

알루미늄 압출부재의 굽힘붕괴 해석 및 실험에 관한연구

강 신 유* · 서 성 수**

A Study on the Bending Collapse Analysis and Test of Al Extrusion Members

Kang, Shin-You* · Seo, Sung-Soo**

ABSTRACT

This study is concerned with characteristics of bending collapse of aluminum members with multi-cell section. Aluminum is light so it is compatible of being used for vehicle structures members. Bending collapse behaviors of aluminum members with multi-cell section are very complex and tension failure mode are occurred in experiment. In this paper, the aluminum members are modeled to be able to represent the tension failure mode and, characteristics of bending collapse of aluminum members with multi-cell section by experimental method are compared with the results of PAM-CRASH.

1. 서 론

자동차 회사들은 연비절감을 위해서 차량의 경량화를 위해 다각적으로 노력하고 있다. 이는 차량의 각 부재들을 알루미늄 등의 경량화 재료들의 사용을 요구하며, 경량화와 동시에 정적, 동적강도의 유지 및 안전도의 보장을 필요로한다. 차량의 구조물은 충돌시에 축방향 압축붕괴와 굽힘붕괴가 혼합된 변형양상을 보여주며 각국에서는 이에 대하여 연구가 활발히 이루어져 왔다. 이 붕괴형태

중 굽힘 붕괴의 경우 자동차의 전복사고에서 주를 이루며 이러한 전복사고나 또는 충돌에 있어서도 승객의 생존공간확보와 충돌에너지의 효과적 흡수를 위해서 부재의 굽힘붕괴에 대한 연구는 필수적이다. 각각의 부재의 굽힘붕괴는 굽힘 모우멘트에 의하여 발생한 소성 힌지에 의하여 진행된다. 그러므로 설계단계에서 부재가 흡수할 수 있는 변형에너지와 부재의 변형형상을 계산하기 위해서는 굽힘 모우멘트를 받는 부재의 붕괴이후 거동에 관한 연구가 필요하다.

알루미늄 부재는 철에 비하여 상대적으로 가볍고 강성이 철에 비하여 작지만 성형성이 우수하다. 따라서 차량의 내부부재의 굽힘강도를 높이기 위

* 강원대학교 정밀기계공학과 조교수

** 강원대학교 기계공학과 대학원

해서 단순한 사각관 대신 보강판이 들어있는 형태의 부재가 보다 유리할 수 있으며 이에 대한 굽힘 붕괴특성의 연구가 필요하게 된다. 단순한 사각관 형태의 부재에 대한 굽힘붕괴에 대하여는 실험 또는 해석적인 해를 구하는 연구는 많이 있어 왔다. 그러나 단면의 내부에 보강판이 있어 멀티셀 단면을 갖는 부재는 붕괴거동이 복잡하여 해석적인 해를 구하기 어려우며 같은 특성치를 갖는 사각단면으로 치환하여 대부분 계산하여 왔다. 본 연구에 사용한 멀티셀 단면의 알루미늄 부재는 두께가 3mm 이상이고 보강판 효과에 의해 굽힘 하중에 대하여 높은 강성을 나타냈으며 또한 소성힌지에 의한 붕괴보다 인장파괴에 의한 붕괴가 실험에서 관찰되었다.

따라서 본 연구에서는 적절한 수치해석적 모델링 방법을 통하여 인장파단을 예측 가능하게 하고자하여 이를 자동차의 설계단계에서 반영할 수 있는 데이터로 계산할 수 있도록 하였다. 실험은 이미 직접제작한 사점지지 순수굽힘 시험기를 사용하였다. 이 시험기는 굽힘 시험과정에서 발생하는 인장력과 전단력을 최대한 줄였으며 붕괴가 일어난 후의 거동도 측정할 수 있는 방법을 사용하였다.

