자동차 시트 리클라이너의 해석적 연구

A Numerical Study of Car Seat Recliner

이관영 · 도재윤 · 남기우

K. Y. Lee, J. Y. Do and K. W. Nam

(접수일 : 2011년 04월 06일, 수정일 : 2011년 06월 08일, 채택확정 : 2011년 06월 08일)

Key Words : Car Seat Recliner (자동차 시트 리클라이너), Tensile Test (인장시험), Finite Element Method (유한요소법), FMVSS(북미자동차 안전기준)

Abstract : Fine blanking is a specialized form of blanking where there is no fracture zone when shearing. This is achieved by compressing the whole part and then an upper and lower punch extract the blank. This allows the process to hold very tight tolerances, and perhaps eliminate secondary operations. In the present study, tensile test and numerical simulation has been performed to investigate distribution of deformation and stress of car seat recliner. The commercial ABAQUS/Explicit software was applied for analyzing the stress and strain of the recliner. In analysis, three lock gear has reached the maximum moment on rotational degree of 2.27. This is more than two times than maximum moment of same size recliner, and can be used safely. Therefore, these can use as criterion of actual structural design.

1. 서 론

최근 국내에서도 자동차, 전자, 항공 산업의 발전에 따라 일부 핵심 부품들의 치수 및 정밀도의 요구가 매우 높아짐으로 파인 블랭킹 (Fine blanking) 기술이 절실하게 요구되고 있다[1,2]. 현재 국내의 경우 파인 블랭킹 기술의 국산화에 주력하여 단발 금형 기술(Compound tool)과 순차금형기술(Progressive-tool)[3] 분야에서는 일정한 수준에 도달하였으며, 이 기술로 제작된 부품이 자동차 등에 적용되고 있다[4]. 그러나 자동차용 부품들은 장착 공용성과 경량화를 위하여 한층 작고 복잡하게 설계되고 있다. 또한, 안전성과 작동성에 대한 요구가 증대되면서 고강성, 고정밀화 되는 경향을 보여주고 있다[5-7]. 차량용 시트는 쿠션부와 철제 구조물로 구성되는데 철제 구조물은 프레임, 레일, 리클라이너로 구성된다[8-11]. 특히 시트의 안정성과 직결된 리클라이너(Seat recliner) 부품의 복합 성형제품은 파인블랭킹 제조기술을 활용하여 제작하는 연구가 진행되고 있다[12-14].

따라서 본 연구에서는 실험에서 얻어진 기계적 특성을 사용하여 안전성이 고려된 자동차의 시트 리클라이너의 구조 해석을 실시하였다.

2. 재료 시험 및 수치 해석

2.1 재료 시험

인장시험에 사용한 재료는 SNCM220이고, Fig. 1에 나타내는 것과 같은 KS B 0801 13B호 인장시험편을 사용하였다. 인장시험편은 압연방향으로 3~4개 채취하였다. 또한, 침탄열처리 전/후의 압연방향 물성치를 비교하기 위한 시험편은 두께별(4.0/4.5/5.0/6.0 mm)로 채취하였다. 이때 열처리 조건은 Fig. 2에 나타낸다.

인장시험은 98 kN 용량의 만능시험기(universal testing machine, UTM)를 사용하여 실시하였다. 이때 표점거리는 50 mm이며, 크로스헤드 속도는 10 mm/sec.로 하였다.

물성치는 로드셀과 신율계로부터 PC로 입력되는 하중-변형률 데이터는 인장시험 분석용 소프트웨어인 'UTO'를 이용하여 진응력-진변형률 곡선으로 변환하고 필요한 것을 산출하였다. 기본적으로 동일한 재료와 동일한 채취방향의 시험편들에 대해서는 데이터 샘플링을 통하여 각 물성치의 산술평균을 취하였다.

남기우(교신저자) : 부경대학교 신소재공학부
E-mail : namkw@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6358
도재윤 : 학교법인한국폴리텍 연구팀
이관영 : 부경대학교 대학원 학연협동기계공학과

또한, 진응력-진변형률 곡선을 최소자승법(least-square method)으로 역함수 형태로 곡선근사(curve fitting)하여 강도계수와 변형경화지수를 산출하였다.

Fig. 1 Dimensions and shape of specimen(Unit: mm)

Fig. 2 The condition of heat treatment

2.2 구조 해석

리클라이너는 록 기어를 캠과 결합하고, 섹터기어 내부에 삽입하고 홀더로서 고정된 후, 직경 83mm 하우징에 장착하여 자동차에 사용한다. 이와 같은 리클라이너의 정하중 시험 해석을 위하여 Fig. 3과 같은 요소를 만들었다. 각 부품의 절점과 요소 수는 Table

1에 나타내었으며, 요소는 5, 6면체 솔리드 요소를 사용하여, 상용 코드 ABAQUS/Explicit를 사용하여 해석하였다. 해석에 사용된 재료 물성은 Table 2에 나타내는 침탄 열처리한 SNCM220 4.0 t를 사용하였으며, 접촉 조건은 Colomb 마찰계수 0.15를 사용하였다.

