

강도보강용 STS304 베젤 프레임 헤밍 공정의 금형 설계

김강현¹ · 이상호¹ · 김병민[#]

The Die Design of STS304 Bezel Frame for The Strength Reinforcement in Hemming Process

G. H. Kim, S. H. Lee, B. M. Kim

(Received August 6, 2008)

Abstract

As the structure of a mobile phone becomes thin to catch up with a slim product trend, the structural strength and resistance to shock of TFT-LCD module are getting to be reduced. Hence, TFT-LCD module is the strength reinforced by bezel frame. The bezel frame was produced by the multi hemming processes with several folding parts. The determination of the optimal number of hemming part and structure of bezel frame are very important process parameter to obtain the strength of that. The effect of process parameters on strength of bezel frame was investigated by FEA. Based on the result of FEA, the experiment was performed using manufactured hemming die, the result of the experiment was compared with FEA and verified. Also, three point bending tests were performed to check the strength of bezel frame.

Key Words : Bezel Frame, STS304, Hemming, Die Design, 3 Point Bending Test, Strength Analysis

1. 서 론

최근 모바일폰(mobile phone)의 소형화 추세에 따라 TFT-LCD(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display) 모듈의 두께가 점차 얇아지고 있다. 이로 인해 구조적 강성도 줄어들고, 충격에 대한 저항이 작아지는 문제점이 발생되고 있다.

TFT-LCD 모듈의 메인 프레임인 베젤 프레임(Bezel frame)은 BLU(Backlight Unit)와 결합되어 LCD 모듈의 형상 유지와 충격으로부터 보호하기 위한 핵심 부품이다. Fig. 1은 LCD 모듈의 개략도를 나타낸 것으로 모듈의 대부분 재료는 내부식성 향상을 위해 STS304가 주로 사용되고 있으며, 소재는 0.5mm 이하의 박판이 사용되고 있다. 기존의 베젤 프레임 제조방식은 STS304 박판의

벤딩 공정과 플라스틱 사출공정을 결합하여 강도를 유지하는 방식이다. 그러나 플라스틱 사출로 보강된 방식은 구조 및 충격에 대한 저항도 낮은 편이다. 최근에 이를 개선하기 위해 STS304 박판을 이용하여 베젤 프레임 측벽부를 여러번 접는 다단 헤밍(multi hemming) 공정을 이용하여 두께가 얇으면서도 요구강도를 만족하는 새로운 구조의 베젤 프레임에 대한 연구가 진행되고 있다[1].

다단 헤밍 공정을 이용할 경우 베젤 프레임의 구조적 강성을 확보하고, 기존의 플라스틱 사출공정을 제거하여 시간과 비용을 줄이는 효과도 기대할 수 있다. 헤밍에 관련된 연구로는 3차원 부분 모델을 이용하여 헤밍 공정의 유한요소해석을 시도하였고[2], 평면 변형률 모델을 대상으로 플랜지 길이, 판재의 재질, 프리 헤밍 펀치 진입량이