2. 멀티셀 단면 알루미늄부재의 굽힘붕괴실험

Fig. 1은 4점지지 순수굽힘 시험기를 나타내고 있다. 유압실린더를 통하여 양쪽의 지지바퀴에 회전모우멘트를 가하여 이를 시편에 굽힘 모우멘트로 작용시킨다. Fig. 2는 이 시험기의 데이터 처리 장치를 나타내고 있다. 회전각은 포텐서미터의 저항에 의하여 측정하며 모우멘트는 유압실린더의 스트로크 끝부분에 달린 로드셀의 하중을 모우멘트로 계산하여 이를 PC로 받아들여 M- θ 곡선으로 나타내었다. 본 시험기는 단면이 가로 100mm, 세로 90mm의 크기를 가지는 시편을 실험할 수 있으며 최대 굽힘모우멘트는 20kN-m까지 발생시킬 수 있다.

멀티셀 단면 알루미늄부재의 굽힘붕괴실험에 사용한 부재의 단면의 형태는 Fig. 3에 나타나있는 바와 같이 3가지의 단면의 형태를 가진 부재에 대하여 실험을 행하였다. 시편의 내부는 시험기의 로딩핀에 의하여 힘을 가하기 때문에 로딩핀 부분에서 시편이 붕괴하는 것을 막기위해서 시편의 내부에 보강재를 넣어 로딩핀에 의한 붕괴를 막았다. 따라서 붕괴지역은 시편의 가운데 약 100~150mm 사이로 제한하였다.

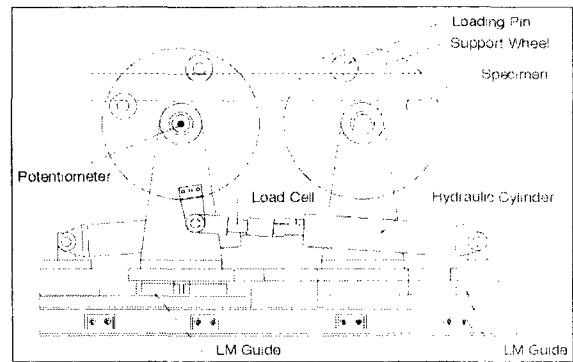


Fig. 1 Schematics of Test Machine

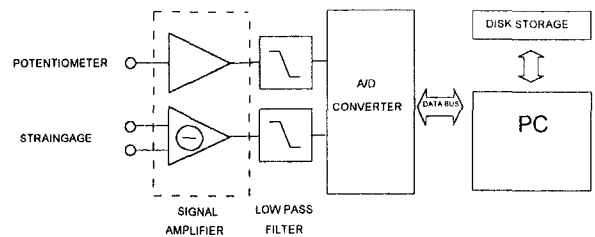


Fig. 2 Schematics of the Data Acquisition System

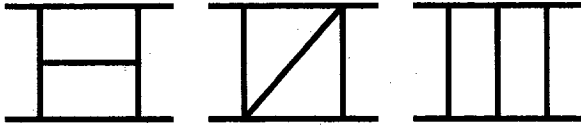


Fig. 3 Section of Multi-Shell Specimen

Fig. 4, 5, 6은 각각 위의 시편에 대한 시험후 파단이 난 모습과 M- θ 곡선을 나타내고 있다. 그림에서 나타나는 바와 같이 최대모우멘트가 작용된 지점에서 시편은 붕괴를 발생시키며 시편에 인장파단이 발생한 경우에는 모우멘트가 급격히 감소함을 알 수 있다. Fig. 4의 경우 인장파단면이 2개가 존재하며 M- θ 곡선에서도 이를 나타내어주고 있다. 그래프에서 그리고 Fig. 5, Fig. 6의 M- θ 곡선에서 보듯이 시험과정에서 최대급힘 모우멘트를 지나 붕괴가 일어나게 되면 붕괴이후의 거동은 각각의 시편에 대하여 많은 차이를 보인다.

