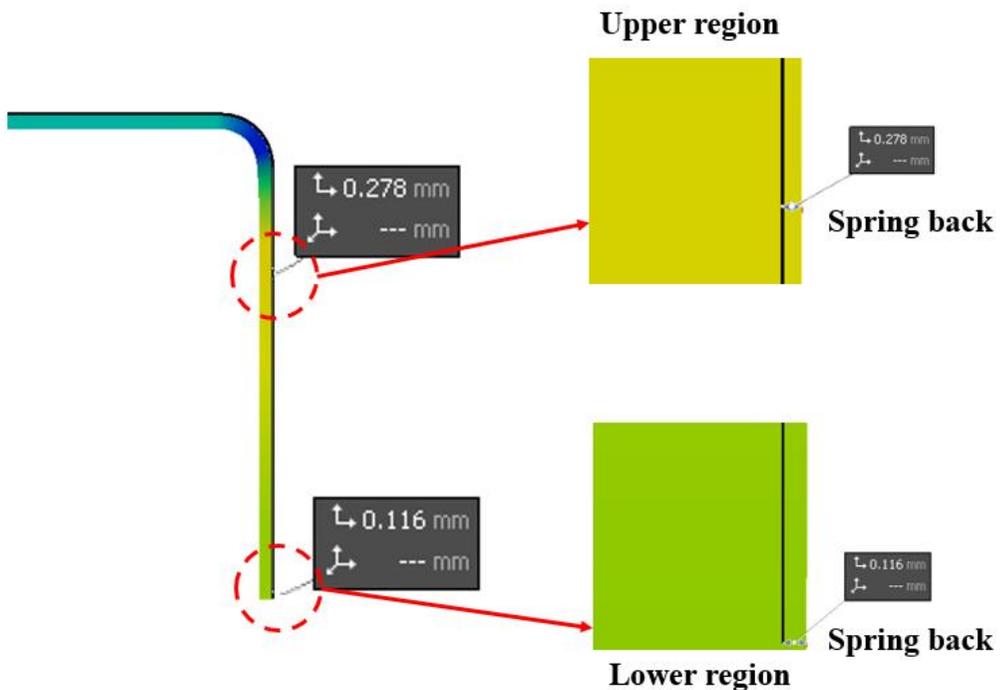


Fig. 56 Failures in product quality

다음은 캠 스트로크 설계를 3mm 로 하였을 때 마지막 실험으로 보정각도 0.5°도 에 대한 실험이다. 마찬가지로 패드 스트로크 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 0.5° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 3 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시킨 유한요소 해석 결과는 초기에 값이 스프링 백인 0.6 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 57 이어서 캠 스트로크 -0.1 mm 에서는 1.0 mm 에 값이 도출되었고 캠 스트로크 0.2 mm 에서는 스프링 백 1.5 mm 에 값이 도출되었다 캠 스트로크 0.4 mm 까지 유한 요소 해석을 수행한 결과 스프링 백 상태를 유지하면서 특이한 점 없이 일정한 수치에 값들이 도출되었다. 다음은 패드 스트로크를 130 mm 로 적용하였을 때의 결과이다. 패드 스트로크 130 mm 유한요소 해석 결과에서도 초기 값이 상단 영역은 스프링 백인 0.4 mm 그리고 하단 영역도 스프링 백인 0.2 mm 에 값이 도출되어 보정각도 1.0° 도 에 실험과 비슷한 경향을 보였으며 이 결과 값은 제품에 품질에 있어 불량이기 때문에 패드 스트로크 130 mm 는 실패로 끝이 났다. Fig. 58

다음은 캠 스트로크를 3 mm 로 설계 하고 보정각도를 0.5° 도로 하였을 때 마지막 실험은 패드 스트로크 140 mm 에 대한 실험이다. 패드 스트로크를 140 mm 로 하고 캠 스트로크 3mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시켜 도출된 초기 값은 상단 영역과 하단 영역에 모두 스프링 백인 값이 도출되었다. Fig. 59 이 또한 마찬가지로 제품에 품질에 있어 불량이기 때문에 패드 스트로크 140 mm 실험도 실패로 끝이 났다.

이로서 굽힘부 곡률반경 R7.5 에 캠 스트로크 설계를 3 mm 로 하였을 때의 실험은 모두 끝이 났다. 이 실험에 결과를 정리 해 보자면 보정각도 1.5° 도 실험에선 모두 공차 기준 ± 0.5 에 합격하며 성공으로 끝이 났고 보정각도 1.0° 도 와 0.5° 도 실험에선 공차 이내 값에 들어오는 수치들이 도출되었지만 제품의 상단 과 하단 영역에 스프링 백 현상이 동시에 일어나서 제품의 품질에 있어 불량이기 때문에 실험은 실패로 끝이 났다.

