

로봇 롤러 헤밍의 유한요소해석

주석재[†] · 강민준^{*}

Finite Element Analysis of the Robot Roller Hemming

Seok Jae Chu, Min Jun Kang

Key Words: Roller Hemming(롤러헤밍), Straight Edge(직선 가장자리), Curved Edge(곡선 가장자리), Flat Hemming(플랫헤밍), Curl Hemming(컬헤밍)

Abstract

Hemming, especially curl hemming, is required along the wheel housing for safety. Robot roller hemming is suitable for it. In this paper, both the flat hemming and the curl hemming along either the straight profile or the curved profile are analyzed using finite element program MSC.Marc to verify the hemming test results.

Both the inner panel and the outer panel are modeled using 3-D solid elements and the roller is modeled using rigid surface. In the curl hemming, there is a case that the curl is not formed if the pre-hemming force is not sufficient. It agrees with the test results.

1. 서론

헤밍은 외판의 플랜지를 편치로 눌러 접어 내판과 결합하는 가공으로서 도어, 후드, 트렁크 리드 등에 대하여 적용한다. 그것은 플랜징, 프리헤밍, 메인 헤밍 3 단계로 이루어진다. 헤밍의 장점은 외판이나 내판의 날카로운 가장자리를 속으로 접어넣어 안전하게 하며 결합강도도 높이는 것이다.

주석재 등⁽¹⁾은 승용차 도어 헤밍가공을 2차원이나 3차원으로 유한요소 시뮬레이션하였다. 그것은 도어 가장자리 일부 직선형이나 곡선형 구간에 한하였으며 여러 가지 헤밍변수와 헤밍품질의 관계를 구하였다.

김현영 등^(2,3)은 해석범위를 넓혀 전체를 해석하였다. 최원목 등⁽⁴⁾, 김형종 등⁽⁵⁾과 정현철 등⁽⁶⁾은 2차원 헤밍에 대하여 유한요소 시뮬레이션하여 여러 가지 헤밍변수와 헤밍품질과 관계를 구하였다.

최근에는 승용차 휠하우징까지도 헤밍하게 되었다. 충돌사고 때 날카로운 가장자리 때문에 다치지 않도록 하기 위함이다. 이 경우 기존의 테이블탑이나 다이헤밍으로는 작업이 곤란하여 그 대신 로봇롤러헤밍방식을 사용하게 되었다. 이것은 로봇이 롤러를 움직여 플랜지를 접는 방식으로서 생산성과 품질이 상대적으로 떨어져 일부 소량생산에만 사용되던 것이다. 휠하우징의 헤밍은 곡선 가장자리의 컬헤밍이다. 컬은 가장자리를 둥글게 하여 더 안전하게 한다.

본 논문에서는 이에 대한 유한요소 시뮬레이션을 시도하여 헤밍변수와 헤밍품질의 관련성을 구하고 실험 결과와 비교하여 타당성을 살펴보고자 한다.

[†] 주석재, 회원, 울산대학교 기계자동차공학부

E-mail : sjchu@ulsan.ac.kr

TEL : (052)259-2141 FAX : (052)259-1680

* 울산대학교 대학원

2. 유한요소 시뮬레이션

2.1 강판의 기계적 특성

Fig. 1은 헤밍실험에 사용된 강판(두께 0.70 mm)에 대한 인장시험 결과이다. 스트레인 측정은 0.20까지 밖에 이루어지지 못하여 0.20 이후는 커브피팅하거나 단순연장하여 사용하였다.

2.2 직선 가장자리 플랫헤밍

유한요소해석 Software는 MSC.Marc를 사용하였다. Fig. 2와 Fig. 3은 플랜지용 다이와 펀치, 헤밍용 롤러의 배치를 그린 것이다. 실험에 사용된 강판의 길이는 400 mm이다. 평판이었던 소재는 플랜지용 펀치와 다이로 100°로 굽혀지고 이어서 수평과 73°, 37°, 0°인 롤러로 차례대로 눌러 밀어 3단계로 굽혀졌다. 그림 3과 같이 롤러는 3개를 그렸지만 실제 작업에서는 롤러 1개를 사용하여 로봇이 단계마다 롤러를 기울여 사용한 것이다.

