



## 유한요소해석을 이용한 파열판의 특성 예측

\*한창용\* · 이성범\*\* · 정희석\*\*\* · 김태구\*\*\*

\*인제대학교 기계공학과, \*\*인제대학교 고안전차량핵심기술연구원, \*\*\*인제대학교 보건안전공학과  
(2008년 12월 30일 접수, 2009년 4월 24일 수정(1차), 2009년 5월 24일 수정(2차), 2009년 5월 24일 채택)

### Property Prediction of Rupture Disc by Using Finite Element Analysis

\*Chang Yong Han\* · Seong Beom Lee\*\* · Hee Suk Jung\*\*\* · Tae Gu Kim\*\*\*

*\*Department of Mechanical Engineering, Inje University, Gimhae, GN, 621-749, Korea*

*\*\*High Safety Vehicle Core Technology Research Center, Inje University, Gimhae, GN, 621-749, Korea*

*\*\*\*Department of Occupational Health & Safety Engineering, Inje University, Gimhae, GN, 621-749, Korea*

*(Received 30. December. 2008, Revised(1st) 24. April. 2009, Revised(2nd) 24. May. 2009, Accepted 24. May. 2009)*

#### 요 약

최근 화학 산업이 발전함에 따라 고압설비가 널리 이용되고 있다. 이러한 고압 설비는 편리성과 함께 많은 위험을 내포하고 있다. 파열판 안전장치는 고압설비의 안전사고로부터 설비와 생명을 보호하는 장치이다. 파열판 안전장치는 홀더, 파열판, 버큘서포트로 구성되어 있으며, 다양한 환경 조건에서 부식되거나 파괴되는 단점이 있다. 본 논문에서는 부식 저항성이 우수하여 파열판 안전장치의 소재로 많이 사용되고 있는 STS 316L stainless steel 소재를 이용해서 제작한 파열판 안전장치를 CATIA V5를 이용하여 3차원 모델링을 수행하고, 유한요소해석을 통하여 소재의 두께와 높이에 따라 파열판 안전장치의 파열에 영향을 미치는 요인을 분석하였다.

**Abstract** - High pressure devices are used widely. Interest in rupture disc to people is the increases in protect of facilities and people. A rupture disc consists of mainly three parts: holder, plate and vacuum support. Rupture discs are rusted or destroyed by diverse environments. Rupture discs are made from STS 316L stainless steel because of its high corrosion resistance and yield strength. In this study, modeling of a rupture disc by CATIA V5 and finite element analysis by ANSYS were carried out. The finite element analysis results executed to predict properties of the rupture disc with thickness and height.

**Key words** : high pressure device, rupture disc, safety relief valve, finite element analysis

#### 1. 서 론

한국 화학 산업이 급속도로 발전하고 그 규모가 커지면서 국내의 석유·화학 공업, 제철·제강 공업 및 섬유공업 등 제조업 전 분야에서 보일러나

압력용기, 저장장치 등의 고압 설비가 이용되고 있다.

하지만 이러한 고압의 압력장치는 그 편리성과 함께 많은 위험을 내포하고 있어 인명과 재산을 보호하기 위한 다각적인 노력이 필요하다.

본 연구 대상인 파열판 안전장치는 각종 압력용기 및 저장탱크, 압력배관 설비의 일정장소에 설치하여 시스템에 이상 압력이 발생할 경우 시스템의 허용

설계 압력에 도달하기 전 설정 압력 내에서 파열되어 이를 안전하게 일정장소로 배출시켜줌으로써 설비 및 인명과 재산을 보호하며, 산업재해를 방지하기 위해 사용되는 안전밸브를 대처하는 비 복귀형 압력방출 방호장치이다.

이러한 파열판 안전장치는 파열판 홀더, 파열판, 버큘서포트 등[1]으로 이루어져 있으며, 파열판 안전장치가 돔형 및 반전형의 도반각인형(scored type)으로 변화하는 추세에 있어 이에 대한 대비와 대책이 국내 제조업체에도 요구되나 국내 제조업체의 기술수준은 미흡한 실정이다.

