

유연 판넬의 스캐닝 고정구 제작

인정제^{1*}

¹인덕대학 기계설계과

Fabrication of Scanning Fixture for Flexible Panels

Jeong-Je Yin^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering Design, Induk University

요약 본 연구에서는 대형 차체 판넬과 같은 유연성이 큰 판넬의 3차원 형상을 스캐닝 하기 위한 고정구를 개발하였다. 유연 판넬에 대한 N-2-1 설계원리에 따라 자중의 영향이 최소화되는 지지점들을 유한요소 해석을 통하여 선정함으로써 hood outer 판넬의 고정구를 설계하고, Alufix 시스템을 이용하여 스캐닝 고정구를 제작하였다. 제작된 고정구를 이용하여 레이저 스캐닝을 수행하여 성공적으로 스프링 백을 측정함으로써, 본 연구에서 제안된 고정구 제작 방안의 유용성을 확인하였다.

Abstract In this study, a scanning fixture for flexible parts such as large automotive panels is developed. For the minimization of the weight deflection of a hood outer panel, the N-2-1 fixture principle for flexible parts is adopted in the fixture design. The designed fixture for a hood outer panel is fabricated using the Alufix system. The springback of the entire hood outer panel can be measured successfully by the laser scanning with the developed fixture, which verifies the usefulness of the proposed design method for the flexible panels.

Key Words : Laser Scanning, Fixture, Flexible Panel, Springback, Stamping

1. 서론

최근 형상 스캐닝 기술의 발전으로 차체 스탬핑 판넬의 전 형상에 대한 3차원 형상 측정이 가능하게 되어 성형 후 제품의 전반적인 스프링 백 분포 등을 평가하는 데에도 응용되고 있다[1]. 특히 다단 성형으로 이루어지는 스탬핑 판넬의 공정별 스프링 백 변화를 전 형상에 대하여 평가할 수 있게 되면 스프링 백 보정에 대한 보다 정확한 정보를 얻을 수 있게 되어 차체 판넬에 대한 형상 품질 속성에 유용한 수단이 될 수 있다.

레이저 스캐너 등의 3차원 형상스캐너를 이용한 판넬의 면 형상 측정을 위해서는 판넬을 거치시킬 측정용 고정구(fixture)가 필요한데, 멤버류 등 강성이 큰 판넬은 별도의 고정구 없이 측정할 수도 있지만, 차체 외판이나 대형 판넬 등의 유연성이 큰 판넬은 자중에 의한 변형이 커서 정확한 측정을 위해서는 자중의 영향을 최소화 할 수 있는 고정구가 필수적이라고 할 수 있다.

고정구의 설계는 강제 공작물의 경우 전통적인 3-2-1 원리[2]로 설계 개념이 정립되면서 다양한 가공, 조립용 지그나 측정용 고정구의 제작에 응용되고 있고 관련 연구도 많다[3-5]. 그러나 유연 판넬(flexible panel)에 대한 고정구 설계 관련 연구는 상대적으로 많지 않다. Rearick 등[6]은 비선형 프로그래밍 기법과 유한요소해석을 이용하여 차체 roof 판넬의 용접용 고정구의 지지점 위치를 최적화한 바 있다. Cai 등[7]은 유연 판넬에 대하여 3-2-1 원리를 확장하여 N-2-1 원리를 사용할 것을 제안하였다. 이 원리를 바탕으로 Wang 등[8]은 신경망 이론을 이용하여 door outer 판넬 고정구의 지지점을 선정하는데 적용한 바 있다. 그러나 이들 관련 연구들은 거의 대부분 최적화 알고리즘의 적용 방법에 대한 것으로 생산 현장에서 쉽게 적용하기에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 유연성이 큰 판넬의 3차원 형상을 스캐닝 하기 위한 고정구를 제작하는 실용적인 방안을 제시하고자 한다. 적용 대상으로 hood outer 판넬을 선정하고

*교신저자 : 인정제(jjyin@induk.ac.kr)

접수일 10년 10월 29일

수정일 10년 11월 15일

게재확정일 10년 11월 19일

N-2-1 설계원리에 따라 자중에 의한 영향을 최소화 할 수 있는 지지점을 유한요소 해석으로 선정된 후 고정구를 설계하고, 이를 조립식 지그를 이용하여 구현하였다. 제작된 고정구를 이용하여 레이저 스캐닝에 의한 판넬 전체의 스프링 백을 측정함으로써, 본 연구에서 제안된 방식의 유연 판넬 고정구의 유용성을 확인하였다.