강판은 3D 8절점 입체요소를 사용하고 펀치나 다이, 롤러는 강체표면을 사용하였다. 실제 롤러는 회전하지만 거의 저항이 없이 회전한다고 가정하고 롤러에 대한 강체표면은 회전시키지는 않고 강판과 닿아 마찰없이 미끄럽게 이동하는 것으로 취급하였다.

실험조건과 결과로 받은 것은 롤러 가압력과 헤밍높이로 대표되는 헤밍품질이었다.

3D 8절점 입체요소는 길이 10 mm, 두께 0.35 mm(Fig. 5에서 Case 0에 해당), 길이 5 mm, 두께 0.175 mm(Fig. 5에서 Case 1에 해당)이었다.

Case 0 유한요소 해석결과 실제보다 가압력이 높았다. 유한요소 전체자유도가 부족하기 때문인 것으로 판단하고 Case 1 유한요소를 사용하여 비교하여 본 것이다.

프리헤밍에서는 롤러 위치를 조정하여 가압력을 맞추고, 메인헤밍에서는 헤밍높이(Fig. 4)를 맞추고 최종가압력을 읽는 방법을 사용하였다. 즉, Fig. 5는 프리헤밍 롤러 1과 롤러 2는 588 N으로 눌러 밀고, 롤러 3는 실험결과 헤밍높이에 두고 밀어 최종가압력을 읽은 것이다.

