

유한요소해석에 의한 압입 접촉손상 특성 연구

조재웅¹, 김춘식², 이희성², 김영춘^{*}
¹공주대학교 기계자동차공학부, ²태성전자주식회사

Study of the Damage Property of a Contacted Indent by Finite Element Method

Jae-Ung Cho¹, Choon-Sik Kim², Hee-Sung Lee², Young-Choon Kim^{*}

¹Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

²Taesung Electro-Circuit Systems

요약 압입 방식으로서 경량화된 부품이 매우 균질한 정밀도로 생산이 되며 프레스의 기술이 향상되고 있다. 압입 방식으로 조립하였을 시 핀과 구멍사이에는 압축력에 의한 변형력이 발생되고 접촉면이 손상을 입는다. 따라서 본 연구에서는 CATIA 프로그램을 이용하여 3D 모델링하였으며, ANSYS 프로그램을 통하여 압입 접촉된 평면에서 손상평가를 하였다. 해석결과, 핀이 들어갈 때 PCB판에 작용하는 하중은 약 21.3N인 것으로 확인되었으며, PCB판이 Pin에서 빠져나올 때의 하중은 약 19.24N으로 나타났다. 또한 구조 해석결과, Pin 1이 본 연구 모델의 모든 부품들 중에서 가장 최대응력이 많이 발생하므로, 대표적으로 Pin 1의 최대 등가응력이 192.96MPa로 나타났다. 압입 접촉 손상 특성을 규명하고 본 연구결과를 실제의 압입 공정의 설계에 응용함으로써 그 파손을 방지하고 내구성을 평가할 수 있다고 사료된다.

Abstract Lightweight parts with very uniform precision are manufactured by an indent method and the press technique has been improved. Upon assembly with an indent method, a deformation force due to the compressive force occurs between the pin and hole and the contact surface is affected by damage. Therefore, a 3 dimensional model was made using the CATIA program and the damage on the surface contacted with indent was estimated through the ANSYS program in this study. In the analysis result, the maximum load applied at the PCB plate was 21.3 N when the pin goes through the PCB plate. When PCB plate came out of the pin, the maximum load was 19.24 N. As the structural analysis result, the maximum equivalent stress of Pin 1 was 192.96MPa because the maximum stress occurs at Pin 1 among all parts of this study model. By examining the damage property of the contacted indent and applying this study result to the design of real indentation, the damage can be prevented and the durability can be estimated.

Key Words : Indentation, Damage, Pin, PCB plate, Damage prevention, Durability

1. 서론

철도차량 차축 또는 기계구조물의 커플링 등과같이 축에 허브(hub)가 압입 되어 있는 경우 압입축의 접촉끝단에는 프레팅(fretting)이 발생하며, 프레팅에 의해 피로 강도가 크게 저하된다. 철도차량 차축은 안전에 중요한 역할을 하기 때문에 파손을 방지하기 위하여 프레팅 손

상에 대한 연구가 많이 진행되었다. 최근에는 압입 공조는 자동차 부품, 전기전자 부품, 사무용품등 거의 모든 산업에 적용되며 부품의 품질 및 생산성에 필수적인 요소이다[1,2] 이중 핀을 이용하면서 체결하는 방식으로 압입이라는 방식은 핀과 구멍의 마찰에 의해 달성 되는 체결 방식이다[5,6]. 압입 방식으로 조립하였을 시 핀과 구멍사이에는 압축력에 의한 변형력이 발생하고 이 변형력에

*Corresponding Author : Young-Choon Kim(Kongju Univ.)

Tel: +82-11-9550-0374 email: yckim59@kongju.ac.kr

Received August 21, 2014

Revised October 9, 2014

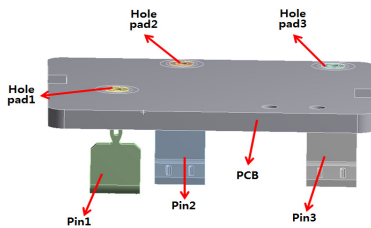
Accepted October 10, 2014

의해 발생하는 접촉면의 손상 특성을 가진다. 실제로 생산하는 경우에 구형 혹은 평저형 압입자를 이용할 경우 원뿔형 균열이 발생될 수 있다. 삼각뿔이나 사각뿔 압입 시, 재료특성 및 최대하중 등에 따라 방사형, 중앙형, 반원형, 측면균열이 독립적 혹은 복합적으로 발생 된다. 이때 균열크기와 압입하중 등의 관계를 이용해 취성 재료의 파괴인성을 예측하기 위한 많은 연구가 수행되고 있다[3-6]. 이에 따라 본 연구는 CATIA 프로그램을 이용하여 3D 모델링하였으며, ANSYS 프로그램을 이용하여 유한요소 해석을 수행하였다. 이를 통해서, 압입 접촉된 평면에서 손상평가를 하였다. 본 연구의 결과를 종합하여 실제 압입 공정의 설계에 응용한다면 그 파손방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

