

크롬 코팅 처리된 금형에서 박판의 온간 딥드로잉 성형성에 관한 연구

이재동* · 최치수** · 최이천** · 김현영*** · 서대교****

(1999년 11월 3일 접수)

A Study on the Warm Deep Drawing Ability of Sheets on Cr-Coating Die

J.D. Lee, C.S. Choi, Y.C. Choi, H.Y. Kim and D.G. Seo

Abstract

Some deep drawing characteristics to the elevated temperatures were investigated for the SCPI steel sheets by using the Cr-coated die. For this investigations, six steps of temperature ranges, from room temperature to 250°C, and six kinds of drawing ratio, from 2.4 to 2.9 were adopted. As a result, the limiting drawing ratio, maximum drawing force, and the maximum drawing depth were sensitively affected by the elevated temperatures, and the more stable thickness strain distribution was observed to the elevated temperatures. Some experimental results were compared with analytical results using the DYNA-3D code.

Key Words : Warm Deep Drawing, Drawing Depth, Limiting Drawing Ratio(LDR), Maximum Drawing Force, Thickness Strain Distribution

1. 서 론

자동차 강판 부품중 대표적인 난가공 부품으로 Trunk floor, Door inner, Oil pan, Wheel house 등이 있는데, 이들은 드로잉 깊이가 깊고 형상이 복잡하여 드로잉 공정도 2공정 이상이고 성형성이 좋은 소재를 선택해 가공하고 있다. 그러나 연속 가공 중 크랙, 소착, 주름, 스크

래치 등이 빈번하여 작업 가동률 저하, 불량률 증대, 금형 형상의 잦은 변경 및 금형 마모 등 여러 가지 문제를 내포하고 있다. 이러한 불량 발생의 원인은 첫째, 제품 형상 자체의 드로잉 깊이가 소재의 성형 한계에 가깝기 때문에 성형성 안정 영역이 축소됨에 따라 성형 공정이 소재 물성의 편차에 상당히 민감하게 되고 둘째, 200타 이상의 연속 작업시 금형에 열이 축적되어 금형 온도 상

* 성균관대학교 대학원

** 기아자동차 (주)

*** 강원대학교 기계공학과

**** 성균관대학교 기계공학부(책임저자)

승에 의한 금형 클리어런스 감소로 마찰이 증대되고, 유입성이 저하되며, 소재의 온도의 상승에 의한 재질의 열화가 발생하기 때문이라고 판단된다.

현재 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 소재에 윤활유를 도포하는 경우는 후 공정에서 용접불량 및 도장불량의 원인이 되고 있고 안정된 성형 영역을 확보한 소재는 미개발 상태이다. 따라서 이러한 문제의 해결방법으로 편치는 냉각하여 재료 강도를 증가시켜 과단을 지연시키고 다이는 가열하여 재료의 강도를 감소시켜 재료의 유입을 용이하게 하는 효과와 금형의 온도를 일정하게 유지시킬 수 있는 효과를 이용한 온간 성형방법이 제시되었다.

Ohwue^(1,2) 등은 고온에서 재료에 따른 인장강도와 청열 취성효과가 딥드로잉 가공에 미치는 영향을 고찰하였고 Nohara⁽³⁾ 등은 스테인리스 강판의 온간 딥드로잉과 리스트라이크(restrike) 가공성을 평가하였다.

Watanabe⁽⁴⁾ 등은 오스테나이트 스테인리스강의 온도에 따른 가공 유기 마르텐사이트 변태가 성형성에 미치는 영향을 검토하였다. Shinagawa⁽⁵⁾ 등의 연구에서는 유한요소법을 이용하여 STS 304 스테인리스강판의 온간 성형시 가공유기 마르텐사이트 조직의 변화량을 예측하였고 이 조직에 의한 가공경화정도를 온간 성형성을 평가하는데 이용하였다.