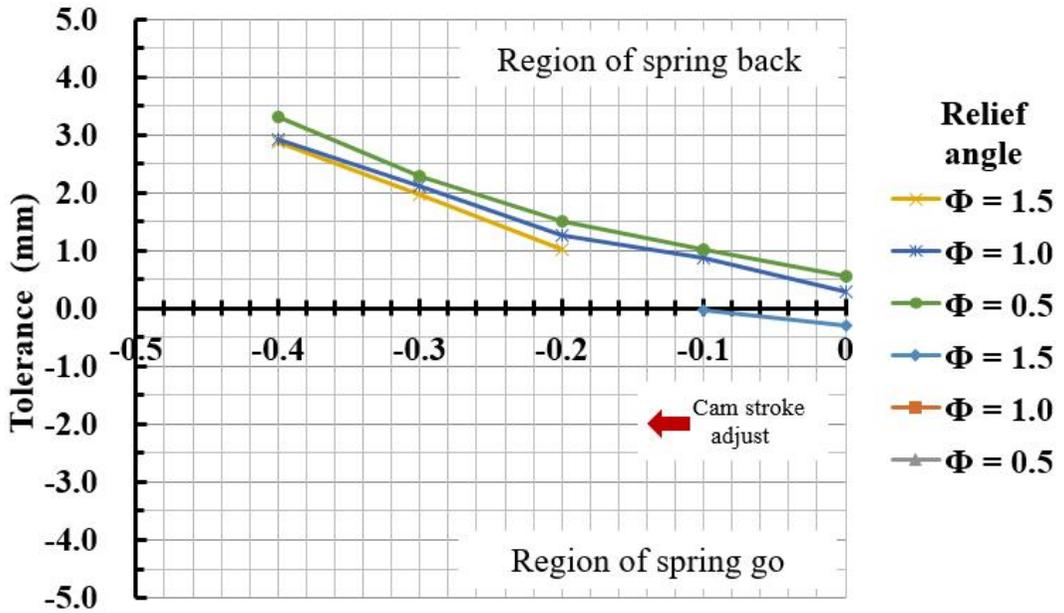


Fig. 57 3 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R7.5

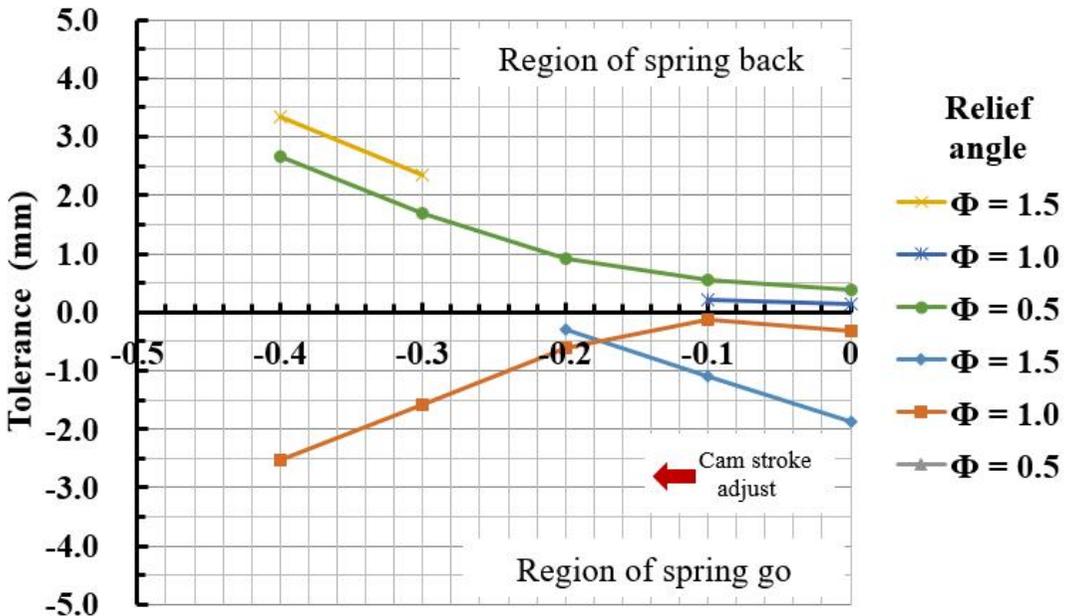


Fig. 58 3 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R7.5

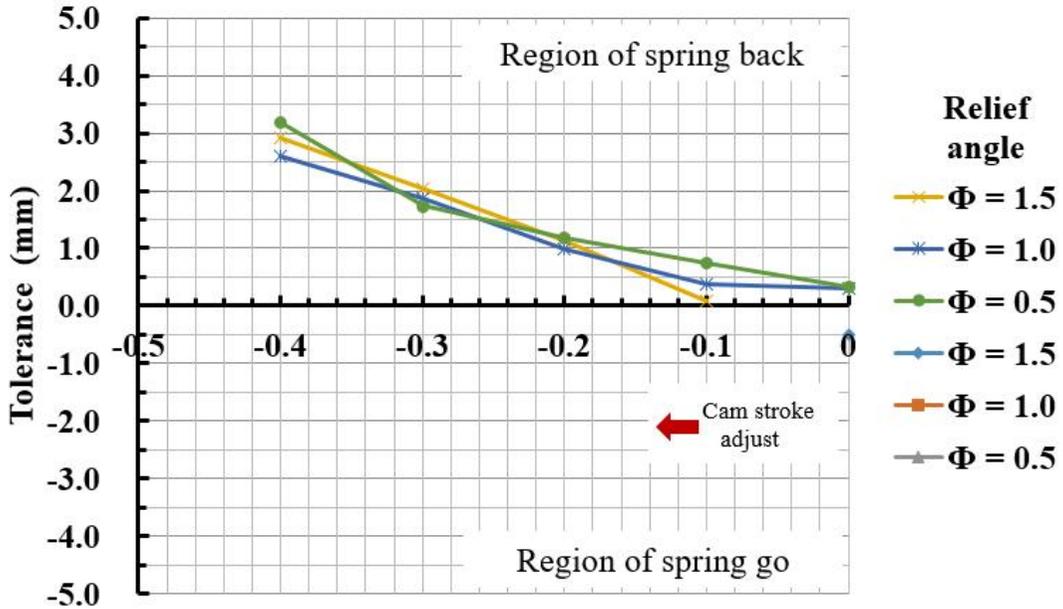


Fig. 59 3 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R7.5

나. 캠 스트로크 4 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

다음은 캠의 스트로크 설계를 4mm 로 하였을 때에 실험이다. 첫 번째 실험으로 보정각도 1.5° 도를 적용하고 패드 스트로크를 각각 120 mm, 130mm, 140mm 하였을 때 어떤 결과가 도출되는지 알아보기로 한다.

먼저 캠에 스트로크 4 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시키고 패드 스트로크 120 mm 를 적용하였을 때에 대한 유한요소 해석의 결과이다. 도출된 값은 스프링 고인 -0.6 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 60 공차 기준 ±0.5 에 근접 하는 값이 도출되었다. 제품에 정도를 맞추기 위해 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였다. 캠 스트로크를 -0.1 mm 조절한 결과 상단 영역은 스프링 백인 +0.3 mm 상태와 하단영역은 스프링 고인 -2.0 mm 에 값이 도출되어 제품의 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상 캠 스트로크를 조절은 의미

가 없는 걸로 판단이 되고 캠 스트로크를 -0.2 mm 로 조절 하였을 때 스프링 백인 0.53 mm 에 값이 도출되었는데 공차 기준 ± 0.5 에 거의 근접한 값이 도출되었지만 공차 기준을 넘어섰기 때문에 실패로 처리하기로 한다. 이로서 패드 스트로크 120 mm 에 실험은 실패로 끝이 났고 패드 스트로크를 130 mm 하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 알아보기로 한다.