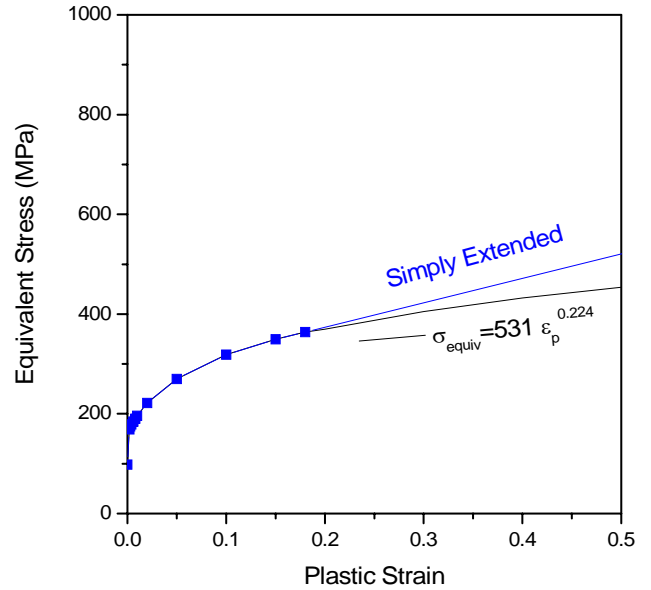


Fig. 1 Tensile test results of the blank sheet

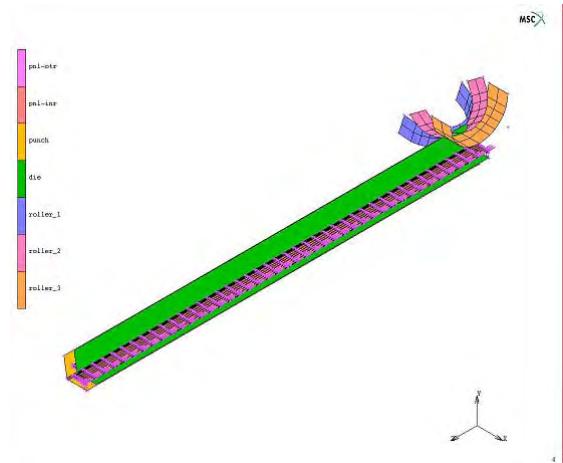


Fig. 2 Flat hemming along the straight edge

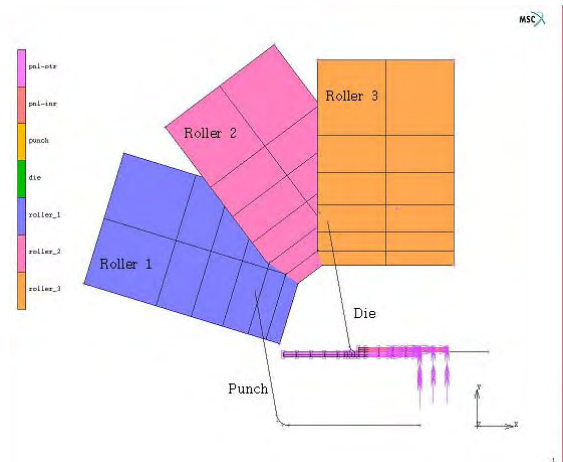


Fig. 3 Punch and die set for flanging and rollers for the flat hemming.

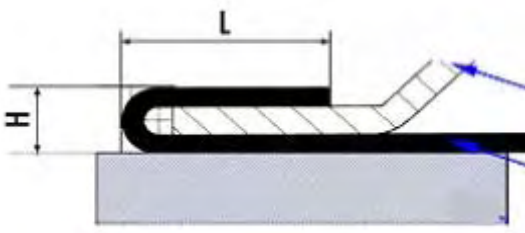


Fig. 4 Height H of the flat hemmed part

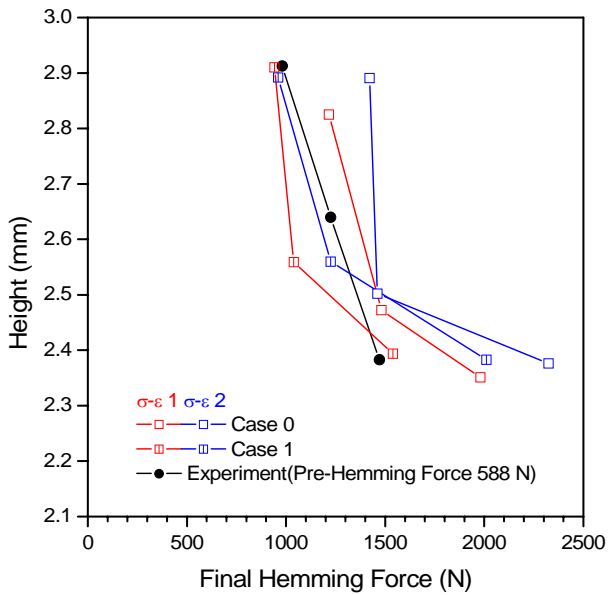


Fig. 5 Hemming height vs. final hemming force (for the case of the pre-hemming force 588 N)

2.3 곡선 가장자리 플랫헤밍

평판이었던 소재는 플랜지용 펀치와 다이로 90°로 굽혀지고 이어서 수평과 40°, 0°인 롤러로 차례대로 눌러 밀어 2단계로 굽혀졌다. 롤러의 공전범위는 Fig. 6과 같이 40°에서 -40°까지 80°이다. 요소길이는 8.7 mm로 Case 0 요소와 Case 1 요소 중간에 해당한다. Fig. 7은 메인헤밍 후 최종단면형상이다.

Fig. 8은 프리헤밍 롤러 1을 589~981 N으로 눌러 밀고, 롤러 2는 실험결과 헤밍높이에 두고 밀어 최종가압력을 읽은 것이다. 실험이나 해석이나 모두 롤러를 이송하며 원주 3곳(1/8, 1/2, 7/8 지점) 평균값을 취하였다.