Leighton⁽⁶⁾ 등은 AKDQ강의 온간 성형성을 평가하였고 Zeng⁽⁷⁾ 등은 딥드로잉 가공에서 발생하는 주름(wrinkle)의 온도에 따른 영향을 평가하였다. Kim^(8,9) 등은 블랭크 형상과 성형속도에 따른 STS 304 스테인리스 강판의 온간 성형성을 평가하였고 Keum^(10,11) 등은 알루미늄 합금박판의 온간 성형성을 실험 및 해석으로 평가하였으며 Seo⁽¹²⁾ 등은 온도에 따른 금형의 마찰실험을 수행하여 마찰계수의 변화를 검토하였다.

본 연구는 먼저 SCP1 소재에 대한 기초실험 과 온간 딥드로잉 실험을 수행하고 온간 성형효과를 기존의 FEM Code (DYNA-3D)에 접목시켜서 해석결과와 실험결과와 비교해 본다. 마지막으로 재료의 온간 성형성 효과와 성형변수 등을 고찰하여 재료의 성형성 향상을 평가하고자 한다.

2. 실험

2.1 기초실험

0.7mm의 SCP1종 소재에 대한 기초실험으로 온도별 인장실험과 온도별 마찰실험을 수행하였다. 모든 실험은 상온에서 250℃까지의 범위에서 수행되었으며 인장실험은 압연방향에 대해 각 방향으로 측정된 후 평균치를 구

하였고 마찰실험은 본 실험과 동일한 크롬 코팅 다이에서 2MPa의 홀딩 압력 하에서 수행되었다. Table 1에 주어진 결과를 보면 온도가 증가함에 따라 인장강도(T.S.), 연신율(El.), 강도계수(P.C.), 가공경화지수(S.H.C.) 등이 모두 감소하는 경향이 나타났고 마찰계수(F.C.)는 약간 증가하는 경향을 나타냈다. SCP1종 소재는 주로 자동차 부품 재료로 사용하는 드로잉 전용 재료로써 Table 2에 화학적 조성이 나타나 있고 본 연구에서는 B항에 해당하는 소재를 채택하였다.

2.2 실험장치 및 실험방법

본 실험을 위해 Fig. 1, Table 3, Table 4 등에 주어진 금형을 제작하였다. 편치는 냉각수를 순환시킬 수 있도록 설계하였고 다이와 블랭크 홀더에는 1Kw의 가열 파이프를 각각 설치하였다.

또한 주변장치로 열이 전열되는 것을 방지하기 위해 다이와 블랭크 홀더에 단열재를 설치하였고 과열방지를 위해 냉각수를 순환시키도록 하였다. 편치, 다이 및 블랭크 홀더는 GC30 재질로 제작하였고 표면을 크롬코팅 (6가 경질도금) 처리하였다.

온도조절기(autonics TZAST-14R)로 일정온도를 조절하였고 드로잉은 U.T.M에서 수행하였다. 블랭크는 0.7mm두께의 SCP1종 재질로 하였으며 사각 형상의 블

Table 1 Various coefficients of material at elevated temperature
(Y.S., T.S., P.C. unit : Kgf/mm²)

Temp.	T.S.	El.	P.C.	S.H.E	F.C.
R.T.	29.89	44.9	58.032	0.2493	0.241
50	29.55	43.7	56.804	0.2407	0.246
100	28.03	40.2	54.120	0.2429	0.255
150	26.62	37.9	50.810	0.2367	0.267
200	25.64	36.3	49.146	0.2372	0.262
250	23.98	35.3	46.405	0.2408	0.271
300	23.13	33.7	44.970	0.2330	-

Table 2 Chemical composition of material

Material	Composition (wt%)	C	N	Mn
		A	SCP3C	0.002
B	SCP1	0.007	0.004	0.15
C	SCP1	0.024	0.0018	0.20
D	SCP1	0.034	0.0020	0.18

랭크를 사용하였다. 크기는 드로잉비(drawing ratio) 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9등으로 하였다.