현재 돔형 및 반전형의 도반각인형의 경우 가공 공정 단계에서 scored 가공 단계를 거친 후 성형가공 단계를 거쳐 목시검사를 통해 파열시험을 수행하고 있지만 scored 가공 후 성형단계에서 파열판이 파열되거나 찌그러지는 등의 현상이 다수 발생하며, 실제 작업장에서의 설치 시 설치 작업자들의 파열판의 돔 가공부위의 접촉으로 인한 충격 발생으로 인해 낮은 압력에서도 파열이 발생된다. 실제 산업현장의 종사자들은 경험적으로 알고 있으나 정량적인 거동은 파악하지 못하고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 돔형 및 도반각인형(scored type) 제작의 개발을 위해 3차원 모델을 이용하여 유한요소해석을 통한 파열판의 두께와 높이에 변

화에 따른 파열을 예측 하고, 이를 이용하여 작업 공정의 표준화를 통해 산업재해를 감소시킬 방안을 제시하고자 한다.

Fig. 1은 파열판 안전장치의 돔형 및 도반각인형(scored type) 형상이다. Fig. 2는 파열판 holder에 장착된 파열판 안전장치이다.

## II. 유한요소법을 이용한 해석

### 2.1 유한요소해석 모델링

본 연구에서 사용되어진 파열판 안전장치는 원형의 동일한 형태이기 때문에 Fig. 3과 같이 불필요한 해석 시간을 줄이고자 전체모델의 1/8 부분에 대해 축소 모델링을 이용하였다. 파열판에 대한 3차원 모델링은 상용프로그램인 CATIA V5를 이용하여 수행하였다. 이를 상용유한요소해석 프로그램인 ANSYS를 이용하여 하중의 작용형태에 따른 유한요소해석[2]을 수행하였다.

### 2.2 재료 물성치 및 기계적 성질

파열판 holder에 장착되는 파열판 안전장치는 온도상태, 방출관의 결빙 및 대기 등, 다양한 환경에 의해 부식되어지므로, 해석에 사용된 재질은 현재 산업현장에서 가장 많이 사용되고 있는 STS 316L stainless steel로써 항복강도와 인장강도가 우수하고 특히, 파열판의 가장 중요점인 부식저항성이 다른 물질보다 뛰어난 특성을 가지고 있다. STS 316L stainless steel의 화학적 성질은 아래 Table 1과 같으며, 기계적 성질은 Table 2와 같이 항복강도 170 MPa, 극한강도 485 MPa를 가진다[3].



Fig. 1. Rupture disc(scored type).

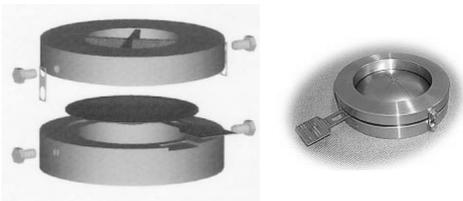


Fig. 2. Rupture disc holder.

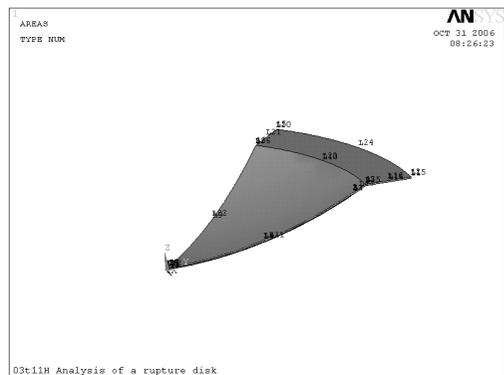


Fig. 3. Modeling of Rupture disc.

**2.3 유한요소해석을 위한 경계·하중 조건**

파열판 설계 시에 고려해야 할 요소에는 소재의 초기 두께, 내직경, 높이, 성형을 위한 유압의 온도, 성형압력, 파열압력, 체결시 압력누수 방지를 위한 누수 방지 턱의 높이 및 폭, 파열시험시의 공기의 유속 및 압력의 증분 크기 등이 있다<sup>4)</sup>. 특히 파열판은 높은 압력으로 인한 폭발이 발생하는 압력 차동 장치

이기 때문에 파열판 양쪽의 압력을 고려해야 한다.