2. 연구 모델 및 경계조건

2.1 연구모델

본 연구에 3D 설계된 모델링이 Fig. 1에 나오며, 모델링의 각 부품의 명칭을 도시하였다. Fig. 1에 보면 본 연구의 모델링은 핀(3개), Hole Pad(3개), PCB판(1개)으로 조립하여 되었다. 또한 Hole Pad는 PCB판과 붙여있으며, 핀과 Hole Pad는 떨어져있는 상태이다. 본 연구의 모델의 해석상 절점 수는 227201개와 요소 수는 56687개로 하였다. 또한 Hole Pad와 핀이 순동으로 구성되고 PCB판은 fr-4로 구성되었으며, 순동과 fr-4의 물성치는 Table 1에 나타내었다.



[Fig. 1] Analysis models

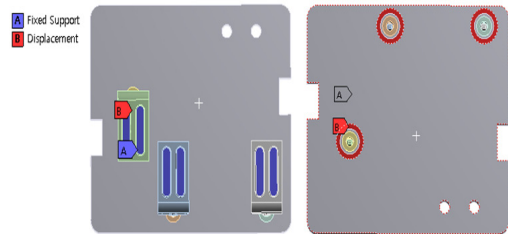
[Table 1] Material property of model

	Copper	fr-4
Density(kg/mm ³)	8.96×10 ⁻⁵	1.9×10 ⁻⁶
Young's Modulus(MPa)	11000	22500
Poisson's Ratio	0.343	0.11

Tensile Yield Strength(MPa)	33.3	300
Tensile Ultimate Strength(MPa)	210	400

2.2 경계조건

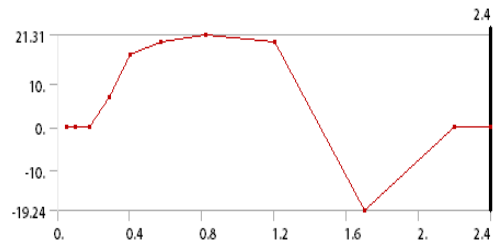
실제적으로 똑같이 시뮬레이션에서 구현하기 위해서 Fig. 2에서와 같이 경계조건을 주었다. Fig. 2에 보면 Pin의 받침을 고정시키고, PCB판면에서 붉은색으로 표시된 영역에 변위를 가하였다. 붉은색으로 표시된 영역은 링이며, 안의 원의 직경은 2.5mm이고 밖의 원의 직경은 3.5mm이다. 또한 모델링에 가해진 변위는 PCB판은 2.4s 안에 아래방향으로 3mm정도 내려갔다가 다시 원래의 상태로 되돌아갔다는 것이다.



[Fig. 2] Boundary conditions of model

3. 해석 및 결과

3.1 해석의 하중 결과

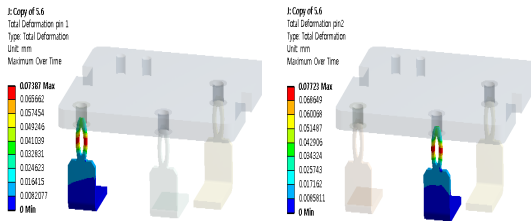


[Fig. 3] Graph of load vs. time for simulation

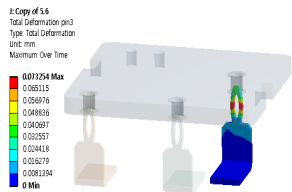
Fig. 3에 도시된 그림은 하중을 나타낸 그래프로서 가로축은 시간이고 세로축이 하중이다. 이 그래프를 보면 핀이 들어갈 때 PCB판에 작용하는 하중은 약 21.3N인 것을 확인하였으며, PCB판이 Pin에서 빠져나올 때의 하중은 약 19.24N로 나타났다.