여기서 드로잉비는 펀치의 한변의 길이에 대한 블랭크의 한변의 길이 비를 의미한다. 또한 펀치와 다이 사이의 틈새는 3mm로서 재료 두께의 4.3배에 해당한다. 온도는 R.T.(25℃), 50℃, 100℃, 150℃, 200℃, 250℃등에서 실험하였다. 냉각수 온도는 15℃로 유지하였고 블랭크 홀더 압력은 2MPa, 프레스 속도는 40~50mm/min로 하였다. 각 온도에서 블랭크의 드로잉비를 높이면서 파단 될 때까지 또는 파단 없이 최대로 성형될 때까지 드로잉을 수행하였다.

3. 해석

FEM 해석을 위해서 DYNA-3D Explicit Code를 사용

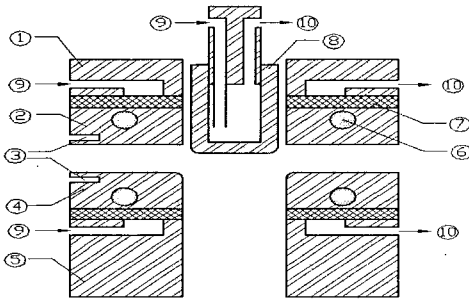


Fig. 1 Detail of warm forming tester

Table 3 Name list for experimental apparatus

No.	Name	No.	Name
①	Holder cooling part	⑥	Heating pipe
②	Holder heating part	⑦	Insulation panel
③	Thermocouple	⑧	Punch
④	Die heating part	⑨	Cooling water input
⑤	Die cooling part	⑩	Cooling water output

Table 4 Size of punch, die, blank holder

Part	Material	Surface	Size(mm)	Rp	Rd	Rc
Punch	FC30	Cr-Coating	60×60	5	-	5
Die	FC30	Cr-Coating	66×66	-	7	8
Blank Holder	FC30	Cr-Coating	61×61	-	-	6

하였다. 블랭크를 가열과 냉각부분으로 설정하여서 해석 시간동안 블랭크의 가열부분 온도를 점진적으로 증가하도록 하였고 물성치도 온도에 따라 입력하는 방식을 적용하였다. 블랭크의 최종온도는 실험 시 측정하여 사용하였다. 전체 모델의 Element갯수는 4225개, Node갯수는 4429개이다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 온도에 따른 성형성

각 온도에서 드로잉비를 증가시키면서 성형한 결과가 Table 5에 나타나 있다. 성형 깊이 40mm를 기준으로 검토한 결과, 온도가 증가할수록 성형 가능한 드로잉비(이하 DR)도 증가함을 알 수 있고 한계드로잉비도 Fig. 2에서처럼 온도가 증가할 수록 점진적으로 증가하였다.

온도에 따른 최대성형깊이는 Fig. 3과 Fig. 5에서 보여 주고 있다. DR 2.4의 경우는 플랜지부의 끝단이 다이 유입부로 유입되기 전까지 성형이 가능하였으므로 온도에 따라서 거의 일정한 성형깊이가 측정되었다. 그러나 DR 2.6, 2.8 및 2.9의 경우는 온도가 증가할수록 파단되는 성

Table 5 Experiment result of drawing ratio (Drawing depth=40mm, feasible: ○ not feasible: ×)

Temp.	DR 2.4	DR 2.5	DR 2.6	DR 2.7	DR 2.8	DR 2.9
25℃	○	×	×	×	×	×
50℃	○	○	×	×	×	×
100℃	○	○	○	×	×	×
150℃	○	-	○	○	×	×
200℃	○	-	-	○	×	×
250℃	○	-	-	-	○	×

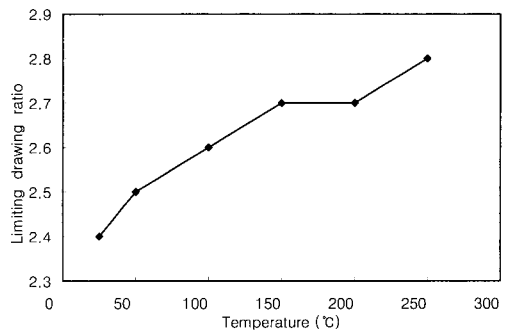


Fig. 2 Change of limit drawing ratio for temperature

형깊이가 증가함을 알 수 있다. 250℃에서 DR 2.8의 경우는 상온 보다 약1.9배, DR 2.9의 경우는 약1.6배의 성형 깊이가 증가되었다.