다음은 패드 스트로크를 130 mm 로 적용하였을 때의 유한요소 해석 결과이다. Fig. 61 캠의 스트로크 4 mm 를 모두 사용하고 캠을 완전히 버텨 시킨 초기값은 스프링 고인 -1.7 mm 에 값이 도출되었고 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였지만 캠 스트로크를 -0.2 mm 에서 제품의 상단 영역에 스프링 백인 0.1 mm 와 하단 영역에 스프링 고인 -1.0 mm 에 값이 도출되어 제품의 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상 캠 스트로크를 조절은 의미가 없는 걸로 판단된다. 다음은 패드 스트로크를 140 mm 로 적용하였을 때의 실험 결과이다. 패드 스트로크 130 mm 에 결과와 비슷한 경향을 보였으며 마찬가지로 캠 스트로크를 -0.2 mm 에서 제품의 상단 영역에 스프링 백인 0.2 mm 와 하단 영역에 스프링 고인 -0.4 mm 에 값이 도출되어 제품의 품질에 있어 불량이기 때문에 더 이상 캠 스트로크를 조절은 의미가 없는 걸로 판단이 되고 140 mm 실험도 실패로 끝이 났다. Fig. 62

다음은 보정각도 1.0° 도를 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크를 각각 120 mm , 130 mm , 140 mm 를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 4 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시킨 유한요소 해석 결과는 초기 값에서부터 제품의 상단 영역에는 스프링 백인 0.3 mm 제품의 하단 영역은 -0.3 mm 에 값이 도출되어 제품의 품질에 있어 불량인 상태이고 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였지만 캠 스트로크를 -0.2 mm 에서 스프링 백인 0.6 mm 에 값이 도출되어 공차 기준 ± 0.5 에서 점점 멀어지는 것을 확인할 수가 있다. Fig. 60 다음은 패드 스트로크를 130 mm 하였을 때에 결과이다. 캠 스트로 -0.1 mm 에서 상단 영역은 스프링 고 하단 영역은 스프링 백인 결과가 도출되며 패드 스트로크를 120 mm 하였을 때와 비슷한 경향을 보였으며 캠 스트로크 -0.3 mm 에서 스프링 백인 0.6 mm 에 값이 도출되어 공차 기준에 근접하듯 보였으나 캠 스트로크 -0.4 mm 에서 스프링 백인 1.2 mm 에 값이 도출되어 패드 스트로크 130 mm 에 실험은 실패로 끝이 났다. Fig. 61 이어서 패드

스트로크를 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 130mm 와 유사한 경향을 보였으며 보정각도 1.0° 도 실험에선 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 순차적으로 적용하여 해석 실험을 하였지만 모두다 실패로 끝이 났다. Fig. 62

다음은 캠의 설계를 4 mm 로 적용하였을 때에 마지막 실험인 보정각도 0.5° 도에 대한 유한요소 해석을 수행해 보기로 한다. 마찬가지로 보정각도 0.5°에 대한 실험도 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 순으로 순차적으로 유한요소 해석을 수행하였다. 첫 번째로 패드 스트로크 120 mm 에서 캠 스트로크 4 mm 를 모두 사용하고 캠을 완전히 버텨 시켜 도출된 값은 스프링 백인 0.6 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 60 이렇게 초기에 도출된 값이 스프링 백에 형태를 가지며 공차 기준 0.5를 넘어서게 되면 실험은 실패이다. 이유는 현 상태에서 제품의 정도를 맞추기 위해 다음으로 행할 수 있는 방법은 캠에 스트로크를 조절하는 것인데 캠 스트로크를 -0.1 mm 할 때 마다 스프링 백 현상은 더 커지기 때문이다. 이로서 패드 스트로크 120 mm에 실험은 실패로 끝이 났고 다음은 패드 스트로크 130 mm 에 대한 실험이다. 패드 스트로크 130 mm를 적용하고 캠에 스트로크 4 mm 를 모두 다 사용한 초기 값은 제품에 상단 영역은 스프링 고인 0.3 mm 에 값이 도출되고 제품에 하단 영역은 스프링 고인 -0.3 mm 에 값이 도출되어 제품에 품질에 있어 불량인 상태이며 캠 스트로크를 -0.1 mm 로 조정 하였을 때는 0.5 mm 에 값이 도출되었지만 제품에 하단 영역은 제로 (Zero) 상태이고 제품에 상단 영역에만 스프링 백 형태로 돌출되듯이 05 mm 에 값이 도출되어 제품에 품질에 있어 불량이기 때문에 실패로 처리를 한다. Fig. 61 이어서 패드 스트로크를 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 130mm 와 유사한 경향을 보이며 실험은 실패로 끝이 났다. Fig. 62

이로서 굽힘부 곡률반경 R7.5 에 캠 스트로크 설계를 4 mm 로 하였을 때의 실험은 모두 끝이 났다. 이 실험에 결과를 정리 해 보자면 보정각도 0.5°도 실험에서 공차 기준 ± 0.5 이내에 값이 도출되었지만 제품의 상단 영역에 배가 불러오듯이 돌출된 형태를 가지면 제품에 품질에 있어 불합격인 것이다. 스프링 백 및 스프링 고에 형태가 성형 R 끝에서 자연스럽게 이어지면서 형태를 갖춰야 제품의 품질에 있어 합격인 상태가 되는 것이다. 이는 Page 65 캠 스트로크 3mm 설계 에 보정각도 1.0도 실험에서도 거론한바 있다.