1. 부산대학교 대학원 정밀가공시스템
교신저자: 부산대학교 기계공학부,
E-mail: bmkim@pusan.ac.kr

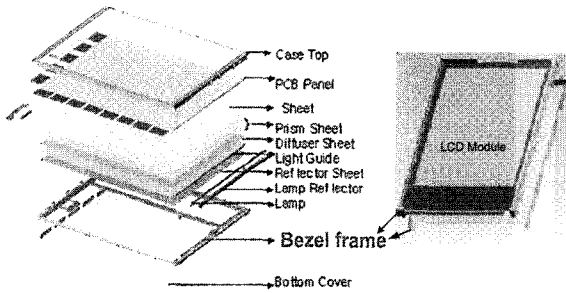


Fig. 1 Schematic of the LCD module

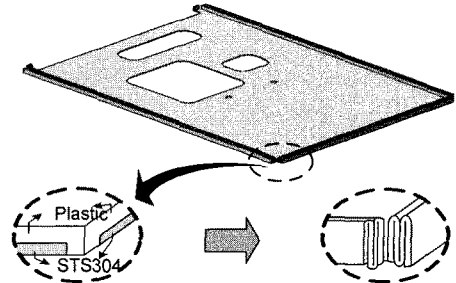


Fig. 2 The lateral shape of bezel frame

헤밍 치수에 미치는 영향을 검토 하였으며, 면 내 곡률과 플랜지 길이에 따른 헤밍 치수의 변화를 조사 하였다[3]. 한편, 캔 제품의 치수 변형을 방지하기 위한 최적 헤밍 공정 연구와 헤밍 공정 시 나타나는 결함의 정량적 분석을 시도 하였다[4]. 공정변수와 금형 설계의 최적화를 통하여 헤밍 품질을 개선할 수 있는 방안을 연구하였으며, [5~6], 유한요소해석에서 셸 요소와 솔리드 요소의 선택과 시간 적분법에 따른 해석 결과의 차이를 비교하고, 최근에는 재료의 이방성이 롤인(roll-in)에 미치는 영향을 실험과 해석을 통하여 분석하였고[7~8], 알루미늄 판재의 헤밍에 대한 실험적 연구도 수행하였다[9].

본 논문에서는 LCD 모듈의 강도를 충분히 확보할 수 있는 다단 헤밍 공정을 이용한 STS304 베젤 프레임을 접침 구조로 변경하여 구조해석을 통한 최소 헤밍 개수를 결정하고 이를 제조하기 위한 다단 헤밍 금형 개발을 하였으며, 강도 및 치수 정밀도를 실험으로 검증하였다.

2. 구조설계

2.1 베젤 프레임의 구조 변경

베젤 프레임은 LCD 의 BLU 와 결합되어 모듈 형상유지와 위치 보정, 그리고 충격으로부터 보호 하는 역할을 수행한다.

Fig. 2 는 베젤 프레임의 형상으로, 기존의 플라스틱 사출공정과 STS304 의 벤딩 공정으로 결합된 구조에서 다단 헤밍 공정을 이용한 구조로 변경된 그림이다.

2.2 헤밍 개수 선정

Fig. 3 은 베젤 프레임의 구조상 굽힘이 예상되는 방향으로 2 가지 형태의 3 점 굽힘 모델을 나

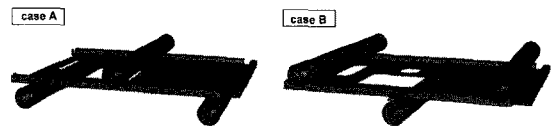
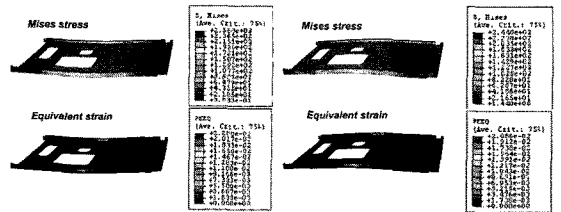
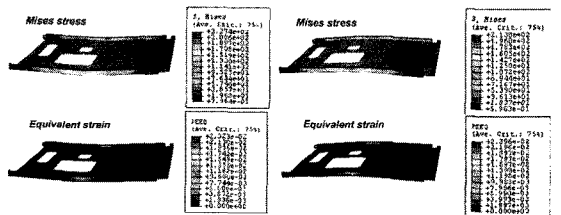


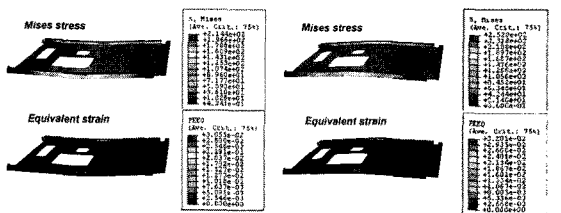
Fig. 3 The case of three point bending



(a) The number of hemming : 3



(b) The number of hemming : 4



(c) The number of hemming : 5

Fig. 4 A three point bending for CAE

Table 1 The result of three point bending test for CAE

Hemming number	A Case(N)	B Case(N)
3	41.06	37.28
4	44.52	39.81
5	67.84	49.92

타낸 것이다. 3 점 굽힘 시험 타입 중 case A 는 압입자를 밑에 두 개 두고 밑으로 내리는 방식이고, case B 는 반대로 위쪽에 압입자 두 개를 놓고 위로 올리는 방식이다.

LCD 모듈에서 베젤 프레임의 강도를 보강하기 위한 굽힘 강도는 50N 이상이며, 이때의 최소 헤밍부 개수를 설정하기 위하여 CAE 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 S/W 는 ABAQUS/Standard 이다.