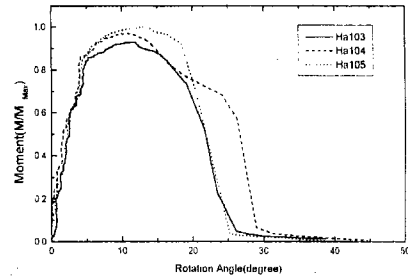
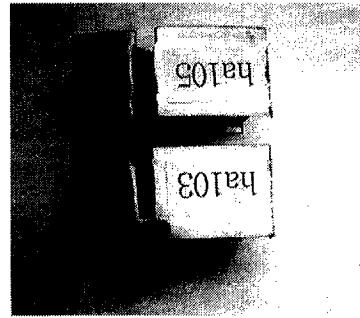


Fig. 5 Results of Test for || Type Section Members

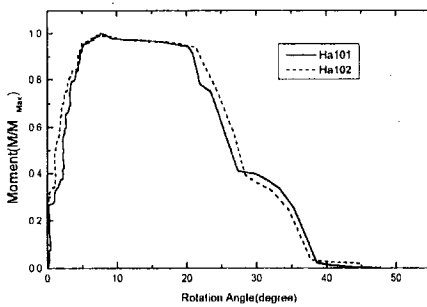
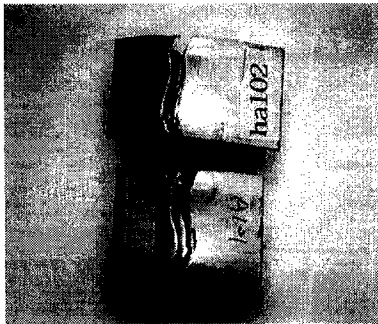


Fig. 4 Results of Test for |-| Type Section Members

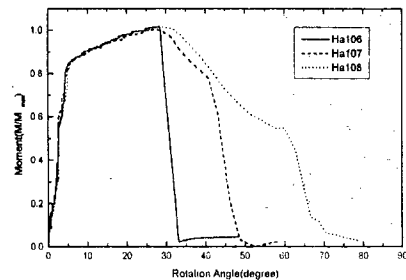
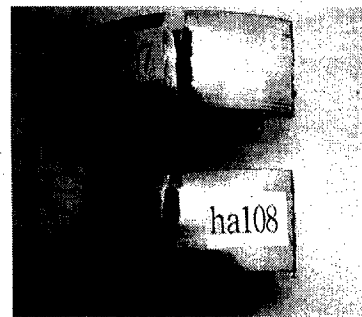


Fig. 6 Results of Test for ||| Type Section Members

4. 재료의 인장시험

수치해석 프로그램과 식에 적용하기 위한 재료의 물성치를 직접 실험을 통하여 얻었다. 다음의 Fig. 7은 실험전 인장시편을 Fig. 8은 실험후의 인장시편을 나타내고 있으며 Fig. 9는 실험을 통하여 얻은 재료의 engineering stress와 true stress, 그리고 해석에 사용한 data를 나타내고 있다. 그래프에서 나타나듯이 true stress의 경우 단면의 감소로 인하여 끝부분이 상승하고 있는 형태이다. 인장파단을 고려한 경우 tensile strain은 0.1로 설정하였다.

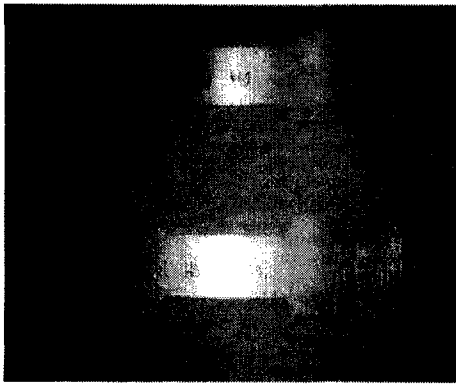


Fig. 7 Tensile Specimens before Test

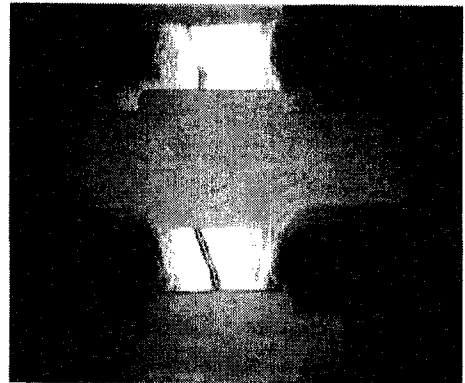
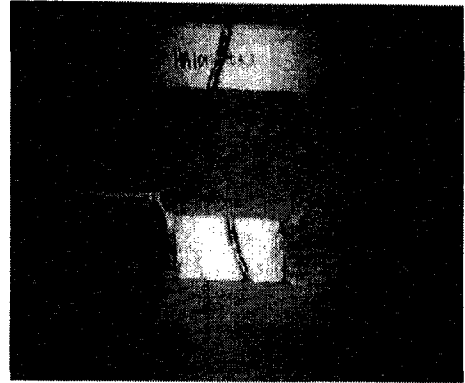