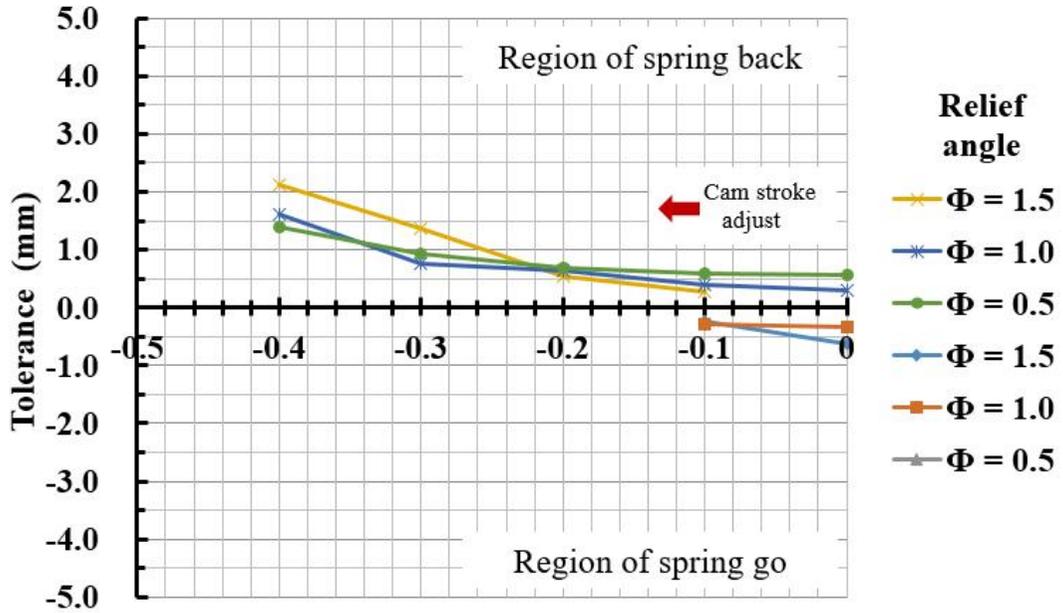


Fig. 60 4 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R7.5

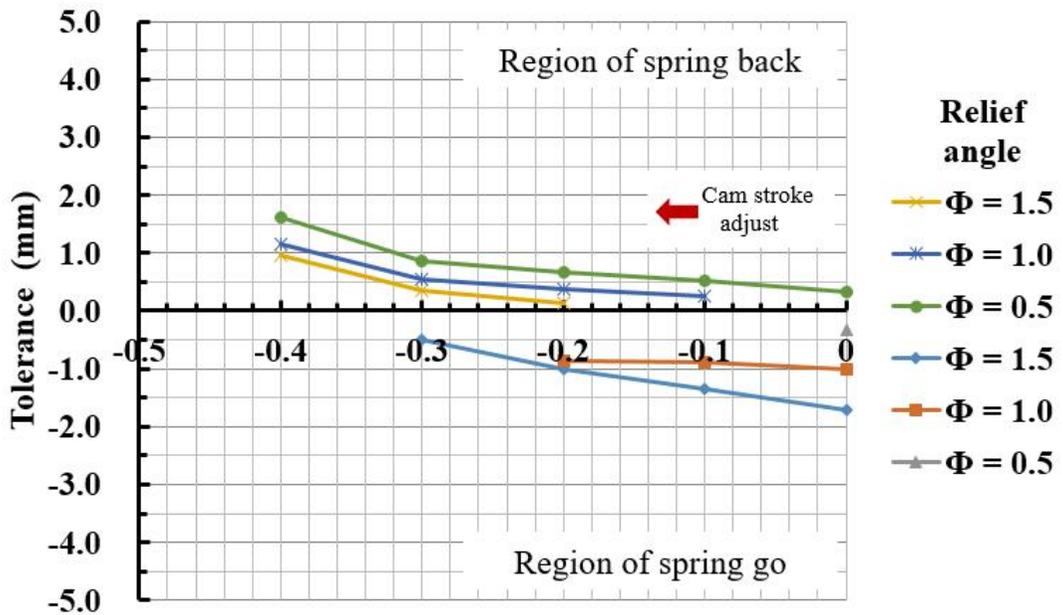


Fig. 61 4 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R7.5

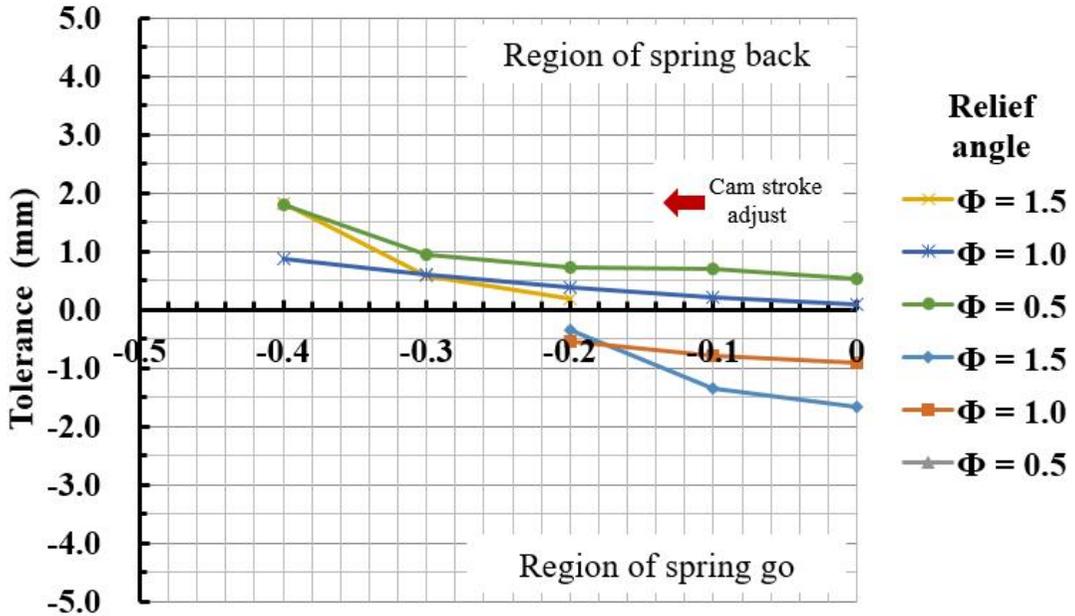


Fig. 62 4 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R7.5

다. 캠 스트로크 5 mm 설계에 대한 해석 결과 및 고찰

다음은 성형이 이루어지는 굽힘부 곡률반경 R7.5 에 마지막 실험인 캠 스트로크 5 mm 설계에 대한 실험이다. 이 논문에 있어 마지막 실험이기도 하다. 첫 번째 실험은 앞서 해왔던 실험과 동일한 수순으로 보정각도 1.5° 도 에 패드 스트로크를 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하여 유한요소 해석을 통하여 결과를 도출하는 것이다. 먼저 120 mm 패드 스트로크에 대한 실험이다. 패드 스트로크를 120 mm 로 적용하고 캠 스트로크 5 mm를 모다 다 사용하여 캠을 완전히 버팀 시켜 도출된 결과는 스프링 고인 -1.5 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 60 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였지만 캠 스트로크 -0.1 mm 에서부터 -0.3 mm 까지 도출된 값이 상단영역은 스프링 백이고 하단 영역은 스프링 고인 형태에 값들이 도출되었기 때문에 제품에 품질에 있어 불량

고 캠 스트로크를 -0.4 mm 로 조절하였을 때 스프링 백인 0.8 mm 에 값이 도출되어 공차 기준 ± 0.5 에서 벗어나 더 이상에 캠 스트로크 조절은 의미가 없는 걸로 판단이 된다.