각각의 경우에서 굽힘량 (deflection) 1mm 에서의 굽힘 하중이 기준강도 이상을 만족하는지를 평가하였다. 길이방향에서의 굽힘 하중에 대한 저항이 가장 취약할 것으로 판단하여 시험 하였다. Fig. 4 (a), (b), (c) 는 헤밍부의 개수를 3, 4, 5 개로 설정하였고, 해석의 편의를 위해 가공경화를 배제하고 탄성영역에 대해서만 CAE 해석한 결과이다. 굽힘량 1mm 에 대하여 각 조건에 대한 굽힘 하중(N) 을 해석한 결과를 Table 1 에 나타내었다. 헤밍부 개수가 3 개 일 때 굽힘 강도는 case A 가 41.06N, case B 가 37.28N 이고, 헤밍부 개수가 4 개일 때는 case A 가 45.52N, case B 가 39.81N 으로 나타났으며, 헤밍부 개수가 5 개 일 때 case A 는 67.84N, case B 는 49.92N 의 결과로 기준강도를 만족하기 위해서는 헤밍부 개수를 최소 5 개 이상으로 선정해야 함을 확인하였다.

3. 성형 공정 및 금형 구조설계

3.1 물성치 평가

베젤 프레임의 소재인 STS304의 물성치를 확보하기 위하여 인장시험을 수행하였다. Fig. 5 에서 보는 바와 같이 KS규격 5호 시편을 사용하였다. 시험편의 두께가 3mm이하인 박판에 사용되는 인장 시험편으로 나비는 25mm, 표점 거리 50mm, 두께는 0.3mm이다. Table 2 는 STS304의 방향별 소재 특성을 나타낸다. 압연방향의 0°, 45°, 90°에 대하여 가공경화지수(n), 이방성계수(r), 강도상수(K), 항복강도(YS), 인장강도(TS)를 나타내었다. 이를

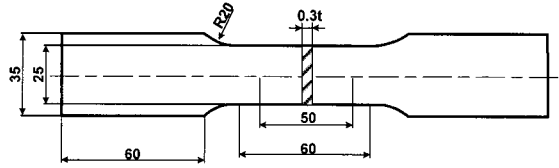


Fig. 5 Tensile test specimen (mm)

Table 2 The result of tensile test

Direction	0°	45°	90°
n	0.424	0.488	0.449
r	0.503	0.701	0.724
K (MPa)	1207.7	1245.23	1224.34
YS (MPa)	202.4	206.65	207.74
TS (MPa)	839.48	877.57	854.74

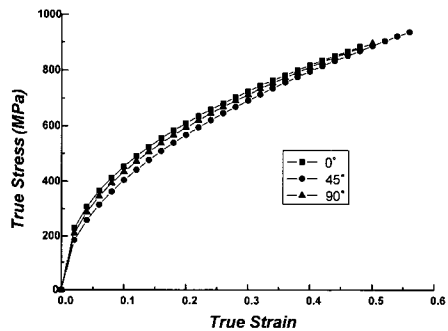
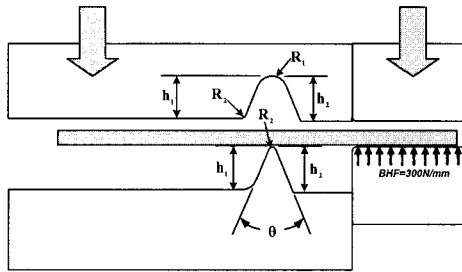


Fig. 6 Stress-strain curve of STS304 sheet

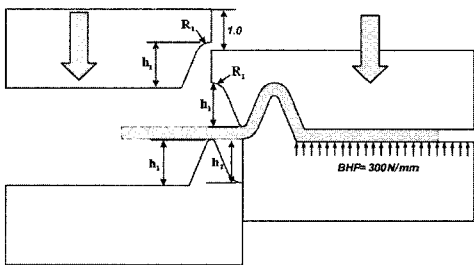
이용하여 Fig. 6 에 응력-변형률 선도를 나타내었다. 그리고 STS304의 탄성계수는 207GPa이고, 프아송 비는 0.3으로 설정하였다.