Fig. 4와 Fig. 6은 드로잉비에 따른 최대성형깊이의 변화를 나타내고 있다. 드로잉비가 증가할수록 성형깊이도 점진적으로 증가하다가 한계드로잉비를 지나면 성형깊이가 급격히 감소하는 현상을 보이고 있다.

최대성형하중의 경우는 Fig. 7에 나타난 것처럼 온도에 따라 감소하는 경향을 보였는데 250℃에서 DR 2.4의 경우는 상온보다 21%, DR 2.9의 경우는 12% 각각 감소하였다. 이는 온간 인장실험 시 인장강도가 감소하는 결과와 상응하는 것이었다.

Fig. 8은 성형 중에 성형하중의 변화 선도이다. 그림에 나타난 것처럼 온도가 증가할수록 성형하중 선도의 기울기도 감소하는 현상을 보였다.

4.2 온도에 따른 두께 변형률 분포

온도에 따른 성형품의 두께 분포는 각 온도에서 DR

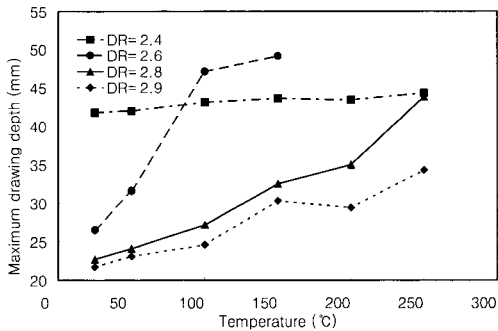


Fig. 3 Change of maximum drawing depth for temperature

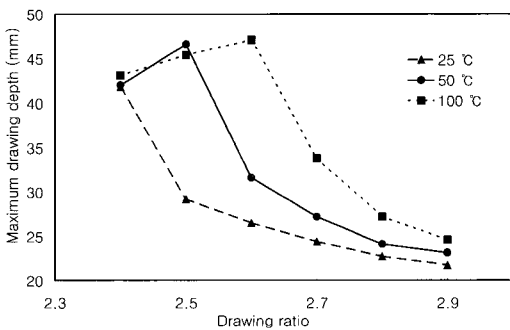


Fig. 4 Change of maximum drawing depth for drawing ratio

2.4의 블랭크를 42mm정도 성형한 사각컵의 중앙방향과 대각선방향으로 측정하였다. Fig. 9의 (a)와 (b)를 보면 온도가 증가할수록 두께 변형률의 분포가 전반적으로 큰