Fig. 8 Tensile Specimens after Test

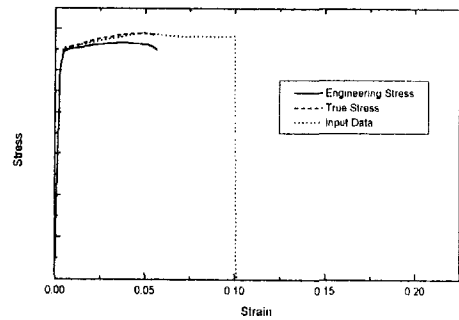


Fig. 9 Stress-Strain curves

5. 수치해석

수치해석 모델링은 변형이 일어나는 부분인 가운데의 길이 200mm로 I-형의 경우 대칭을 이용하여 반모델을 사용하였으며 나머지는 완전한 모델을 사용하였다. 모멘트의 발생은 모델의 양끝단에 하나의 기준절점(reference node)를 설정하고 끝단의 절점들을 이 기준절점과 연결시킨 후 기준절점을 일정한 속도로 회전시키는 방법으로 모우멘트를 가하였다. 이러한 방법은 PAM-CRASH에서는 velocity boundary condition을 이용하여 설정하여 준다. 이러한 방법은 절점이 일정한 속도를 가지므로 시간에 따른 회전각을 구할 수 있으며 여기에 작용하는 모우멘트는 양끝단중 하나의 끝단에 작용하는 반력을 구하여 이값과 도심에서 기준절점까지의 거리를 곱하여 모우멘트를 산출하였다. 재료 모형의 경우 일정한 스트레인 값이상일 경우 파단이 일어나는 elimination 옵션을 사용하여 파단이 일어나도록 하였다.

Fig. 10, 11, 12은 알루미늄 부재들의 수치해석의 변형의 결과와 M- θ 곡선의 비교를 나타내고 있다.

변형 형상은 인장파단이 일어난 부분을 나타내고 있으며 두 번째 부재인 I-형 부재의 경우 파단면이 아래쪽에 발생하지 않고 옆면이 파단하여 나타났으며 실재의 실험의 경우에도 옆면이 파단된 결과가 나타난다. 또한 이 모델의 경우 단면의 형태를 살펴보면 보강재가 대각선 방향으로 들어가 있어 굽힘 과정에서 다른 면과의 접촉이 발생하게 된다. 따라서 이 모델의 경우는 접촉을 고려하여 해석을 수행하였다. M- θ 곡선의 비교에서 보듯이 인장파단을 고려하지 않은 경우보다 인장파단을 고려한 경우에는 굽힘붕괴를 고려하지 않은 경우보다 굽힘붕괴 후 모우멘트의 감소가 급격히 발생하여 전체적으로 에너지 흡수량이 차이가 있음을 알 수 있다. 앞의 결과에서 두 번째 모델인 I-형 단면부재의 경우 실험의 결과와 해석의 결과가 다른 것을 알 수 있다. 이 경우 실험의 M- θ 곡선에서도 나타나듯이 굽힘붕괴가 발생한 후 굽힘이 더

진행된 뒤 인장파단이 발생하는 것을 볼 수 있다. 해석의 결과에서도 보듯이 인장파단의 경우와 그렇지 않은 경우와의 차이가 많지 않으며 인장파단보다는 굽힘 붕괴의 거동에 영향을 많이 받는 모습을 보여주고 있다. 위의 변형 모습들은 모두 인장파단의 형태를 나타내기 위하여 인장파단면이 위를 가르키도록 모델링 하여 해석하였다.