3.2 공정 설계

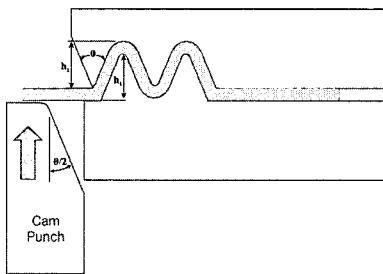
Fig. 7 은 헤밍부 성형을 위한 공정도를 나타낸 그림이다. 사용된 소재는 STS304 이며 소재의 두께는 0.3mm 이고, 최종 헤밍부 높이는 1.5mm 이다. 헤밍부 개수는 5 개로 설정하였고, 공정순서를 보면 1, 2, 3 차의 벤딩 작업을 마친 후 마지막으로 캠 펀치를 이용하여 헤밍 작업을 하는 순서이다. 1 공정에서 끝단부는 블랭크 홀더력 BHF(Blank Holding Force)를 주어 잡아주고 상부 다이를 이용하여 성형하는 방식이며, 2 공정에서는 소재가 연신 되어 파단 되는 것을 방지하기 위해 금형을 분할하여 성형하였다. 금형 설계에 있어서의 주요 변수로는 금형 R 과 벤딩부 높이 h 가 있다. 이에



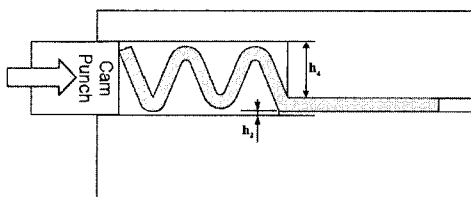
(a) First bending process



(b) Second bending process



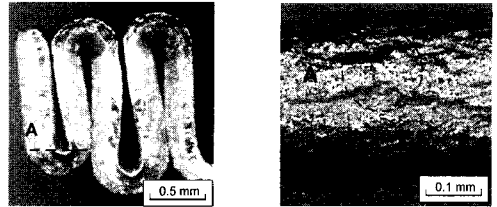
(c) Third bending process



(d) Hemming process

Fig. 7 Multi hemming process sequence

따라 최종 헤밍시 높이차가 발생하게 된다. 따라서 변수들의 조합이 맞지 않으면 Fig. 8 과 같은 현상이 나타난다. Fig. 8 의 (a)에서 보듯이 최종 헤밍 후 배젤 프레임의 형상은 높이가 일정하지



(a) The result of experiment (b) Crack formation
Fig. 8 The result of experiment by initial die

는 것을 확인 할 수 있고, (b)와 같이 벤딩부 곡률의 측에 크랙이 발생하였다.

3.3 금형 설계 규칙과 소재전개길이 결정

다음의 Fig. 9 에서 실선으로 표시된 그림은 초기 설계 금형으로 2 공정 곡률부 연장선 부위가 기준으로부터 위쪽에 위치하여 헤밍시 3 공정까지 영향을 미친다. 점선으로 표시된 그림은 기준에 일치하는 연장선을 그어 내측곡률을 완성하였다.

설계 규칙은 O 를 기준으로 하여 A 부 반지름의 내측 곡률부분에서 연장선을 그어 기준점과 동일 선상에 위치 하도록 설계하고, B 부위도 마찬가지로 기준점과 같은 높이로 설정하였다. 이런 설계 규칙을 통하여 금형 형상을 설계하면 설계규칙을 사용하지 않고 설계 하던 것보다 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

또한 금형의 설계를 통하여 가공할 초기소재의 전개길이를 결정하는 것도 매우 중요하다.

V 굽힘에서 전개길이를 구하는 공식은 일반적으로 잘 알려진 중립면 길이를 이용한 계산법을 사용하였다[10].

본 연구에서의 소재두께는 0.3mm 이며, 최소굽힘반지름 값은 0.3mm 이다. 소재 두께 t 에 대해 최소굽힘반지름 R 로 나눈 값이 1.0 이므로 λ 는 0.3 이다. Auto CAD 를 이용하여 설계한 금형을 토대로 벤딩된 소재를 Fig. 10 과 같이 직면부와 굽힘부로 나누어서 각각의 길이를 구하였다. 각각의 길이를 위의 식에 대입하여 26.1073mm 의 초기소재 길이를 구할 수 있었다.