3.2 해석의 변형량 결과

Fig. 4에 Pin 1, Pin 2, Pin 3의 최대 변형량은 나타났으며, Pin 1의 최대 변형량은 0.07387mm로 나오고 Pin 2의 최대 변형량은 0.07723mm로 나오고 Pin 3의 최대 변형량은 0.073254mm로 나온 것을 확인하였다. Fig. 5는 시간에 따라서 Pin 1의 변형량을 변하는 그래프이다. Fig. 5에 보면 1.7016s에서 Pin 1의 최대 변형량을 나타낸 것을 알 수 있었다. 전체적으로 보면 3개 핀은 모두 가운데 부분에서 최대 변형량을 발생하였다. 그리고 유한요소 해석에서 3개 핀은 모두 같은 시점 1.7016에서 최대 변형량을 발생한 것을 확인하였으며, 본 논문에서 따로 Pin 2와 Pin 3의 변형량-시간 그래프를 나타내지 않는다.

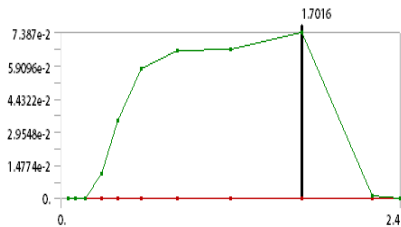


(1) In case of Pin 1 (2) In case of Pin 2

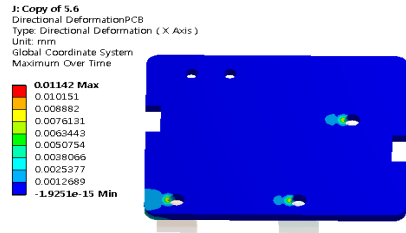


(3) In case of Pin 3

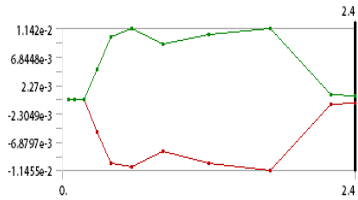
[Fig. 4] Total deformation of Pin 1, Pin 2 and Pin 3 at maximal value



[Fig. 5] Graph of Total deformation vs. time for simulation in case of pin 1

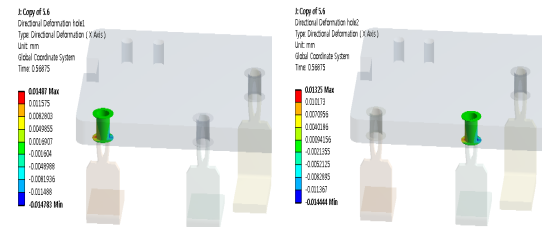


[Fig. 6] Total deformation of PCB at maximal value

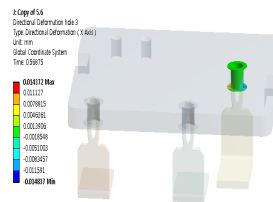


[Fig. 7] Graph of Total deformation vs. time for simulation in case of PCB

Fig. 6에 PCB의 최대 변형량은 나타났으며, 0.01142mm로 나온 것을 확인하였다. Fig. 7은 시간에 따라서 PCB의 변형량을 변하는 그래프이다. Fig. 7에 보면 0.56875s에서 PCB의 최대 변형량을 나타낸 것을 알 수 있었다.

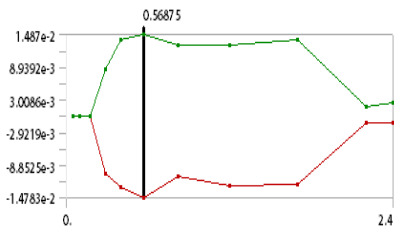


(1) In case of Hole pad 1 (2) In case of Hole pad 2



(3) In case of Hole pad 3

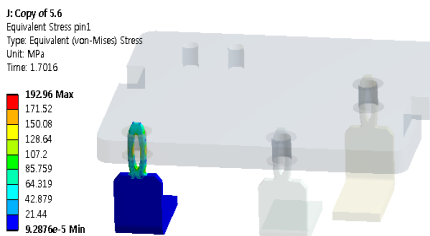
[Fig. 8] Total deformation of Hole pad 1, Hole pad 2 and Hole pad 3 at maximal value



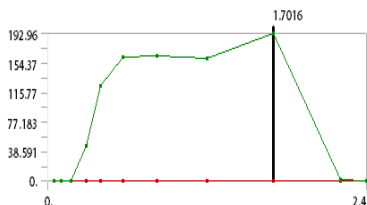
[Fig. 9] Graph of Total deformation vs. time for simulation in case of Hole pad 1