이어서 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였지만 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되어 보정각도 1.5° 도 실험은 모두 실패로 끝이 났다. Fig. 61, 62

다음은 보정각도 1.0° 도를 적용하고 마찬가지로 패드 스트로크를 각각 120 mm, 130 mm, 140 mm를 적용하였을 때 어떠한 결과가 도출되는지 유한해석을 통하여 알아보기로 한다. 보정각도 1.0° 도에 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 5 mm 를 다 사용하여 캠을 완전히 버텨 시킨 유한요소 해석 결과는 초기 값에서부터 제품의 상단 영역에는 스프링 백 그리고 제품의 하단 영역은 스프링 고인 현상이 발생하였으며 캠 스트로크 조절 -0.3 mm 까지 동일한 현상을 유지하다 캠 스트로크 -0.4 mm에서 스프링 백인 0.1 mm 에 값이 도출되어 실패로 끝이 났다. 이어서 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 로 변경하여 유한요소 해석을 수행하였고 도출된 결과는 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향에 값들이 도출되었으며 실험결과 보정각도 1.0° 도 실험에선 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 로 순차적으로 적용하여 해석 실험을 하였지만 모두 실패로 끝이 났다. Fig. 60, 61, 62

다음은 굽힘부 곡률반경 R7.5 에 캠의 설계를 5 mm 로 적용하였을 때에 마지막 실험인 보정각도 0.5° 도 에 대한 실험이며 이 논문에 있어 마지막 실험이기도 하다. 보정각도 0.5°에 대한 실험도 앞서 실험했던 수순대로 패드 스트로크를 120 mm, 130 mm, 140 mm 순으로 유한요소 해석을 수행하였다. 첫 번째로 패드 스트로크 120 mm 를 적용하고 캠의 스트로크 5 mm 를 다 사용하고 캠을 완전히 버텨 시켜 도출된 초기 값은 스프링 백인 0.4 mm 와 스프링 고인 -0.3 mm 에 값이 도출되었다. Fig. 60 초기 값에서부터 스프링 백과 스프링 고에 형태로 제품에 품질에 있어 불량인 상태이다. 이어서 캠 스트로크를 -0.1 mm 씩 조절하여 -0.4 mm 까지 유한요소 해석을 수행하였고 캠 스트로크 -0.3 mm에서 제품에 하단 영역에만 스프링 백에 형태로 0.9 mm 에 값이 도출되었지만 이는 공차 기준 ± 0.5 에 벗어나는 수치이기 때문에 실험은 실패로 끝이 났다. 다음은 패드 스트로크를 130 mm, 와 140 mm 변경하였을 때에 대한 실험이다. 각각에 패드 스트로크를 적용하여 유한요소 해석을 수행하였다. 패드 스트로크 130 mm 의 경우 스프링 백 값이 일정하

게 증가하면 스프링 고에 값 또한 일정하게 감소하였고 패드 스트로크 140 mm에 경우 패드 스트로크 120mm 와 유사한 경향을 보이며 실패로 끝이 났다. Fig. 61, 62 이 실험에 결과를 정리하자면 보정각도 1.5° 도 실험에선 앞서 실험하였던 캠 스트로크 4 mm 설계에 비해 초기에 도출된 값이 약 두 배 이상 커진 걸 확인 할 수 있는데 이는 캠 스트로크 설계에 크기 차이가 이러한 결과를 발생한 걸로 사료되며 실험에 결과 대부분이 캠 스트로크 -0.1 mm 에서부터 제품의 상단 영역과 하단 영역에 스프링 백 및 스프링 고에 값이 동시에 도출되었음을 확인할 수가 있었다.

이로서 이 논문에 주제인 성형이 이루어지는 굽힘부를 R3, R5, R7.5 로 적용하고 제품을 U자 형태로 만들었을 때 스프링 백 및 스프링 고에 현상에 대한 문제를 개선된 금형에서 바로 대응할 수 있는가에 대한 검증은 유한요소 해석 실험을 통하여 모두 검증이 되었다.