2. 고정구 설계 방법

본 연구에서 대상으로 하는 유연 판넬의 고정구 설계는 강체 공작물의 고정구 설계 원리를 응용하여 이루어 지므로, 강체 공작물의 고정구 설계 원리를 먼저 소개하고 유연 판넬의 고정구 설계로 확장/응용하는 방안에 대해 기술한다.

2.1 강체 공작물의 고정구 설계 원리

강체 공작물은 그림 1에 나타난 바와 같이 (+),(-)방향을 포함하여 12개의 직선 및 회전운동이 가능하다. 일반적으로 고정구에서는 지지점(support)과 로케이터(locator)로 적어도 9개의 운동을 제한하고 나머지 3개의 운동을 클램프(clamp)로 제한한다[2].

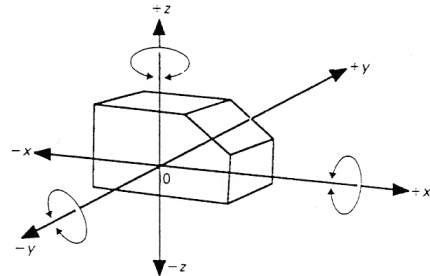
구멍이 없는 각주형 공작물의 경우, 그림 2와 같이 세 개의 데이텀 기준면(datum reference frame)에 대하여 그림 3에 나타난 바와 같이 3-2-1 원리에 의해 지지점 및 로케이터를 배치할 수 있다. 즉, 3점지지 원리를 이용하여 세 개의 지지점을 공작물의 가장 큰 면 표면에 해당되는 첫 번째 데이텀(datum) 평면 위에 정하여 5개의 운동을 제한하며, 다음으로 두번째 데이텀 평면에 두 개의 로케이터를 정하여 3개의 운동을 제한하고, 마지막으로 세 번째 데이텀 평면에 1개의 로케이터를 정하여 1개의 운동을 제한함으로써 총 9개의 운동을 제한하게 된다[2].

구멍이 있는 공작물의 경우, 그림 4와 같이 3개의 지지점과 1개의 내부 로케이터를 이용하여 9개의 운동을 제한할 수 있으며, 다른 구멍이 더 있어 내부로케이터에 사용할 수 있으면 11개의 운동을 제한할 수 있게 된다[2].

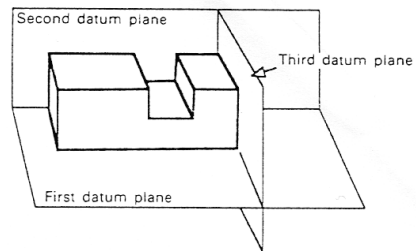
지지점과 로케이터에 의해 제한되지 않은 운동들은 클램프에 의해 제한할 수 있으며, 클램프 방향에 따라 수직, 수평 클램프로 나누어진다.

이상과 같은 각주형 공작물 및 구멍이 있는 공작물의 지그설계 원리를 강체 평판에 적용하면 그림 5에 나타난 바와 같이 평판 내부의 구멍 개수 및 종류에 따라 4가지 유형의 셋팅 방법들로 분류할 수 있다. 이들은 지지점 3개와 로케이터(internal, external)의 적용방법에 따라 총

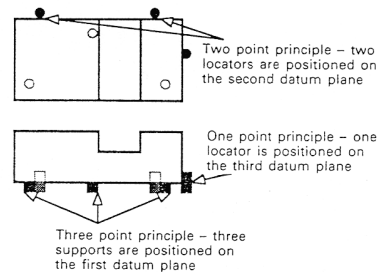
9~11개의 운동을 제한하며, 나머지 운동들은 클램프에 의해 제한될 수 있다. 그림 5에서 원은 판 내부의 구멍을, 타원은 슬롯을 나타낸다.