3.4 유한요소해석 및 결과

Fig. 11 은 헤밍 성형시 펀치의 행정거리 별로 해석 결과를 나타낸 것이다. 해석시 상용 S/W 인 DEFORM-2D 를 사용하였다. 설계규칙을 적용하지 않은 금형 (a)와, 설계규칙을 적용하여 설계한 금형 (b)를 이용하여 각각 성형해석 하였다. Fig. 11

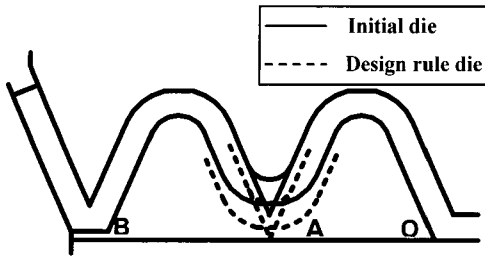


Fig. 9 The design rule of die

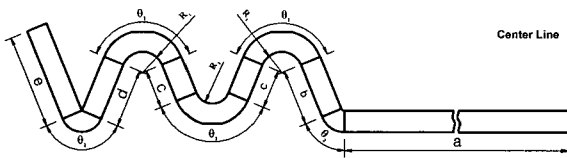


Fig.10 Material length of bended product

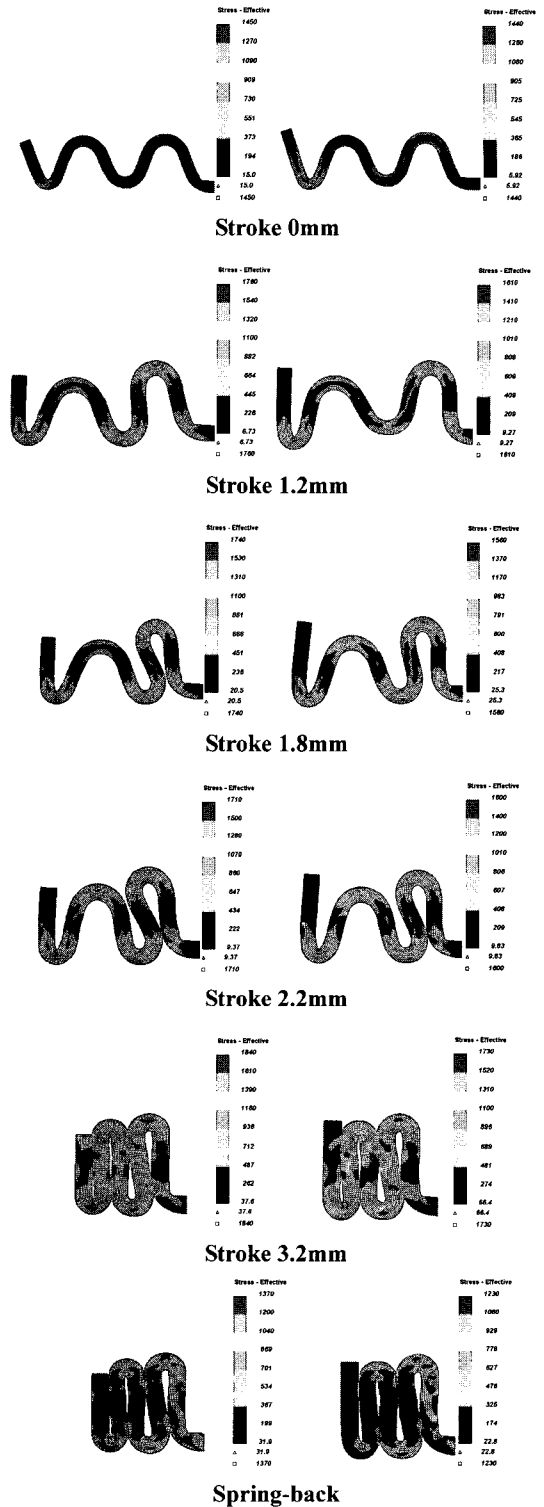
의 (a) 그림 행정거리 1.2mm에서, 2차 벤딩 부위가 기준 O보다 더 아래에 있기 때문에 헤밍 성형시 접히는 부위가 (b) 와 비교했을 때, 소재가 유동하면서 3차 벤딩부까지 영향을 미쳐 최종 헤밍 성형시 $1.5 \pm 0.05\text{mm}$ 에 대한 공차는 1차 벤딩부에서 3차 벤딩부 까지 각 부위별로 1.6mm, 1.56mm, 1.43mm로 나타나 높낮이가 맞지 않음을 알 수 있다. 반면, 설계규칙을 적용한 해석은 1.53mm, 1.5mm, 1.51mm로 나타나 높이가 비교적 잘 맞는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 설계규칙을 적용한 경우 최종 헤밍시 재료 내부에 발생된 유효응력의 최대값은 1230MPa로 설계규칙을 적용하지 않은 경우의 1370MPa보다 작고, 균일한 것으로 나타났다.