Table 1 Number of nodes and elements for each part

Parts	No. of nodes	No. of elements
Lock gear	10,575	7,188
Sector gear	23,670	17,678
Holder	5,335	3,296
Cam	4,306	2,829
Total	43,886	30,991

Fig. 3 Finite element model of a standard round recliner

Table 2 Mechanical properties of SNCM220

Property	Unit	SNCM220, Domestic						SNCM220, Imported			
		4.0		4.5		5.0		5.0		6.0	
Heat Treatment		Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
Young's Modulus	GPa	207	207	207	207	207	207	207	207	207	207
Yield Stress	MPa	326.6	1168	305.2	1280	326.0	1251	251.8	1274	265.0	1171
Ultimate Tensile Strength	MPa	559.0	128	514.7	1367	559.1	1340	502.2	1328	490.8	1246
Stiffness Coefficient	MPa	770.5	1625	668.4	1773	758.6	1811	720.5	1700	670.2	1547
Strain-Hardening Exponent		0.149	0.065	0.142	0.066	0.169	0.075	0.190	0.059	0.168	0.056
Uniform Elongation	%	23.7	3.0	17.2	2.1	17.6	2.0	17.4	1.6	17.6	2.3

정하중 시험과 유사한 해석을 실시하기 위하여 Fig. 4와 같이 변위 및 속도 경계조건을 부여하였다. 실제 시험 시에는 섹터기어에 부착된 지지대에 하중을 가하였으나, 해석에서는 홀더와 캠의 일부 절점들을 고정하고 일정한 각속도로 섹터기어를 충분히 회전시켜 최대 모멘트가 나타나도록 하였다. 그리고 섹터 기어는 후방 정하중 해석, 즉 후방충돌을 시뮬레이션하기 위하여 Fig. 4에 나타내는 것과 같이 기어의 회전방향만 수행하였다.

Fig. 4 Boundary condition for finite element analysis

3. 결과 및 고찰

3.1 재료 시험

Fig. 5는 대표적으로 리클라이너 부품 제조용으로 많이 사용되는 SNCM220 (국내산 두께 4.0 mm)의 침탄열처리 전(a)과 후(b)의 시험편 각각 3개를 사용하여 얻은 진응력-진변형률 선도를 나타낸 것이다.

Fig. 5 Stress-strain curve of SNCM220

이 그림에서 진한 곡선은 시험편 3개의 평균 응력을 나타낸다. 또한, Table 2는 두께별로 3개의 시험편에 대한 인장시험 결과를 산술평균한 것이다. Table 2는 국내산 및 국외산에서 얻어진 물성치를 나타낸다. 보통의 인장시험으로 구하기가 어려운 종탄성계수는 핸드북의 값을 인용한 것이며, 항복응력은 내력 (proof stress), 즉 종탄성계수를 기울기로 하는 직선을 변형률 축으로 0.2 %만큼 오프셋(offset)하여 진응력-진변형률 곡선과 만나는 점의 응력 값으로 산출하였다.

침탄열처리 후에 항복응력은 3.8~5.1 배 (평균 4.4 배), 인장강도는 2.4~2.7 배 (평균 2.6 배) 증가하는 등 강도는 획기적으로 향상되었으나, 가공정화지수는 열처리 전의 31~46 % 수준으로 떨어진 것을 알 수 있었다. 가공정화지수의 감소는 보통 연신율과 성형성의 감소를 가져온다. 리클라이너 부품 제조공정의 경우 파인블랭킹 후에 침탄열처리를 실시하므로 성형성 감소 문제는 중요하지 않으나, 궁극적으로 리클라이너 조립품의 강성에는 영향을 미치게 된다.

3.2 수치 해석

동적-외연적(dynamic-explicit) 해석에서, 내부변형에너지(internal energy)와 운동에너지(kinetic energy)를 비교하여 충분히 안정적인 해석 결과를 얻기 위한 적절한 해석 시간 및 각속도를 설정하였다. Fig. 6은 최대 모멘트가 작용하는 상태의 유효 응력 분포를 나타낸다. 록 기어의 치형 3개가 최대모멘트에 도달하였으며, 록 기어는 최대모멘트에 의하

여 섹터기어와의 접촉에 의하여 외경의 변화가 생겨 일부 치형의 맞물림 상태가 불안한 부분이 나타났다. Fig. 7은 Fig. 6과 동일한 최대 모멘트가 작용하는 상태의 유효변형 분포를 나타내고 있다. 마찬가지로 최대모멘트에 도달한 치형 부분에 큰 변형이 발생하였다. Fig. 8은 Fig. 6과 7의 응력과 변형을 회전각에