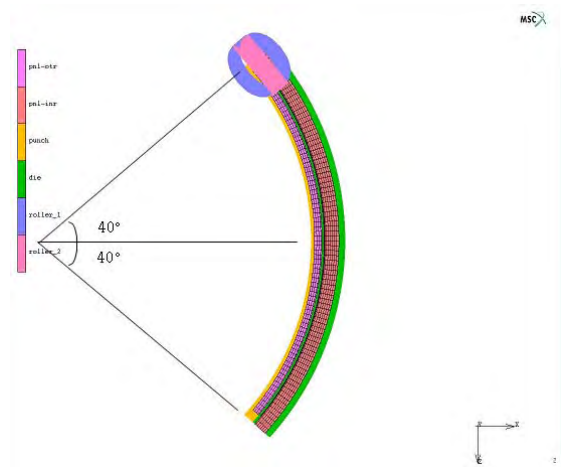


Fig. 6 Flat hemming along the curved edge

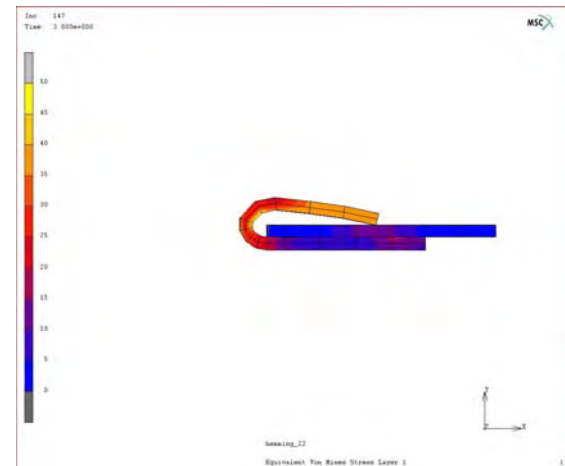


Fig. 7 Final shape from the hemming simulation result.

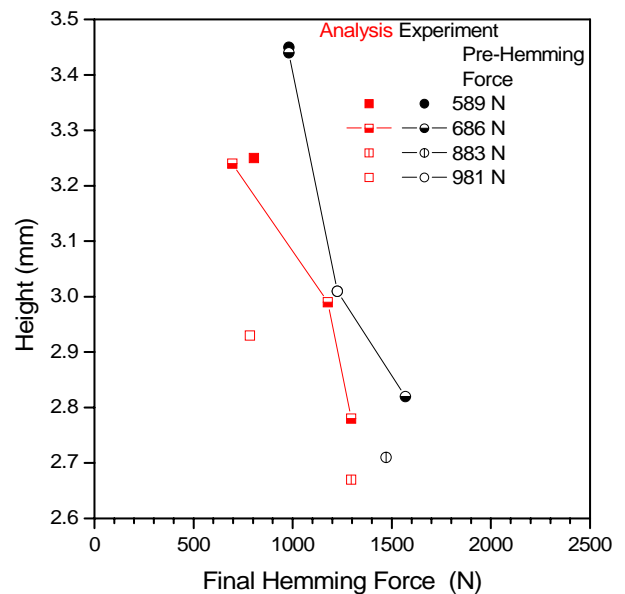


Fig. 8 Hemming height vs. final hemming force (for the case of the pre-hemming force 589~981 N)

2.4 직선 가장자리 컬헤밍

Fig. 9나 Fig. 10과 같이 평판이었던 소재는 플랜지용 펀치와 다이로 굽혀지고 이어서 롤러 1~3으로 차례대로 눌러 밀어 3단계로 굽혀졌다. 마지막으로 수평과 0°인 다른 롤러 4로 눌러 컬이 형성된다.