Fig. 8에 Hole pad 1, Hole pad 2, Hole pad 3의 최대 변형량은 나타났으며, Hole pad 1의 최대 변형량은 0.01487mm로 나오고 Hole pad 2의 최대 변형량은 0.01325mm로 나오고 Hole pad 3의 최대 변형량은 0.014372mm로 나온 것을 확인하였다. Fig. 9는 시간에 따라서 Hole pad 1의 변형량을 변하는 그래프이다. Fig. 9에 보면 0.56875s에서 Hole pad 1의 최대 변형량을 나타낸 것을 알 수 있었다. 전체적으로 보면 3개 Hole pad는 모두 밑의 부분에서 최대 변형량을 발생하였다. 그리고 유한요소 해석에서 3개 핀은 모두 같은 시점 0.56875에서 최대 변형량을 발생한 것을 확인하였으며, 본 논문에서 따로 Hole pad 2와 Hole pad 3의 변형량-시간 그래프를 나타내지 않는다.

3.3 해석의 등가응력 결과

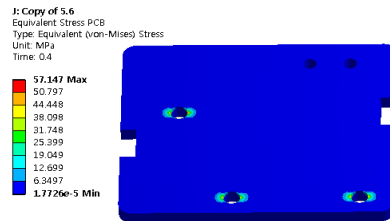


[Fig. 10] Equivalent stress of Pin 1 at maximal value

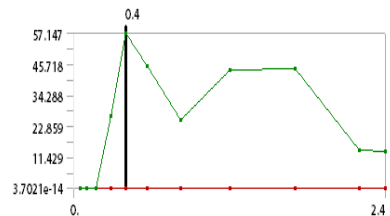


[Fig. 11] Graph of Equivalent stress vs. time for simulation in case of Pin 1

Fig. 10에 Pin 1의 최대 등가응력을 나타냈으며, 192.96MPa로 나온 것을 확인하였다. Fig. 10에 보면 Pin 1의 최대 등가응력은 항복응력보다 크지만 붉은색 부위는 별로 없으며, 대부분 부위의 등가응력은 항복응력보다 작은 것으로 확인하였다. 또한 Fig. 11에 보면 1.7016s에서 최대 등가응력을 나타냈고 최대 변형량을 나타낸 시점과 같다. 그리고 그래프를 보면 PCB는 밑으로 내려갈 때 등가응력을 커지고 PCB는 원래 있는 대로 되돌아가면 등가응력을 사라진 것을 확인하였다. 또한 Pin 2, Pin 3은 Pin 1과 비슷한 형상을 나왔으므로 Pin 1의 등가응력결과만 서술하였다.

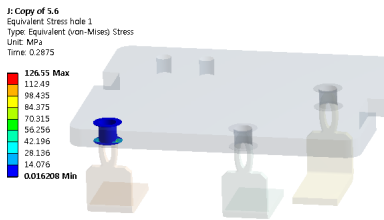


[Fig. 12] Equivalent stress of PCB at maximal value

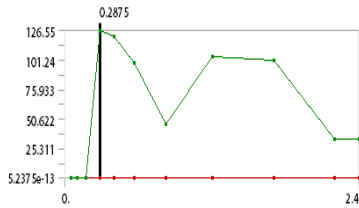


[Fig. 13] Graph of Equivalent stress vs. time for simulation in case of PCB

Fig. 12에 보면 PCB의 최대 등가응력은 약 57.147Mpa로 나타났으며, 시간에 따라 등가응력을 변화하는 그래프를 Fig. 13에 나타냈다. 이 그래프를 보면 2.4s에 Pin과 Hole pad이 완전히 분리됐지만 PCB에서 등가응력이 완전히 사라지지 않은 것을 볼 수 있다. 이 작은 등가응력 값이 잔류하는 이유는 PCB와 Hole pad 사이에 접촉이 있기 때문에 외부의 하중이 완전히 사라져도 PCB와 Hole pad 사이에 작용하는 힘이 잔류하고 있다. 이러한 외부적인 힘이 없을 때 물체 내부에서 균형을 유지하기 위해 존재하는 응력을 잔류응력이라고 하는데 Fig. 14와 Fig. 15에 나온 Hole pad의 등가응력해석을 보면 같은 이유로 2.4s에 Hole pad의 등가응력이 완전히 사라지지 않고 잔류응력이 남아있는 것을 볼 수 있다.