Fig. 6 Moment between sector gear and lock gear

Fig. 7 Distribution of effective strain between sector gear and lock gear

Fig. 8 Relationship between reaction moment and rotational displacement

대한 모멘트 반력을 나타낸 것이다. 이 그림에서 회전각 2.27°에서 최대 모멘트(1,962 Nm)가 발생하였다. 북미의 FMVSS(Federal Motor Vehicle Safety Standard)[15]는 자동차의 각종 충돌로부터 승객을 보호하기 위하여 리클라이너의 사용 모멘트를 각종 차량에 대하여 만족하도록 요구하고 있다. 또한 시트 제작 전문업체인 프랑스 포레시아의 경우, 직경 83 mm 리클라이너의 최대 모멘트를 900 Nm으로 규정하여 생산하고 있다. 따라서 본 연구에서 해석한 리클라이너는 실 구조물 설계에 기준이 되는 자료로 활용할 수 있다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동차 시트 리클라이너용 재료의 인장시험을 실시하고, 얻어진 물성치를 사용하여 리클라이너의 구조해석을 실시하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 침탄열처리재의 항복응력은 평균 4.4배, 인장강도는 평균 2.6배 증가하였으나, 가공경화지수는 열처리 전의 31~46 % 수준으로 떨어졌다.

(2) 리클라이너의 수치 해석에서 록 기어의 치형 3개가 회전각 2.27°에서 최대모멘트(1,962 Nm)에 도달하였다. 이것은 본 연구에서 해석한 동일 치수의 리클라이너에서 요구하는 최대 모멘트보다 2배 이상이므로 안전하게 사용할 수 있다. 따라서 이런 값들은 시트 실 구조물 설계에 기준이 되는 자료로 활용할 수 있다.

참고 문헌

1. Haac, J. and Birzer, F., 1984, "Practical Handbook of Fine-blanking Finetool AG", Swiss
2. The Committee on Fine Blanking, 2010, "Fineblanking Handbook", pp.7-16.
3. Kim, J. H., Ruy, J. G., Choi, C. S. and Chung W. J., 1996, "Development of Fine Blanking Die with Fluid Chamber and its Application to Production of Circular Blanking in a Hydraulic Press", KSPE, Vol. 13, No. 5, pp.157-163.
4. Han, K. T., 1999, "A Study on the Forming of Parts for Automobile using Fine Blanking Process", J. Manufacturing Engineering &

- Technology, Vol. 8, pp. 56-61.
5. Mallick, P. K., 1991, "Composite Materials Technology: Processes and Properties", Hanser Gardner Pubns.
6. Glance, P., 1986, "Computer-Aided Engineering of Seat Structures", SAE 861394, pp. 5396-5402.
7. Tribbett, K. N. and Lynn, J. C., 1992, "Evaluation of Automotive Front Seat Structure Constructed of Polymer Composite", SAE 920335 pp. 270-274.
8. Lee, S. H., Choi, H. S., Chang, M. J., Kim, D. S., Bae, J. H., Ko, D. C. and Kim, B. M., 2010, "Reduction of the Roll-Over of the Sector Tooth for Achieving Improved Recliner Locking Performance", Transactions of the KSME(A), Vol. 34, No. 11, pp. 1555-1784.
9. Chang, F. S. and Hallquist, J. O., 1996, "Finite Element Analysis of Low-Density High-Hysteresis Foam Materials and the Application in the Automotive Industry", ASE 960567, pp. 699-616.
10. Nagpal, R. and Kuo, E. Y., 1996, "A Time-Domain Fatigue Life Prediction For Vehicle Body Structures", SAE 960567, pp. 607-616.
11. Park, Y. S., Lee, J. Y., Lim, J. M. and Park, G. J., 1996, "Optimum Design of the Steering Column to Minimize the Injury of an Occupant", Int. J. of Vehicle Design, Vol. 17, No. 4, pp. 398-414.
12. Guanggi, T., et al., 1993, "Recent Development of Fine Blanking Technology in China". Proceed. 4th Int. Con. on Technology of Plasticity, Beijing, China, pp. 246-250.
13. Kondo, K., 1989, "Recent Development of Shearing in Japan". Int. J. Mach. Tools, Vol. 29, pp. 29-38.
14. Popata, P. B., Ghosh, A. and Kishore, N. N., 1989, "Finite Element Analysis of the Blanking Process", J. Mech. Work. Tech., Vol. 18, pp. 269-282.
15. NHTSA USA, "FMVSS Standard No 207-Seating Systems".