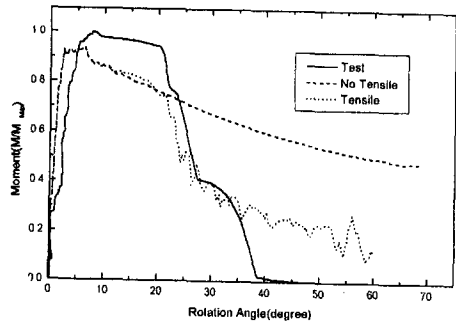
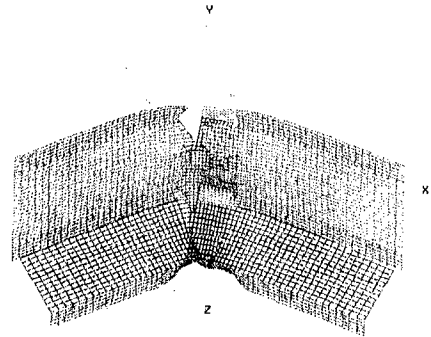


Fig. 10 M- θ Curve of Test and Analysis for I- Type Section Member

6. 결론

- ① 멀티셀 단면 알루미늄 부재를 굽힘붕괴실험을 한 결과 단면의 강성이 강하여 대부분 인장파단이 발생 하였다.
- ② PAM-CRASH에서 재료의 인장파단을 모델링 하여 해석한 결과 실험 결과와 잘 일치하였다.

7. 참고문헌

1. 강신유, 장인배, 김현영, "순수굽힘 시험기 개발을 통한 박판 사각관 부재의 굽힘붕괴 특성 연구", 대한기계학회'97춘계학술대회논문집, pp.739-744, 1997.
2. 강신유, 김창수, 정태은, "알루미늄 사각관의 굽힘붕괴특성에 관한 실험적 고찰", 한국소성가공학회 '97춘계학술대회논문집, pp.265-272, 1997.
3. S.Y.Kang, I.B.Jang, H.Y.Kim, "The Bending Collapse Characteristics of The Thin Walled Tubes Using Pure Bending Test Machine", ISATA 30th Conference at ITALY, Florence, 97NM068, 1997.
4. PAM-CRASH User's Manual, PAM Systems International, France, 1996.
5. S.H.Crandall, *An Introduction to the Mechanics of Solids*, McGRAW-HILL Book Co., 1970.

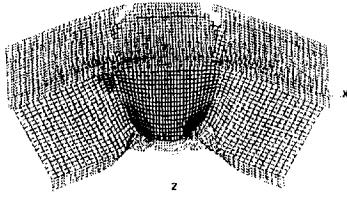
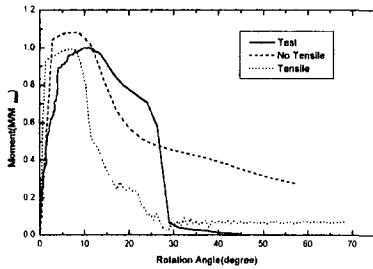


Fig. 11 M- θ Curve of Test and Analysis for || Type Section Member

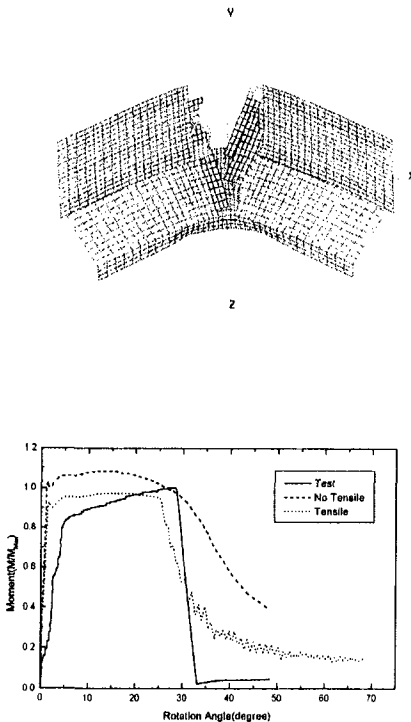


Fig. 12 M- θ Curve of Test and Analysis for ||| Type Section Member