[Fig. 14] Equivalent stress of Hole pad 1 at maximal value



[Fig. 15] Graph of Equivalent stress vs. time for simulation in case of PCB

4. 결론

본 연구에서는 압입 모델에 접촉된 평면에서 유한요소해석을 통하여 손상평가를 하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 핀이 들어갈 때 PCB판에 작용하는 하중은 약 21.3N인 것을 확인하였으며, PCB판이 Pin에서 빠져나올 때의 하중은 약 19.24N로 나타났다.
2. 구조해석결과, Pin 1의 최대 변형량은 0.07387mm로 나오고 Pin 2의 최대 변형량은 0.07723mm로 나오고 Pin 3의 최대 변형량은 0.073254mm로 나오고 Hole pad 1의 최대 변형량은 0.01487mm로 나오고 Hole pad 2의 최대 변형량은 0.01325mm로 나오고 Hole pad 3의 최대 변형량은 0.014372mm로 나오고 PCB의 최대 변형량은 0.01142mm로 나온 것을 확인하였다.
3. 구조 해석결과, Pin 1이 본 연구 모델의 모든 부품들 중에서 가장 최대응력이 많이 발생하므로, 대표적으로 Pin 1의 최대 등가응력이 192.96MPa로 나타났다. Pin 1의 최대 등가응력은 순동의 항복응력보다 크지만 붉은색 부위는 별로 없으며, 대부분 부위의 등가응력은 항복응력보다 작은 것으로 확인

하였다. 2.4s에 Pin과 Hole pad이 완전히 분리됐지만 PCB와 Hole pad에서 등가응력이 완전히 사라지지 않은 것을 볼 수 있으며, 이 작은 등가응력 값이 잔류하는 이유는 PCB와 Hole pad 사이에 접촉이 있기 때문에 외부의 하중이 완전히 사라져도 PCB와 Hole pad 사이에 작용하는 힘이 잔류하고 있다.

4. 본 연구의 결과를 종합하여 실제 압입 공정의 설계에 응용한다면 그 파손방지 및 내구성을 검토, 예측하는데 활용이 클 것으로 사료된다.

References

- [1] Lee, Chun-Kyu, Kim, Young-Choon, "A Study on the progressive die design and making of gas boiler exhaust pipe", Journal of KAIS, Vol. 14, No. 9, pp. 4111-4116, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.9.4111>
- [2] S. N. Park, "Development Trend of Car Seat Technology", Journal of the Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 31, No. 4, pp. 26-33, 2009.
- [3] Lee, Joon-Seong, "Analysis for Defect Evaluation of Pipes in Nuclear Power Plant", Journal of KAIS, Vol. 14, No. 7, pp. 3124-3126, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.7.3121>
- [4] J. H. Kim, D. U. Park, J. H. Lee, M. K. Kim and W. S. Yoo, "Evaluation of Ride Comfort considering Seat Vibration", Journal of the Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 1, No. 2, pp. 535-987, 2002.
- [5] H. Y. Kim, J. M. Kim, J. G. Choi, K. T. Lee and D. J. Lee, "Structural Analysis for the Development of Round Recliner", Journal of the Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 2, pp. 1361-1366, 2003.
- [6] J. U. Cho, K. S. Kim, D. S. Choi, S. H. Kim, S. O. Bang and C. K. Cho, "Development of plastic suspension system for automotive seat", Journal of KAIS, Vol. 12, No. 3, pp. 1091-1097, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.3.1091>

조 재 응(Jae-Ung Cho)

[종신회원]



- 1980년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학사)
- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1986년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계·자동차공학부 교수

<관심분야>

기계 및 자동차 부품 설계 및 내구성 평가, 피로 또는 충돌 시 동적 해석

김 영 춘(Young-Chun Kim)

[종신회원]



- 1989년 8월 : 명지대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 명지대학교 대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 공과대학 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

전기자동차전력변환, 전장제어, 태양광에너지

김 춘 식(Choon-sik Kim)

[정회원]



- 1979년 2월 : 인하대학교 건축공학과
- 2006년 8월 : 호서대학교 대학원정보 제어공학과 (공학석사)
- 1994년 6월 : 경신공업(주) 부사장
- 1985년 7월 ~ 현재 : 태성전장주식회사 대표이사

<관심분야>

철도 및 자동차 부품, 제조, 와이어하네스, 자동차 센서

이 희 성(Hee-Sung Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 공주대학교 기계설계공학과 (공학사)
- 2009년 2월 : 공주대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 현재 : 태성전장주식회사 연구소 입사 / 재직

<관심분야>

배터리 전류센서, 금형 및 단조, 자기장 해석, 홀 센서