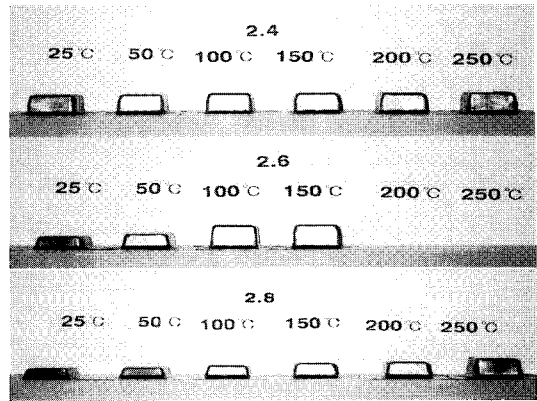


Fig. 5 Experiment specimens for temperature

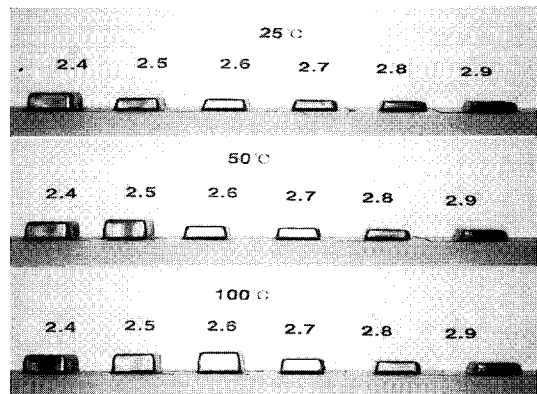


Fig. 6 Experiment specimens for drawing ratio

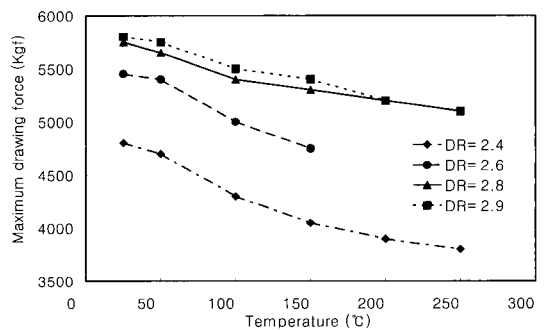


Fig. 7 Change of maximum drawing force for temperature

편차 없이 고르게 나타나고 있고 두께 변형률의 최대치와 최소치의 차이도 감소하고 있음을 알 수 있다. 또한 플랜지부의 두께 변형률이 감소하는 현상을 보였다.

결국 온도가 높을수록 성형 시 소재의 두께 변화가 적

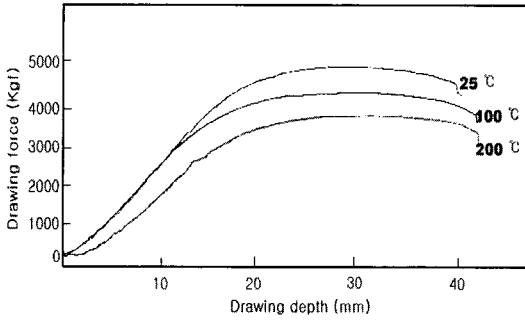
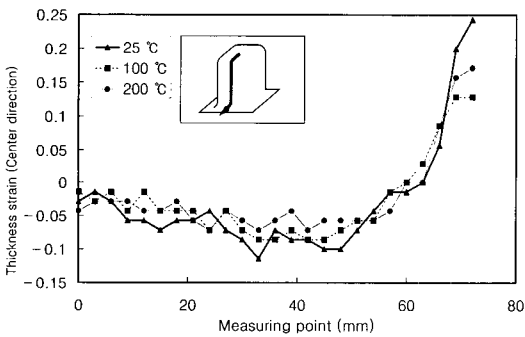
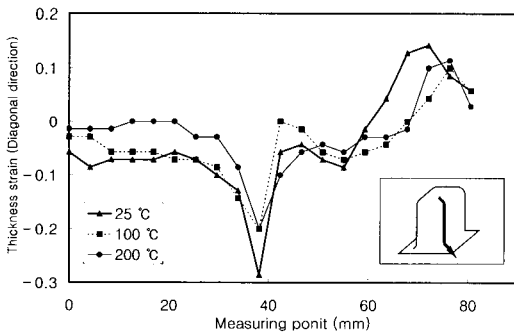


Fig. 8 Change of drawing force in forming working (DR=2.4)



(a) Along center line



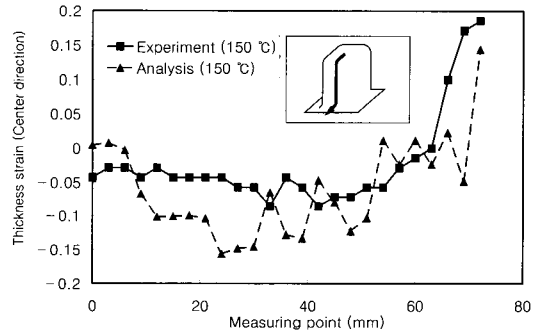
(b) Along diagonal line

Fig. 9 Thickness strain distribution (DR=2.4)