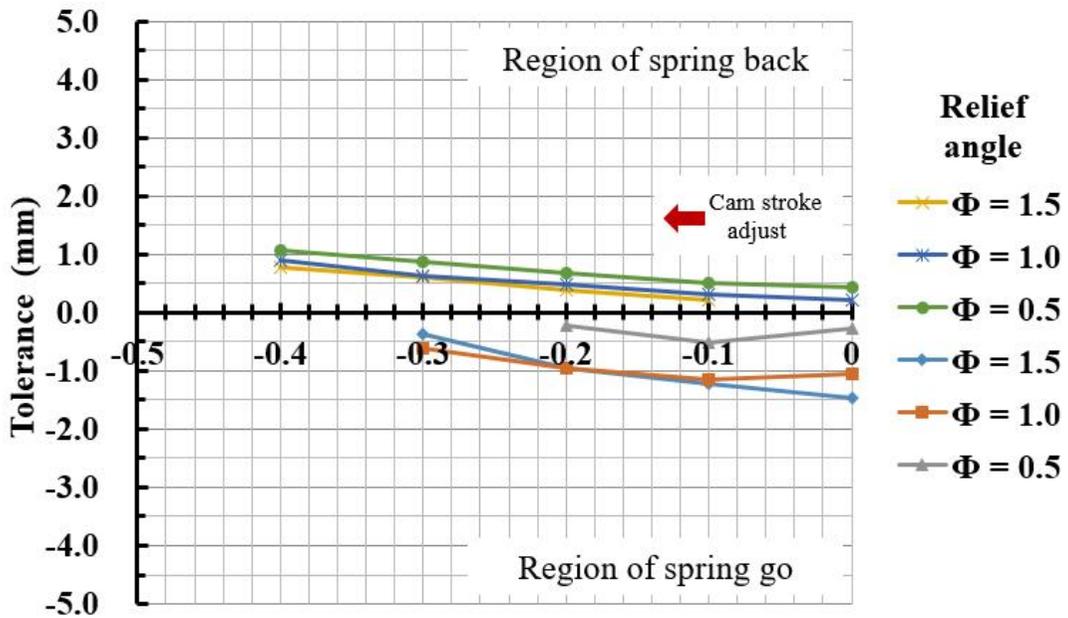


Fig. 63 5 mm cam stroke & 120 mm pad stroke result on bend R7.5

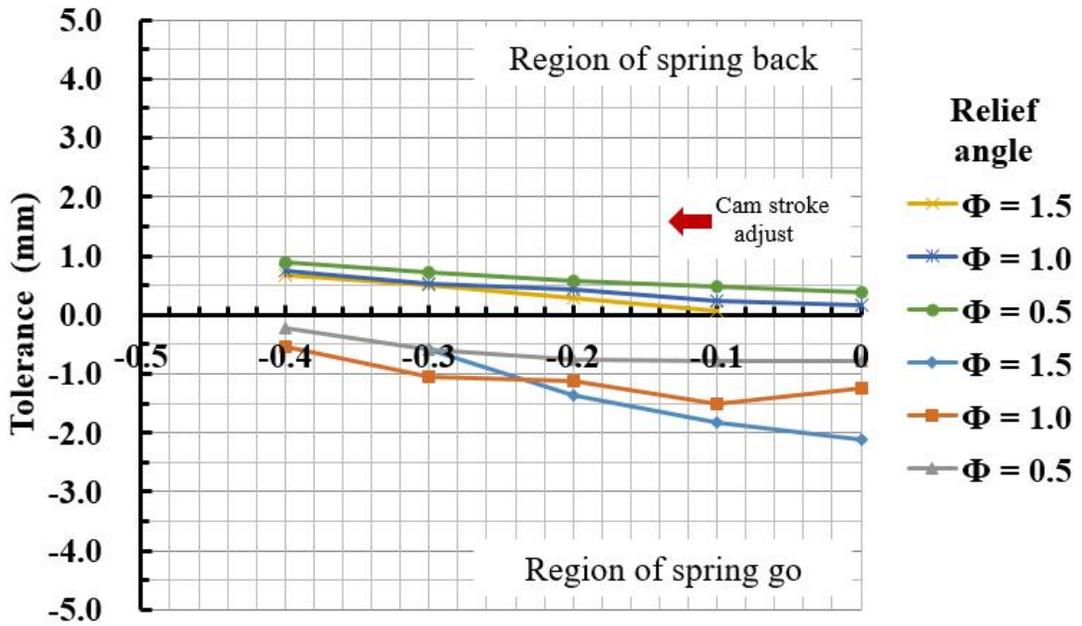


Fig. 64 5 mm cam stroke & 130 mm pad stroke result on bend R7.5

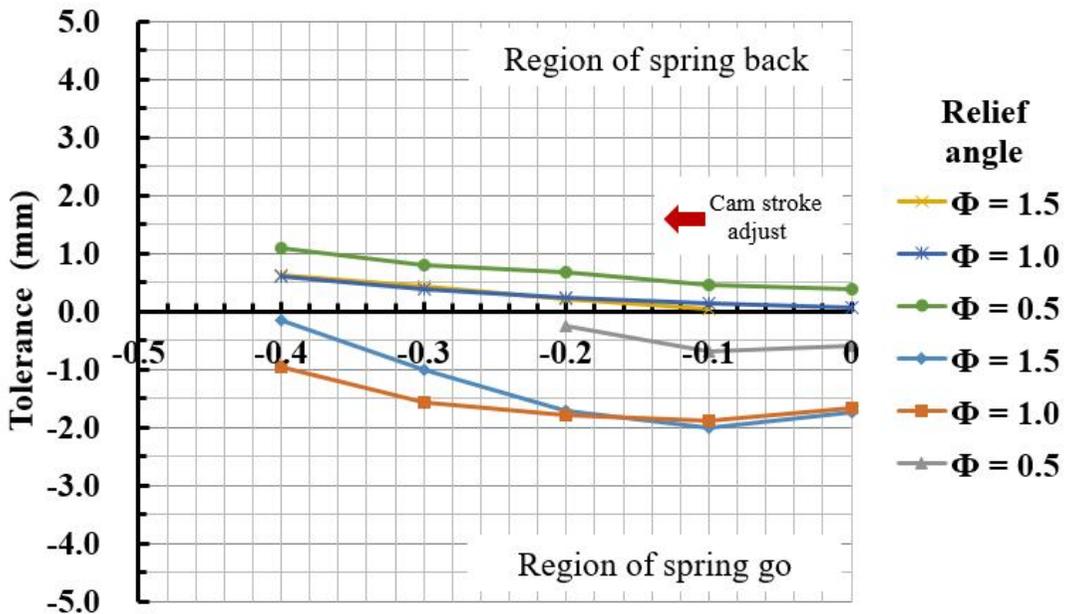


Fig. 65 5 mm cam stroke & 140 mm pad stroke result on bend R7.5

8. 공차 기준에 최적화 설계 및 결과

Table. 6 은 공차 기준 ± 0.5 에 합격되는 결과이며 캠 스트로크 설계를 3 mm 로 하고 상, 하 편치의 릴리프각도는 1.5° 도 그리고 마지막으로 패드에 스트로크를 120 mm에서 140mm 까지 미세조정 하였을 때 공차 기준내에 결과가 도출되었다.

DP590 굽힘부 곡률반경 R = 3 해석결과							
CamStroke		Relief angle	Pad stroke	Spring back	Spring go	tolerance standard	Result
3mm	2.7mm	1.5°	120mm		-0.3mm	+0.5(GO) -0.5(BACK)	OK
	2.7mm		130mm		-0.5mm		OK
	2.7mm		140mm	0.2mm	-0.5mm	NG	

DP590 굽힘부 곡률반경 R = 5 해석결과							
CamStroke		Relief angle	Pad stroke	Spring back	Spring go	tolerance standard	Result
3mm	2.9mm	1.5°	120mm	0.1mm		+0.5(GO) -0.5(BACK)	OK
	2.9mm		130mm		-0.2mm		OK
	2.8mm		140mm	0.4mm		OK	

DP590 굽힘부 곡률반경 R = 7.5 해석결과							
CamStroke		Relief angle	Pad stroke	Spring back	Spring go	tolerance standard	Result
3mm	3.0mm	1.5°	120mm		-0.3mm	+0.5(GO) -0.5(BACK)	OK
	2.8mm		130mm		-0.3mm		OK
	2.9mm		140mm	0.1mm		OK	