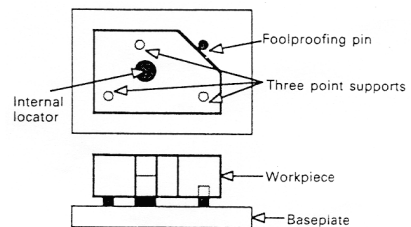
[그림 1] 공작물의 12개 운동 자유도[2]



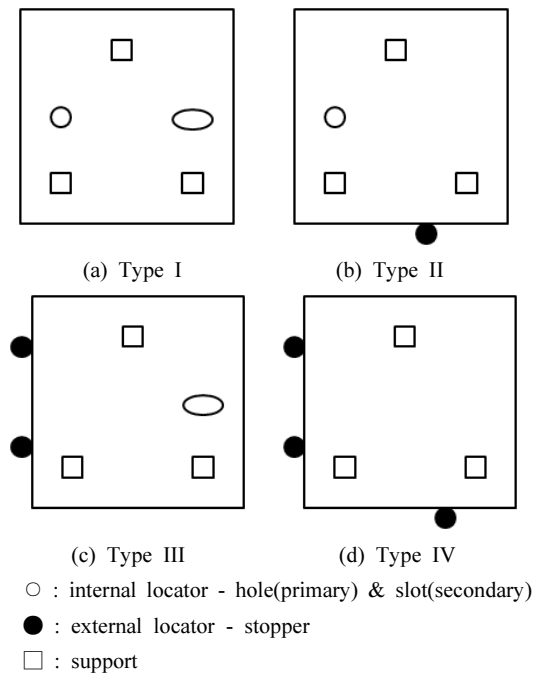
[그림 2] 세 개의 데이텀 평면[2]



[그림 3] 3-2-1 원리[2]



[그림 4] 내부 로케이트 원리[2]



[그림 5] 강체 판넬의 셋팅 방법

2.2 유연 판넬의 고정구 설계 방안

차체 외판과 같은 유연체(flexible body)의 경우, 외력, 자중 등에 의한 변형이 발생하므로 강체에 적용되었던 3-2-1 원리가 적합하지 않다. 따라서 외력, 자중 등의 영향으로 인한 변형을 고려할 때, 첫 번째 데이텀 평면에 대하여 $N \geq 3$ 의 지지점이 필요하다. 여기서, N은 첫 번째 데이텀 평면의 크기에 따라 결정되며, 두 번째, 세 번째 데이텀 평면에 대한 로케이터는 강체와 마찬가지로 2-1의 원리가 그대로 적용될 수 있다[7].

따라서 유연 판넬의 셋팅 방법은 로케이션 홀의 유무에 따라 그림 5의 셋팅 방법을 따르되 변형을 상쇄시킬 수 있는 3개 이상의 지지점을 선택하여야 한다.

2.2.1 로케이터의 선정

판넬의 로케이터는 내부에 있는 구멍을 이용하는 것이 가장 무난한데, 조립용 지그에서 사용하는 로케이션 홀(location hole)을 우선적으로 이용하는 것이 편리하다. 그러나 hood outer 판넬과 같이 이용할 수 있는 구멍이 없을 경우, 그림 5 (d) type IV와 같이 스톱퍼를 이용하여 구멍과 슬롯의 역할을 대신한다.

2.2.2 지지점의 선정

지지점의 선정은 대개 자중 등에 의한 판넬의 변형을

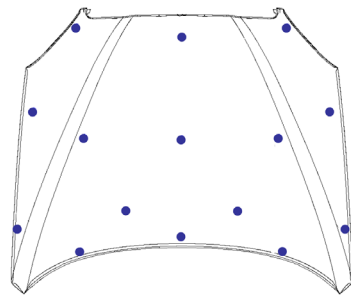
최소로 하는 지지점의 개수와 위치를 유한요소 해석을 이용한 최적화 등에 의하여 선정하게 된다.