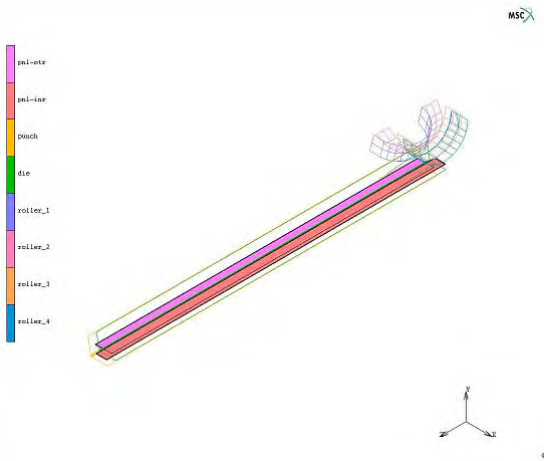


Fig. 9 Curl hemming along the straight edge

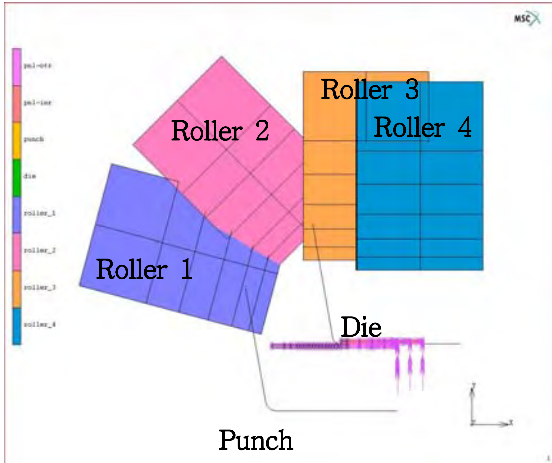


Fig. 10 Punch and die set for flanging and rollers for the curl hemming

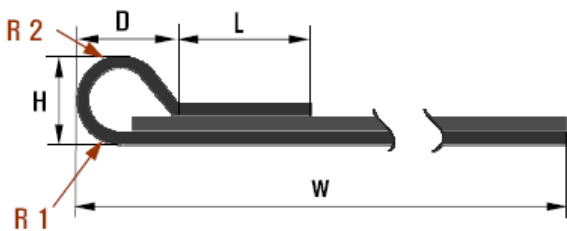


Fig. 11 Height H of the curl hemmed part

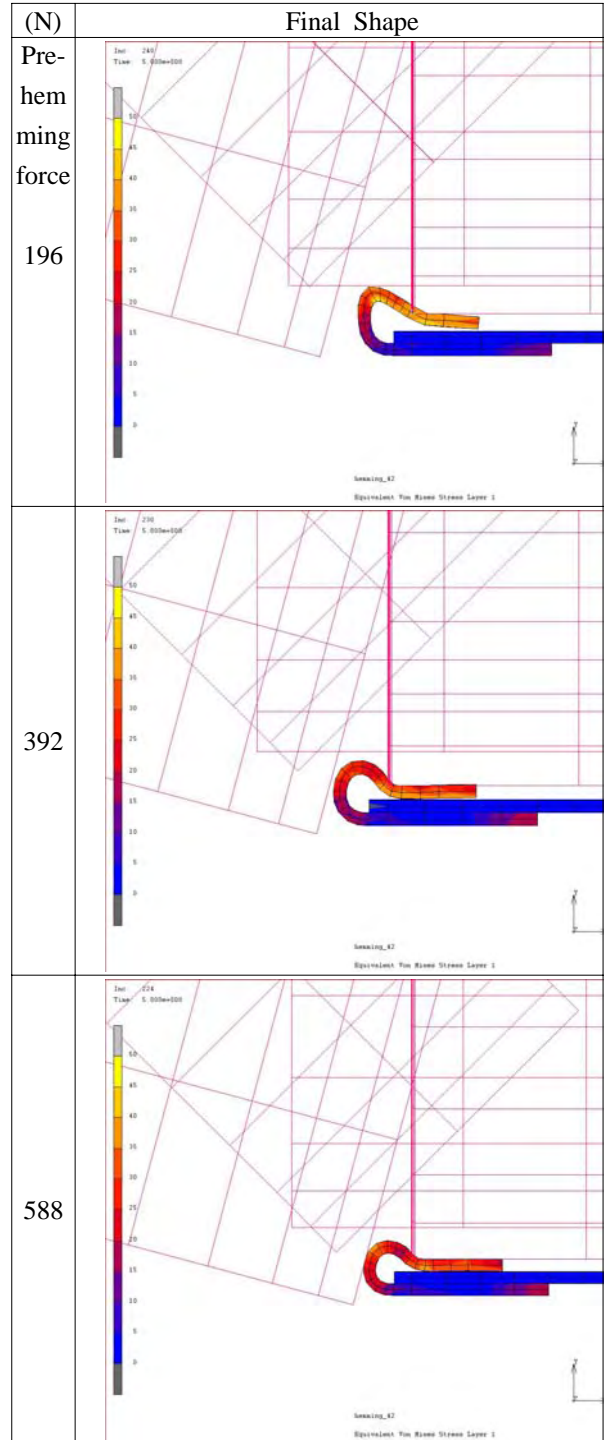


Fig. 12 Final shapes from the simulation results

Fig. 12와 같이 프리헤밍 가압력이 196 N으로 부족하면 컬이 완전하게 형성되지 못하였으나 588 N인 경우는 컬이 완전하게 형성되었다.