Table. 6 Results in Tolerance Criteria

제 5 장 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 금형에 의해 제품을 생산하는 방식 중 하나인 소재에 굽힘 (Bending) 가하는 공정에서 발생하는 고질적인 문제점인 스프링 백 (Spring back) 및 스프링 고(Spring go) 대하여 연구 및 실험을 하였으며 이러한 문제들이 발생할 시 품질 육성 없이 금형 자체에서 바로 대응할 수 있도록 개선 금형을 설계하였다. 금형에서 생산되는 제품은 비교적 단순한 U자 형상을 가지고 있으며 이러한 제품을 생산하는 이전 방식에 금형을 참고하고 문제가 될 만한 부분을 개선 시켰다. 개선된 금형은 스프링 백 및 스프링 고가 발생할 경우 금형 자체에서 바로 수정이 가능할 뿐만 아니라 제품 생산이 끝난 후 다른 재질에 소재를 사용하거나 소재의 두께 값이 바뀌어도 바로 금형에서 생산 가능하게끔 설계가 되어 있다. 이는 유한요소 해석 프로그램 Auto form R7 에서 검증하였다. 개선된 금형에는 CAM (캠) 이란 장치가 추가되었고 캠 스트로크 (Cam stroke) 를 조절 하여 제품에서 발생하는 스프링 백 및 고를 수정할 수가 있다. 캠 스트로크에 크기가 달라질 경우 어떠한 문제가 발생하는지 비교 실험을 하기 위해 캠 스트로크에 설계는 각각 3 mm, 4 mm, 5 mm 로 설계를 하였다. 성형이 이루어지는 굽힘부 곡률반경 R3, R5, R7.5 에 대한 실험결과 3 mm 스트로크로 설계하고 보정각도를 1.5° 도로 적용하였을 때 스프링 백 및 스프링 고에 현상을 개선된 금형 자체에서 캠 스트로크 조절만으로 모두 해결 되었으며 성공으로 실험이 끝이 났다. 패드 스트로크를 조절할 경우 패드에 발생되는 힘 (Force) 에 크기가 달라지고 이는 곧 공차 기준에 있어 미세한 값에 변화를 주기 때문에 제품의 정도를 맞추는 작업이 필요 하였으며 보정각도를 수정하는 경우는 캠의 스트로크를 다 사용하고 캠을 완전히 버텨 시켜 도출된 초기 값이 공차 기준 ± 0.5 에서 크게 벗어나 캠 스트로크 또는 패드 스트로크 조절만으로 문제를 해결 할 수 없는 상태일 경우 보정각도에 크기를 달리 하여 실험을 진행하였다. 비교 실험을 위하여 캠 스트로크 설계를 4 mm 및 5 mm 로 적용한 실험에서는 모두 실패의 결과가 도출되었는데 이러한 문제점이 발생된 기본적인 원인은 성형이 이루어지는 하형 펀치 (Lower punch) 와 상형 캠 펀치 (Upper cam punch) 의 틈 (Gap) 이 캠 스트로크 3 mm 설계에 비하여 비교적으로 크다 보니 소재를 U자 형태로 굽힘을 가할 때 상, 하형 펀치의 틈 이 커질수록 곡률반경 R 에 형태가

초기에 제대로 만들어지지 않은 상태에서 2차적으로 캠이 진입을 하여 R끝 을 한 번 더 꺾어 2차 성형을 가하는 상황이 발생되다 보니 많은 문제점이 도출되었다. 동일한 캠 스트로크와 보정각도 및 패드 스트로크를 적용하였다더라도 굽힘부 곡률 반경 R의 크기에 따라 여러 상황이 발생하였다. R3에 실험에선 초기에 도출된 값들이 대부분 스프링 고 형태였고 캠 스트로크 -0.2 mm에서 -0.4 mm 사이에 제품에 하단영역에 스프링 백 현상이 발생하였다. 굽힘부 곡률반경 R5 및 R7.5에선 대부분이 초기 또는 캠 스트로크 -0.2 mm에서 상단영역은 스프링 백 하단 영역은 스프링 고에 현상이 동시에 발생하였다. 그리고 같은 조건일 때도 각각에 곡률반경 R에 크기에 따라 초기에 도출되는 값들에 크기가 모두 다르다는 걸 확인할 수 있었다.

실험에 결론은 개선된 금형에 있어 캠 스트로크 설계를 3 mm로 하고 보정각도를 1.5°로 적용하였을 때 연구의 목적에 맞게 금형 자체에서 캠 스트로크 제어만으로 스프링 백 및 스프링 고에 대한 문제해결이 되었음이 유한요소 해석을 통하여 검증되었으며 캠 스트로크 설계를 4 mm와 5 mm로 하였을 경우 하형 펀치와 상형 펀치의 틈이 커지다 보니 곡률반경 R의 성형성에 문제가 생기는 걸 확인할 수 있었고 굽힘부 곡률반경 R에 크기에 따라 실험에 결과가 달라지는 걸 알 수가 있었다.

향후 과제로는 캠 스트로크를 4 mm, 5 mm로 적용하였을 때 스프링 백 및 고에 대한 문제를 해결할 수 있는 새로운 대책방안을 연구할 계획이며 본 논문의 실험에서 다루어진 제품에 형상은 비교적 단순한 U자 형태이지만 조금 더 복잡한 형상이 들어간 U자 형태의 Member나 Dash, Rainf 등의 제품에 개선된 설계방식을 적용하여 연구할 계획이다. 이상으로 본 연구에 대한 실험이 성공으로 끝이 났기 때문에 앞으로 스프링 백이나 스프링 고에 문제점이 발생하였을 경우 품질육성을 거치지 않고 금형자체에서 바로 수정 가능한 개선 금형을 활용함으로써 품질육성 등 불필요한 시간 및 작업등에서 벗어나 제작단가, 노동력, 납기 지연 등에 문제를 해결하는데 있어 큰 효과를 기대할 수 있을 것으로 본다.

REFERENCES

1. 이준희, “프레스금형 이론,” 한국산업인력공단, 1993.
2. 박일동, “금형공작법,” 한국산업인력공단, 2006.
3. 김세환, “프레스금형 설계학,” 대광서림, 1997.
4. 권혁홍, “금형기술사,” 다산서교, 2002.
5. GM 자동차, “GMDDS 금형 설계 표준,” 2010.
6. 정하영, “PRESS 금형설계의 기본,” 현대자동차, 1996.
7. Kim, J. C., Kwon, T. W. and Jeon, J. H., “Application Technology of High Strength Hot-Rolled Steels for Automotive Light weight Chassis Parts,” Proc. of 2005 Spring Conference of Korean Society for Technology of Plasticity, pp. 43-45, 2005.
8. Firat, M., “Computer Aided Analysis and Design of Sheet Metal Forming Process: Part III: Stamping Die-face Design,” Materials & Design, Vol. 28, pp. 1311-1320, 2007.
9. Kim, Y. H., Kim, T. W., Lee, Y. S. and Lee, J. H., “A Study on the Spring back of High-Strength TRIP Steel,” Transactions of Materials Processing, Vol. 13, No. 5, pp. 409-414, 2004.
10. Yang, W. Y., Lee, S. Y., Keum, Y. T., Hwang, J. Y., Yoon, C. S., Shin, C. S. and Cho, W. S. “Springback Control in the Forming Processes for High-Strength Steel Sheets,” Transactions of Materials Processing, Vol. 12, No. 8, pp. 718-723, 2003.
11. Satorres, A., “Bending Simulation of High Strength Steel by Finite Elements,” Master's Thesis, University of Oulu, 2005.
12. Ko, D. C., An, J. H., Jang, M. J., Bae, J. H., Kim, C. H. and Kim, B. M., “Process Design of Seat Rail in Automobile by the Advanced High Strength Steel of DP 780,” Transactions of Materials Processing, Vol. 17, No. 3, pp. 197-202, 2008.
13. Song, J. H., Huh, H., Kim, S. H. and Park, S. H., “Spring back Analysis of the