4. 실험 및 고찰

4.1 베젤 프레임용 금형 제작 및 실험

금형 설계규칙을 적용하여 CAE 해석한 결과를 바탕으로 실제 금형을 제작하였다. Fig. 12는 설계규칙을 적용하여 소재가 이동하면서 공정별로 순차적으로 성형 되게 제작한 프로그래시브 금형으로 상부 다이와 하부 다이의 사진이다.

프로그래시브 금형을 이용하여 생산된 베젤 프레임을 Fig. 13에 나타내었다. 소재가 이동하면서 편칭과 피어싱, 벤딩, 헤밍 공정을 거쳐 순차적으로 가공되어 나온 최종 제품이다.



(a) Initial design die (b) New design die

Fig.11 The CAE result of hemming process

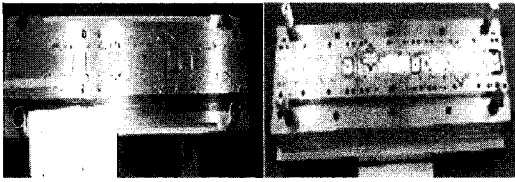
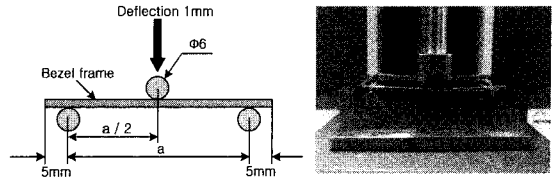


Fig.12 Progressive die set



(a) The experiment method (b) Test equipment

Fig.15 A three point bending test of bezel frame

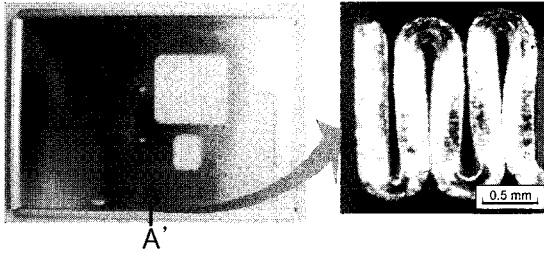
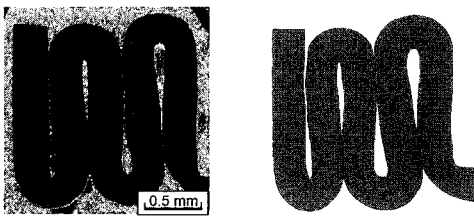


Fig.13 A trial product of bezel frame(110X)

Table 3 The result of three point bending test

case	Bezel frame	
	Maximum Deflection (mm)	Maximum Load (N)
1	1.00	72.12
2	0.99	70.30
3	1.01	72.22
4	0.99	73.69
5	0.99	74.28



(a) Experiment (b) CAE

Fig.14 Comparison of hemmed shapes (110X)

실제 실험한 결과와 CAE 해석을 통해 나온 결과의 비교를 Fig. 14 의 (a) 와 (b)로 나타내었다. 실험한 결과에서 헤밍 부위를 절단하여 제품 단면부를 마운팅 한 후 폴리싱 하고, 110 배율로 촬영한 형상이다. 헤밍부 높이 $1.5 \pm 0.05\text{mm}$ 의 공차이고, 헤밍부 폭 치수도 높이의 마찬가지로 $1.5 \pm 0.05\text{mm}$ 이다. 그림에서와 같이 CAE 해석한 결과와 실제 실험한 결과가 일치하는 것을 확인할 수 있다.