Fig. 13은 프리헤밍 가압력과 헤밍높이 H(Fig. 11)의 관계를 그린 것이다.

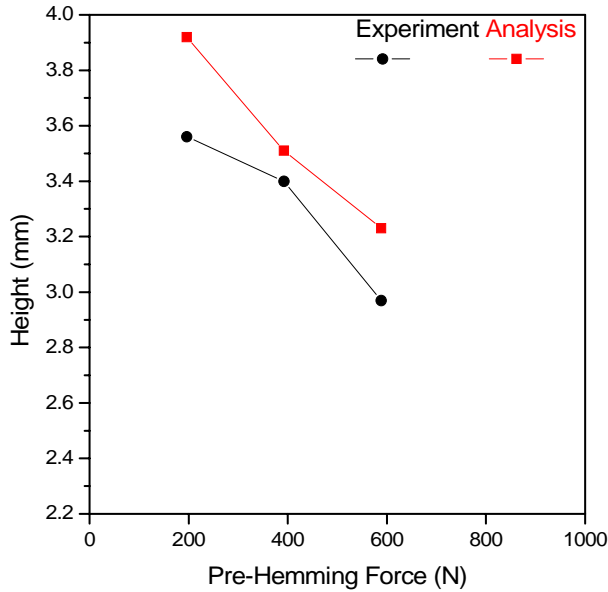


Fig. 13 Hemming height vs. pre-hemming force

2.5 곡선 가장자리 컬헤밍

Fig. 14와 같이 평판이었던 소재는 플랜지용 펀치와 다이로 굽혀지고 이어서 롤러 1~2로 차례대로 눌러 밀어 2단계로 굽혀졌다. 마지막으로 수평과 0°인 다른 롤러 3으로 눌러 컬이 형성된다.

프리헤밍 가압력이 588 N인 경우는 유한요소 시뮬레이션이 실패하였고 이것은 실제 실험에서도 실패하여 서로 일치하였다.

Fig. 15는 프리헤밍 가압력이 785 N이나 981 N인 경우 최종형상이다. 헤밍높이를 서로 비교하였다. 실험에 비하여 유한요소 시뮬레이션 결과는 측정지점 1, 2, 3(Fig. 16)에서 헤밍높이가 약간만 변화였다.

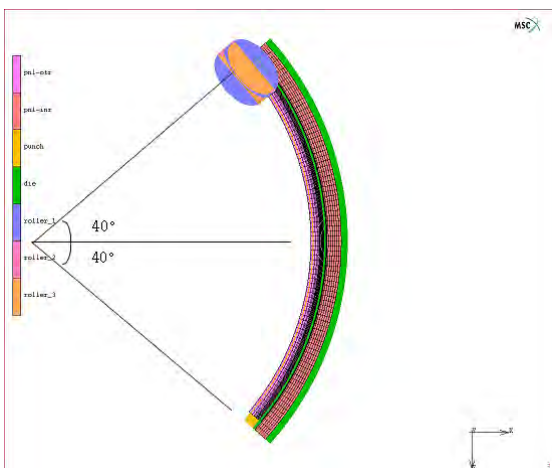


Fig. 14 Curl hemming along the curved edge

| Location | Final shape | Experiment | Simulation |
|----------|-------------|------------|------------|
| 1 | | 3.53 | 3.73 |
| 2 | | 4.13 | 3.81 |
| 3 | | 3.40 | 3.72 |

(a) Pre-hemming force = 785 N

| Location | Final shape | Experiment | Simulation |
|----------|-------------|------------|------------|
| 1 | | 3.18 | 3.68 |
| 2 | | 3.30 | 3.59 |
| 3 | | 2.98 | 3.69 |

(b) Pre-hemming force = 981 N

Fig. 15 Final shapes from the simulation results and the heights of the hemmed part.