먼저, 지지점 후보는 복잡한 형상부위는 배제하고, 2차 성형 부위보다는 1차 성형 부위를 선택한다. 로케이션 홀이 있는 경우 로케이션 홀의 주위는 구멍 중심에서 일정 크기의 형상 면을 가공한 형상 블록(contour block)으로 지지하도록 하고 로케이션 홀을 제외한 나머지 부분은 구형 지지점에 의한 점접촉을 하도록 하여 최소면적으로 지지되도록 한다. 지지점 후보들을 위의 기준에 따라 여러 개 선정한 후, 이들 후보 점들에 대하여 자중에 의한 처짐 정도가 심한 부분들을 먼저 주 기준점으로 선정하여 유한요소해석에 의한 자중 처짐을 평가한 후 자중 처짐이 큰 경우 부 기준점들을 추가하여 판넬의 형상 측정오차를 최소화 하는 지지점들을 선정한다. 자중 처짐 해석 결과 일부 지지점이 판넬에 닿지 않는 경우는 부적절한 지지점이 선정된 것이므로 지지점의 위치를 바꾸어 재해석을 실시한다. 한편, 자중 처짐 허용범위는 너무 작게 설정되면 지지점이 많이 필요하게 되어 제작비용이 증가하므로, 제작 및 측정 오차 등을 감안하여 적절한 값을 설정하여야 한다.

3. 고정구 설계/제작 사례

3.1 Hood outer 판넬의 고정구 설계

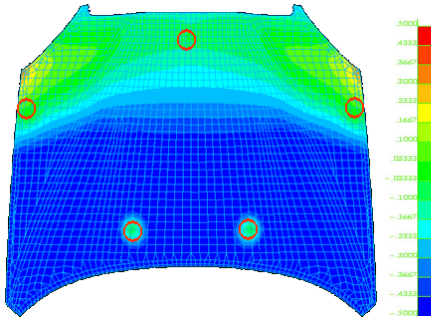
이상의 로케이터 및 지지점 선정 방법에 따라 hood outer 판넬의 고정구를 설계하였다. Hood outer 판넬은 로케이션 홀로 사용할 수 있는 구멍이 없는 경우이므로, 그림 5의 Type IV를 적용하여 외부 로케이터로 3개의 스톱퍼를 설정하였다. hood outer의 지지점 후보들을 그림 6에 나타내었다.



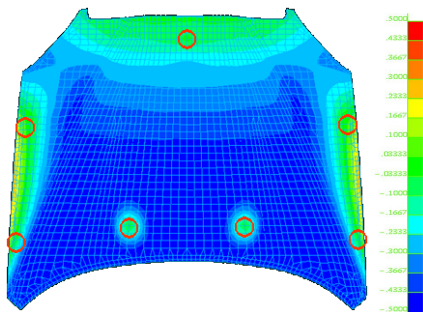
[그림 6] Hood outer 판넬의 지지 후보점

이들 후보점들에 대하여 자중 처짐 해석을 통하여 지지점들을 선정한 과정을 그림 7과 표 1에 나타내었다. 자

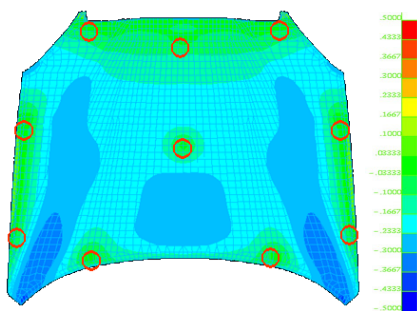
중치점 해석은 Nastran을 사용하였다. 본 사례에서는 자중 처짐 허용범위를 $\pm 0.5\text{mm}$ 로 하여 자중처짐이 허용범위 내에서 발생하는 case3의 경우를 최종 지지점으로 선정하였다.