4.2 베젤 프레임의 3 점 굽힘 강도시험

생산된 베젤 프레임 제품이 얼마나 견고하며, 높은 강성을 가지는가에 대한 실험으로 KS B 0804 굽힘 테스트 규격을 이용하여 굽힘 강도시험을 수행하였다. Fig. 15 의 (a) 에서 보듯이 지름 6mm 의 바를 이용하였고, 길이방향의 끝 부분에서 부터 압입자 중심을 5mm 떨어진 곳에 위치

시켰고, 두 압입자 중심에 하나의 압입자를 위치시킨 시험 방법을 나타내었다. (b)는 실제 강도시험 장비로 실험한 그림이다. 3 점 굽힘 강도시험에 대한 결과를 Table 3 에 나타내었다. 총 5 개의 시편으로 실험하였으며, 굽힘량 1mm 에 못 미치는 수치는 오차 범위로 두었다. 모든 실험 case 에서 기준강도 50N 이상을 만족하는 결과가 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 TFT-LCD 모듈의 두께가 얇아짐에 따라 요구되는 강성이 현저히 낮아지고 있는 현실을 극복하기 위하여 다단 헤밍 공법을 적용한 베젤 프레임을 설계하고, CAE 해석을 이용한 공정 설계를 수행하였으며, 이를 토대로 하여 금형 설계를 수행하였다.

본 연구의 주요 내용을 요약하면 다음과 같다.

(1) 기존의 플라스틱 사출공정과 벤딩 공정으로 조합된 베젤 프레임 제조공정을 다단 헤밍 공정을 도입하여 새로운 구조로 변경하였다.

(2) 금형 설계 규칙을 적용하여 제조된 제품은 $1.5 \pm 0.05\text{mm}$ 공차에 대하여 만족하는 결과를 보였으며, 굽힘에 대한 요구 강도에서 기존의 제품보다 설계 규칙을 적용한 제품이 강도적 측면에서 더 우수함을 알 수 있었다.

(3) 베젤 프레임의 헤밍부 높이 치수 정도에

가장 큰 영향을 미치는 금형 형상 인자는 곡률부 R 과 벤딩부 높이 h 이며, 곡률부 R 은 굽힘시 최소 곡률반지름을 적용하여 설계하였고, 벤딩부 높이 h 는 최종 헤밍시 높이 1.5mm 에 맞도록 설계하였다.

점차 얇아지는 TFT-LCD 모듈의 두께에 따라 더욱더 얇은 베젤 프레임의 개발이 필요하며, 향후 보다 다양한 공정 변수에 대하여 헤밍시 미치는 영향에 관한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터사업(R15-2006-022-03003-0) 지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

- [1] G. H. Kim, S. H. Lee, D. H. Kim, Y. J. Lim, B. M. Kim, 2008, The Design of Reinforcement STS304 Bezel Frame Die Using Hemming Process, Proceeding of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference, pp. 437~438.
- [2] H. Y. Kim, H. T. Lim, H. J. Kim, W. H. Lee, C. D. Park, 2003, 3-Dimensional Finite Element Analysis of Hemming for Automotive Outer Panels by Part Model Assembling Method, Trans. Mater. Proc., Vol. 13, No. 2, pp.115~121.
- [3] K. H. Kim, K. H. Han, T. H. Kwon, 1999, Elastic Spring-back in Hemming Process, Proc. Of 5th HANPAM, Hanguok ESI, pp.399~404.
- [4] S. B. Lee, D. H. Kim, B. M. Kim, 2002, Hemming Process Design of the Permalloy Shielding Can for the Stiffness and Shape Accuracy, J. Korean Society for Precision Engineering, Vol. 19, No. 5, pp. 29~35.
- [5] H. Livatyali, T. Altan, 2001, Prediction and elimination of springback in straight flanging using computer aided design Methods, J. of Mat'ls Proc. Tech., Vol.117, pp. 262~268.
- [6] H. Livatyali, A. Mderrisođlu, M. A. Ahmetođlu, N. Akgerman, G. L. Kinzel, T. Altan, 2001, Improvement of hem quality by optimizing flanging and pre-hemming operations using computer aided die design, J. of Mat'ls Proc. Tech., Vol.98, pp. 41~52.
- [7] M. Svensson, K. Mattiasson, 2000, Simulation of Hemming with Different Element Formulations and Time Integration Methods, Proc. Of NUMIFORM 2001.
- [8] M. Svensson, K. Mattiasson, 2002, The Influence of anisotropy on the roll-in in hemming, A comparison between FE-simulation and practical tests, Proc. of NUMISHEET 2002, pp. 261~266.
- [9] A. Mderrisođlu, M. Murata, M. A. Ahmetođlu, G. L. Kinzel, Altan, 1996, Bending, Flanging, and Hemming of Aluminium Sheet an Experimental Study, J. of Mat'ls Proc. Tech., Vol.59, pp. 10~17.
- [10] J. S. Lee, J. I. Lee, 1985, Die Design, Sung An Dang, p. 131.