- Front Side Member with Advanced High Strength Steel,” Proc. of 2005 Spring Conference of Korean Society for Technology of Plasticity, pp. 106-109, 2005.
14. Hilditch, T. B., Speer, J. G. and Matlock, D. K., “Influence of Low-strain Deformation Characteristics of High Strength Sheet Steel on Curl and Spring back in Bend-under-tension Tests,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 182, pp. 84-94, 2007.
 15. Chen, P. and Koç, M., “Simulation of Spring back Variation in Forming of Advanced High Strength Steels,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 190, pp. 189-198, 2007.
 16. Kang, G. P., and Lee, K. H., “Calculation of Material Properties with JMatPro for the Process Simulation,” Proc. of 2008 Spring Conference of Korean Society for Technology of Plasticity, pp. 142-145, 2008.
 17. Shin, J. M., “Springback characteristics of Tailor-welded blanks in U-bending,” Paper of masters degree, Sungkyunkwan University, 2002.
 18. Hong, S. H., “(A) numerical study on the springback of automobile part,” Paper of masters degree, Seoul National University of Science and Technology, 2003.
 19. Song, D. H., “Design of Stamping Die for Inner Reinforcement Panel of Automotive,” the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol 8. No. 2, pp. 60-68, 2009.
 20. Jeong, D. G., “Analysis of springback mechanisms for the improvement of the shape accuracy in the stamping process,” Paper of masters degree, Daegu University, 2011.
 21. Lee, H. C., “Evaluation of the Springback Characteristics for Automotive Advanced High Strength Steel Sheet by V-bending Test,” Paper of masters degree, Chonnam National University, 2012.
 22. Park, J. H., “A Study on Two-Way Cam Type Piercing Die Equipment,” Paper of masters degree, University of Ulsan, 2015.
 23. Kwak, J. H., “Evaluation of Springback and Forming Characteristics of Ultra High Strength Steel Subjected to Blank Holding Force Control,” Paper of masters degree, Daegu University, 2017.

24. Tak, Y. H., "A study on spring-back of hat bending mold and formability using 980MPa ultra high strength steel," Paper of masters degree, Kyungpook National University, 2018.
25. Kwon, K. K., "Prediction of springback through coupled analysis of plastic process and Tool deformation," Paper of masters degree, Kangwon National University, 2019.
26. Yang, W. Y., "Development of Springback Reduction Technology for High-strength Steel Sheets," The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 1011-1016, 2002.
27. Lee, S. Y., "Design of Initial Blank for Springback Reduction," The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 1023-1027, 2002.
28. Song, D. H., "Springback analysis for the forming process of automotive inner reinforced plate using AUTOFORM," the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp. 47-50, 2008.
29. Chung, S. W., "Prediction on springback behavior of high strength steel using U-bending," The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 3560-3565, 2013.
30. Shin, S. C., "A Study of springback of aluminum 6016-T4 sheet material in U-bending process," The Korean Society Of Automotive Engineers, pp. 1088-1089, 2015.
31. Kim, Y. L., "U-bending spring-back mechanical characteristics of the dissimilar materials double layered sheet," The Korean Entertainment Industry Association, Vol. 9, No. 1, pp. 271-276, 2015.
32. Bang, G. B., "A Study on Stamping of the Center Pillar (High-Strength Steel-780MPa) Using Finite Element Analysis," Proc. of 2017 Spring Conference of Korean Society for Technology of Plasticity, Vol. 26, No. 2, pp. 87-94, 2017.
33. Kim, K. P., "Effect Study of Process Parameters for Prediction of the Springback in Bending Processes with the High Strength Steel," Korean Society for Precision Engineering, pp. 316-316, 2019.
34. Lee, W. H., "Prediction of springback for press forming analysis of DP780 material," The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, pp. 216-216, 2021.

감사의 글

적지 않은 나이에 직장 생활과 학업을 병행하는 것이 쉬운 일이 아니었습니다. 초기 대학원 문턱에 들어섰을 때 모든 게 낯설고 안절부절못하던 제 모습이 생각이 납니다. 2, 3학기에는 뜻하지 않는 코로나 영향으로 학교에 나가지 못하고 동영상으로만 강의를 시청하였던 게 많은 아쉬움으로 남았지만 이렇게 어려운 상황에서도 열성적으로 동영상 강의를 만들어 지도해주신 모든 교수님들께 감사에 말씀 전합니다.

초기 지도교수님 선정에 있어 어려움이 있었지만 기회를 주시고 먼저 손을 내밀어 주시고 아낌없는 지원과 지도로 많은 가르침을 주신 안동규 교수님께 감사에 말씀 전합니다. 또한 바쁘신 와중에서도 논문 심사를 맡아주신 한길영 교수님 그리고 김창래 교수님께 감사드립니다.

대학원 생활에 있어 모든 면이 미숙하고 부족함이 많았습니다. 코로나 영향으로 학교에 자주 등교를 못 하게 되고 저희 실험실 인원들과 자주 만나지를 못하다 보니 어색함이 있을 만도 한데 만날 때마다 항상 반갑게 맞아주시고 모든 면에서 도움을 주신 우리 실험실 학우 여러분들 정말 감사드립니다.

특히 논문을 작성함에 있어 이것저것 물어볼 때마다 귀찮을 법도 한데 항상 밝고 따뜻하게 맞아준 우리 광규, 선호 동생 그리고 단아 씨 정말 감사에 마음을 전합니다.

정말 부족한 게 많은 아들이지만 항상 뒤에서 묵묵히 지켜봐 주시고 믿고 응원 해주신 부모님께 감사하단 말씀 드리고 싶습니다.

마지막으로 모든 여러분들께 다시 한번 감사에 마음 전하며 대학원 생활의 경험을 바탕으로 더욱더 발전되고 노력하는 자세로 임하겠습니다.

2021 년 12 월 천 정 필