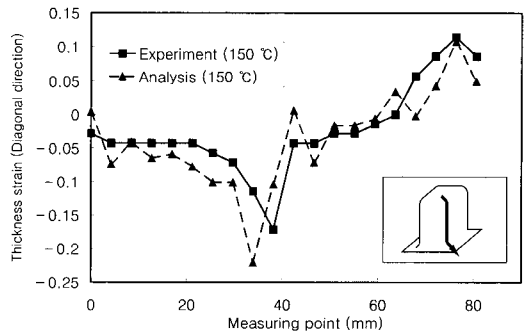
고 플랜지부의 소재의 유입이 용이하다는 것을 보여주고 있다.

그러나 250°C의 경우는 소재 표면에 열화 현상이 발생하여서 성형 후 부식현상이 상대적으로 빠르게 진행하였다. 그리고 본 실험에서 사용한 SCP1 소재는 SCP1 소재 중에서도 비교적 탄소함유량이 적은 것으로 200°C 부근의 청열취성효과로 인한 성형성 감소 현상은 나타나지 않았다.

앞선 기초실험을 보면 온도가 증가할수록 인장실험에서는 연신률이 감소하고 마찰실험에서는 마찰계수가 증가하였음에도 불구하고 재료의 온간 성형성이 향상되는 것은 다이는 가열하고 편차는 냉각하는 온간 성형 효과, 즉 소재의 강도 조절 효과가 이들 성형성 저해 인자보다 지배적으로 작용하기 때문이라 판단된다.



(a) Along center line



(b) Along diagonal line

Fig. 10 Comparison of thickness strain distribution between experiment and analysis (DR=2.4, Temp.=150 °C)

5. 해석결과 및 비교

해석 결과 중에서 150℃와 250℃에 대한 두께 변형률 분포를 보면 Fig. 10과 Fig. 11에 나타난 것처럼 전체적인 경향은 실험 결과와 일치했지만 편치 머리부에서 해석치가 실험치와 비교적 큰차이가 발생하였고 그 값도 불안정한 현상이 나타났다. 이런 현상은 해석 시 편치와 블랭크의 접촉면에서의 열전달 효과를 구체적으로 고려하지 못한 것으로 추측되며 열전달 효과를 구현할 새로운 모듈의 필요성이 제기되었다.

6. 결론

편치는 냉각하고 다이는 가열하는 온간 성형법을 SCP1 소재에 적용시켜서 여러 성형 인자들에 대해 고찰

한 결과를 아래에 정리하였다.

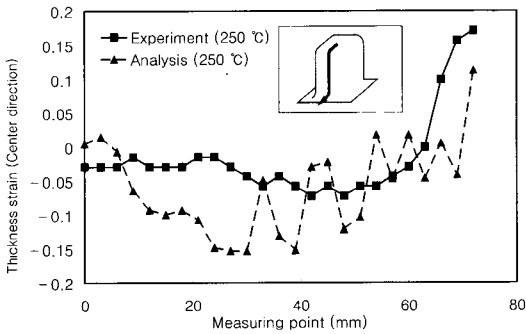
- (1) 다이 온도와 블랭크 크기를 변화시키면서 실험한 결과 상온보다 한계드로잉비, 최대성형깊이 등은 증가하였으며 최대성형하중은 감소하였다.
- (2) 두께 변형률의 경우 상온보다 최대치와 최소치의 편차가 줄어들고 보다 안정적이고 균일한 두께 분포가 나타났다.
- (3) 기존의 FEM Code를 이용한 해석에서는 두께 변형률의 경우 전체적인 경향은 실험결과와 일치했지만 차이가 비교적 크게 나타난 편치머리부 같은 접촉면에서는 열전달 효과를 보다 구체적으로 고려해야 정확한 예측이 가능할 것으로 판단되었다.
- (4) 여러 성형인자들을 비교해 볼 때 온간 성형법을 적용할 경우 재료에 열화등의 부작용이 나타나지 않는 온도범위(100℃~200℃)에서 난가공 제품의 품질 및 생산성 향상이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