(a) case1



(b) case2



(c) case3

[그림 7] Hood outer 판넬의 자중 처짐 해석결과

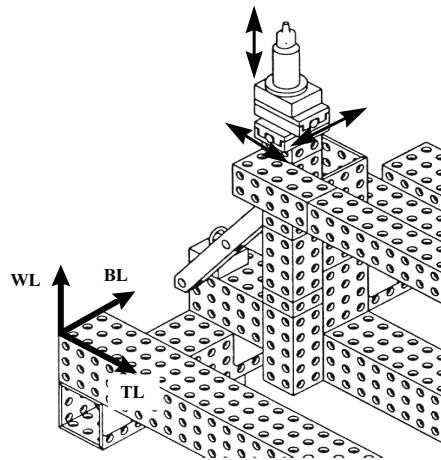
[표 1] Hood outer 판넬의 자중 처짐 범위

Case	No. of support	Deflection (mm)
1	5	-2.396 ~ 0.344
2	7	-0.976 ~ 0.295
3	10	-0.394 ~ 0.090

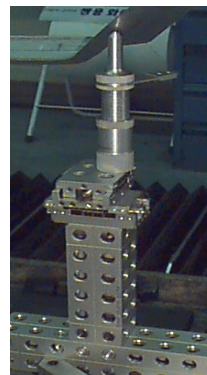
3.2 Hood outer 판넬의 고정구 제작

설계된 hood outer 판넬의 레이저 스캐닝 고정구를 구현하기 위해서, 재사용이 가능한 조립식 고정시스템인 Alufix 시스템을 사용하였다.

Alufix 시스템은 3차원 측정을 위한 조립식 고정시스템으로, 알루미늄 합금 재료의 베이스 프레임(base frame)부와 디테일(detail)부로 구성된다. 그림 8 (a)에 보인 베이스 프레임부는 고정구 셋팅 및 캘리브레이션(calibration)을 위한 기준축을 정하는 간이 고정구의 기본 골격이 되는 부분으로, 바(bar)와 연결요소 그리고 베이스 프레임부의 견고성 및 직각도를 보완하는 스트럿(strut)으로 구성되었다. 그림 8 (b)에 보인 디테일부는 판넬에 직접 점 접촉하는 지지점과, X, Y, Z 방향 조절부로 구성되는데, 판넬과 점접촉을 하는 지지점은 끝부분이 구형으로 되어있고, 조절부는 수직 방향조절 장치인 스크류

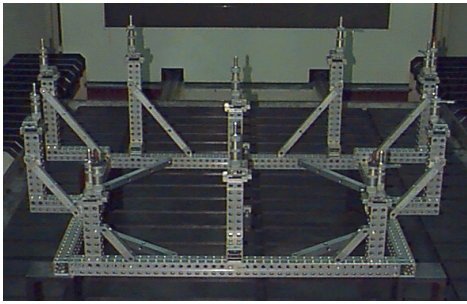


(a) Base frame

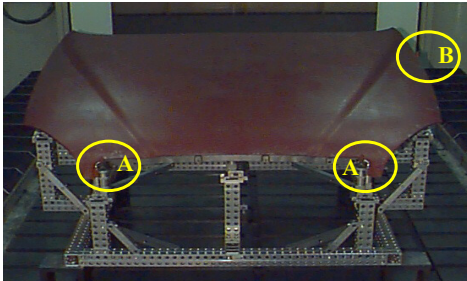


(b) Top section

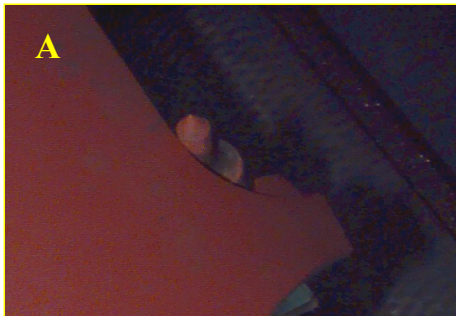
[그림 8] Alufix system을 이용한 스캐닝 고정구의 주요 구성요소