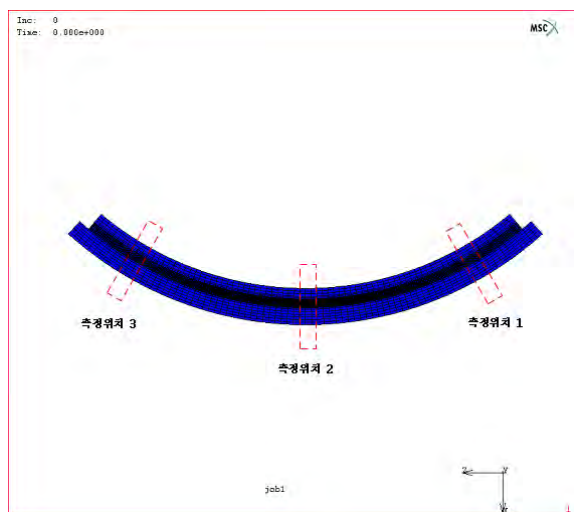


Fig. 16 Location of the three sections for averaging the heights of the part along the curved edge

3. 결 론

(1) 유한요소 전체자유도가 부족하여 유한요소 해석결과 실제보다 가압력이 높았다. 가압력은 요소의 크기의 영향을 받았다.

(2) 프리헤밍에서는 롤러 위치를 조정하여 가압력을 맞추고, 메인헤밍에서는 헤밍높이를 맞추고 최종가압력을 읽는 방법을 사용하였다.

(3) 직선 가장자리 컬헤밍: 프리헤밍 가압력이 196 N으로 부족하면 컬이 완전하게 형성되지 못하였으나 588 N인 경우는 컬이 완전하게 형성되었다.

(4) 곡선 가장자리 컬헤밍: 프리헤밍 가압력이 588 N인 경우는 유한요소 시뮬레이션이 실패하였고 이것은 실제 실험에서도 실패하여 서로 일치하였다.

실험에 비하여 유한요소 시뮬레이션 결과는 측정지점 1, 2, 3에서 헤밍높이가 약간만 변하였다.

후 기

이 연구는 울산대 NURI 사업단과 현대자동차의 지원으로 이루어진 것입니다.

참고문헌

- (1) Chu, S. J. and Choi, H. S., 1998, "Finite Element Simulation of Hemming Process for Automotive Doors," *Marc User's Forum* 98, pp. 147~153.
- (2) Kim, H. Y., Lim, H. T., Choi, K. Y., Lee, W. H. and Park, C. D., 2002, "Finite Element Modeling of Flanging/Hemming Process for Automotive Panels," *Proceedings of the KSTP*, pp. 103~107.
- (3) Kim, H. Y., Lim, H. T., Kim, H. J., Lee, W. H. and Park, C. D., 2002, "3-Dimensional Finite Element Analysis of Hemming for Automotive Outer Panels by Part Model Assembling Method," *Trans. of the KSTP*, Vol. 13, No. 2, pp. 103~107.
- (4) Choi, W. M., Lim, J. K., Park, C. D. and Kim, H. J., 2003, "Parametric Study of Hemming Process and Evaluation of Hem Quality Using Simple Modes," *Proceedings of the KSTP*, pp.

113~116.

- (5) Kim, H. J., Choi, W. M., Lim, J. K., Park, C. D., Lee, W. H. and Kim, H. Y., 2004, "A Parametric Study of the Hemming Process by Finite Element Analysis," *Trans. of the KSME*, Vol. 28, No. 2, pp. 149~157.
- (6) Jung, H. C., Lim, J. K. and Kim, H. J., 2005, "Prediction of Turn-down and Roll-in in Hemming Processes through the Comparison between FEA and Experiment," *Proceedings of the KSTP*, pp. 101~105.