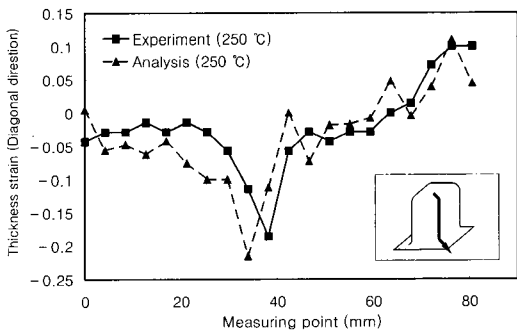
본 연구는 기아자동차(주)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Tetsuro Ohwue, Hiroshi Takechi and Yoshikuni Furuno, 1987, "Temperature Dependence of Tensile Properties Draw ability of Steel Sheets in Warm Working Condition", Journal of the JSTP, vol. 28 no. 314, pp. 225~231.
- (2) Tetsuro Ohwue, Hiroshi Takechi and Yoshikuni Furuno, 1987, "Deep Drawability of Square Shells in Warm Working Condition", Journal of the JSTP, vol. 28 no. 318, pp. 706~711,
- (3) Kiyohiko Nohara, Yasuomi Watanabe, Kazunobu Yamahata, 1990, "WARM PRESS FORMING OF STINLESS STEEL SHEETS", Proceedings of the First International Conference on New Manufacturing Technology Chiba 1990, pp. 533~538.
- (4) Yasuomi Watanabe, 1992, "ステンレス鋼板の温間絞り加工法", Journal of the JSTP, vol. 33, no. 375, pp. 396~403.
- (5) Kazunari Shinagawa, Tsutomu Takeoka, Ken-Ichiro Mori, Kozo Osakada, 1993, "Finite Element



(a) Along center line



(b) Along diagonal line

Fig. 11 Comparison of thickness strain distribution between experiment and analysis (DR=2.4, Temp.=250 °C)

Simulation of Warm Deep Drawing of Type 304 Stainless Steel Sheet with Deformation Induced Transformation", Journal of the JSTP, vol. 34, no. 390.

- (6) D. E. Leighton, D. Lee, 1994. "The Effect of Tooling Temperature on the Formability of Sheets Steel", Journal of Material Processing Technology 45, pp. 577~582.
- (7) X. M. Zeng, S. M. Mahdavian, 1998, "Critical condition of wrinkling in deep drawing at elevated temperature", Journal of Material Processing Technology 84, pp. 38~46.
- (8) J. H. Kim, C. S. Choi, B. Y. Jeong and G. H. Lee, 1993, "DEEP DRAWING OF STAINLESS STEEL IN WARM WORKING CONDITION USING A SINGLE CRANK PRESS", Proceeding of the Fourth International Conference on Technology of Plasticity, pp. 1691~1694.
- (9) 김종호, 최치수, 나경환, 1995, "크랭크 프레스와 유압 프레스에서 스테인리스 강판의 온간 드로잉성 비교", 한국소성가공학회지, 제4권, 제4호, pp. 345~352.
- (10) 류호연, 김영은, 김종호, 구분영, 금영탁, 1999, "알루미늄 합금 박판 비등온 성형공정의 유한요소해석 및 실험적 연구 (제1부:실험)", 한국소성가공학회지, 제 8 권, 제 2 호, pp. 152~159.
- (11) 김성민, 구분영, 금영탁, 김종호, 1999, "알루미늄 합금 박판 비등온 성형공정의 유한요소해석 및 실험적 연구 (제2부:해석)", 한국소성가공학회지, 제8권, 제3호, pp. 252~161.
- (12) 송광현, 이재동, 최이천, 서대교, 1999, "금형의 온도와 처리 상태에 따른 판재의 마찰특성", 한국소성가공학회지, 제8권, 제3호, pp. 245~251.