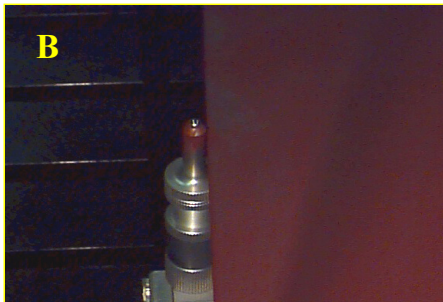
(a) 조립된 스캐닝 고정구



(b) 스캐닝 고정구에 거치된 hood outer 판넬



(c) A부 스토퍼 확대



(d) B부 스토퍼 확대

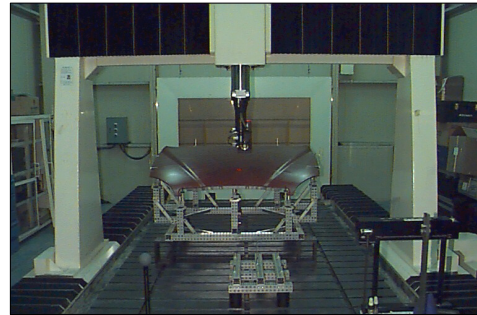
[그림 9] Hood outer 판넬의 레이저 스캐닝 고정구

잭(screw jack)과 수평 방향조절장치인 크로스 롤러 슬라이드(cross roller slide)로 구성되었다.

이상의 베이스 프레임과 디테일부를 사용하여 조립한 hood outer 판넬의 레이저 스캐닝 고정구를 그림 9에 나타내었다. 각 지지점의 위치는 판넬의 CAD 모델로부터 환산하여 3차원 측정기를 이용하여 0.1mm 오차범위 이내로 캘리브레이션하였다.

3.3 Hood outer 판넬의 레이저 스캐닝 결과

제작된 고정구를 이용하여 레이저 스캐닝을 실시하였다. 레이저 스캐너는 Hymarc사의 Hyscan system으로 25 μ m의 정밀도를 가지고 있다. 이 장비는 그림 10에 나타낸 바와 같이 CMM에 장착하여 구동하는 형식이다. 레이저 스캔된 형상 데이터를 이용하여 SurferTM에서 데이터 샘플링 및 좌표축 정렬(registration) 과정을 거쳐 CAD 데이터와의 편차 분석을 실시하였다.



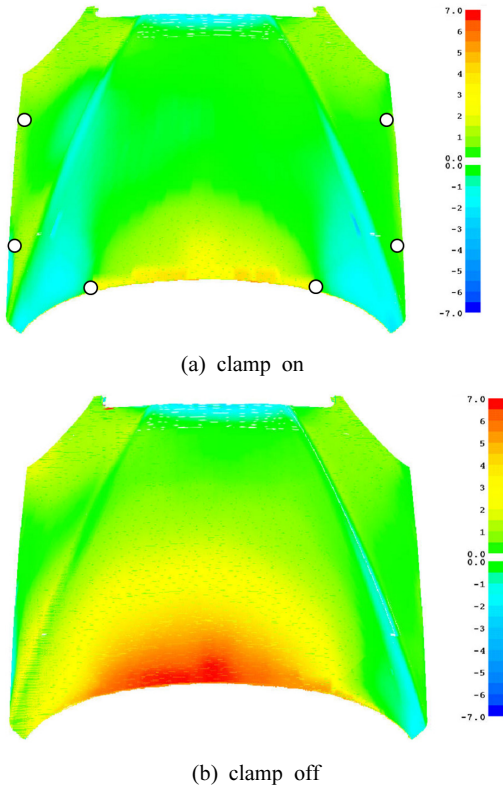
[그림 10] 레이저 스캐닝 시스템

그림 11에 CAD 데이터와의 편차를 나타내었다. 그림 11 (a)는 판넬의 가장자리 지지점들의 클램프를 채운 상태이고, 그림 11 (b)는 클램프를 해제한 상태이다. 스프링 백과 같은 형상불량에 대한 판단은 클램프를 하지 않은 경우가 더 바람직하다고 할 수 있는데, 그림 11 (b)에 나타난 바와 같이 hood의 뒤쪽은 스프링 백이, 앞쪽은 스프링 고가 발생한 것을 확인할 수 있다. 표 2에 스캔 데이터의 최대 편차와 평균 편차를 나타내었다.

이와 같이 스탬핑 판넬의 스캔 데이터를 이용한 편차 분석을 함으로써 판넬 가장자리에 위치한 관리점들에 대한 정량적인 편차 뿐만 아니라 판넬 내부의 전반적인 스프링 백 분포 경향을 파악할 수 있어 품질 관리에 매우 유용한 정보를 얻을 수 있게 된다.

일반적인 스탬핑 공정은 여러 단계로 이루어지나 현장에서 판넬의 검사는 최종 성형된 판넬에 대해 전용검사구를 제작하여 수행되고 있는데, 스프링 백의 정확한 분석 및 보정을 위해서는 각 공정별 스프링 백을 정성적/정량적으로 파악할 필요가 있다. 이를 위해 공정별 전용검사구를 제작하여 사용하기에는 시간적 경제적 부담이

크므로, 본 연구에서 제안된 방법으로 유연 판넬의 고정구를 제작하여 스캐닝을 하면 공정별 스프링 백 기여를 평가할 수 있게 되고, 이로부터 스프링백을 개선하기 위해 어떤 공정을 개선해야 하는지에 대한 정보를 얻을 수 있을 것이다.



[그림 11] Hood outer 판넬의 편차 맵

[표 2] Hood outer 판넬의 편차 분석 결과

Clamp	Maximum Deviation (mm)	Average Deviation (mm)
	Positive/Negative	Positive/Negative
On	4.75/-2.53	0.58/-0.59
Off	6.67/-3.26	1.28/-0.50

4. 결론

본 연구에서는 유연한 판넬의 정밀 스캐닝을 위한 고정구 설계 및 제작 방안을 제시하여 hood outer 판넬의 고정구 설계 및 제작에 적용하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유연 판넬에 대한 스캐닝 고정구의 실용적인 설계

방안을 제안하였다.

2. 제안된 설계 방안으로 hood outer 판넬의 고정구를 제작하여 레이저 스캐닝을 적용한 결과 패넬의 스프링 백을 효과적으로 측정/분석할 수 있었다.
3. 본 연구에서 제안된 고정구 설계/제작 방식을 적용하면, 기존의 전용 검사구를 대체하거나 중간공정의 스프링 백 평가 등에 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] S.S. Han, and D. J. Kim, "Application of Reverse Engineering on Sheet Metal Forming Analysis", Transactions of Material Processing, Vol. 14, No. 4, pp. 303-309, 2005.
- [2] J.C. Trappey and C.R. Liu, "A Literature Survey of Fixture-Design Automation", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 5, pp. 240-255, 1990.
- [3] Y. S. Kim, Y. J. Jin, H. K. Lee and G. E. Yang, "Development of Fixture for Reducing Errors in Registration of 3D Laser Measuring System", J of the KSPE, Vol. 22, No. 10, pp. 107-113, 2005.
- [4] R. J. Menassa, and W. R. DeVries, "Optimization Methods Applied to Selecting Support Positions in Fixture Design", ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 113, pp. 412-418, 1991.
- [5] E. Jeon and Y. Shin, "Development of Jig System to Improve the Weldability of Vehicle Seat Frame", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 8, No. 2, pp. 173-178, 2007.
- [6] Mark R. Rearick, S. Jack Hu and S. M. Wu, "Optimal Fixture Design for Deformable Sheet Metal Workpieces", Transactions of NAMRI/SME, Vol. XXI, pp. 407-412, 1993.
- [7] W. Cai, S.J. Hu and I. X. Yuan, "Deformable Sheet Metal Fixturing : Principle, Algorithms, and Simulations", Transactions of ASME, Vol. 118, pp. 318-324, 1996.
- [8] Wang Jian, Zhou Jiangqi and Lin Zhongqin, "Locators Optimization for Measuring Fixture Design", Chinese Journal of Mechanical Engineering, Vol. 17, No. 3, pp. 332-335, 2004.

인 정 제(Jeong-Je Yin)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1992년 8월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1993년 1월 ~ 1995년 4월 : 자동차부품연구원 선임연구원
- 1995년 5월 ~ 1999년 8월 : 고등기술연구원 책임연구원
- 1999년 8월 ~ 현재 : 인덕대학 기계설계과 부교수

<관심분야>

소성가공, 강건설계, 구조해석 등