따라서 본 연구에서는 scored type의 파열판 안전장치가 파열판 holder에 장착되었을 때 작용하는 최저 압력 조건인 9.0 kgf/cm<sup>2</sup>을 하중 조건으로 설정하였다. 또한 동일한 형상을 가진 파열판에 대해 실제 산업 환경에서 가장 많이 사용되어지는 0.3~0.8 mm로 변할 경우와 같은 두께에 높이가 11~15 mm로 변할 경우 scored를 따라 파열이 일어나는지에 대하여 유한요소해석을 수행하였다. Fig. 4는 유한요소해석을 수행하기위한 구속조건과 하중 조건을 나타내고 있다.

**Table 1.** Chemical composition of STS 316L.

Component	Percent(%)
C	0.03
Cr	16~18
Fe	62~69
Mn	2
Mo	2~3
N	0.1
Ni	10~14
P	0.045
S	0.03
Si	0.75

**III. 유한요소해석 결과 및 검토**

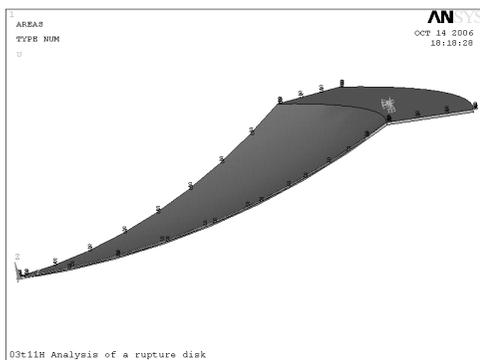
**3.1 두께의 변화에 따른 해석 결과**

ANSYS를 이용하여 파열판 안전장치가 일정한 압력을 받고 같은 크기에서 두께가 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, 0.6 mm, 0.7 mm, 0.8 mm일 때에 관해 각각 해석을 수행하였다. Fig. 5는 파열판 안전장치의 두께 변화에 따른 해석 결과를 나타내고 있다. 결과에서 알 수 있듯이 일정한 압력이 작용하고 같은 크기에서 두께 0.4~0.8 mm에 대해 각 element에서의 maximum von-mises stress 값은 각각 462.637 MPa, 378.009 MPa, 319.133 MPa, 244.933 MPa, 192.946 MPa로 나타났다.

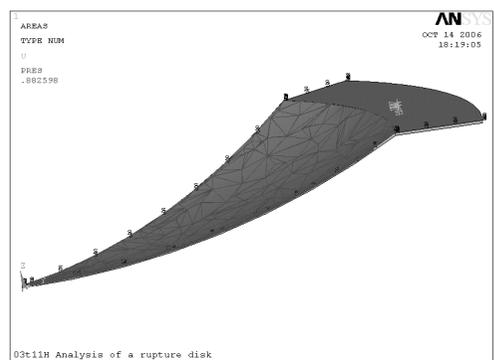
두께의 변화에 대한 유한요소해석 각각의 결과 값 중 0.4~0.8 mm는 재료의 극한강도(485 MPa) 보다 낮음을 확인할 수 있다. 반면 두께 0.3mm는 585.79 MPa 정도로 재료의 극한강도보다 높음으로써 재료가 압력에 대해 scored에 따라 파열된다는 것을 확인할 수 있다.

**Table 2.** Material property of STS 316L.

Ultimate Tensile Strength	Yield Strength	Young's Modulus	Density
485 MPa	170 MPa	200 GPa	8.027 g/cm <sup>3</sup>

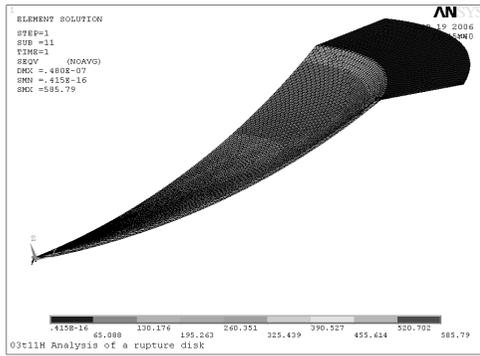


(a) Symmetry condition

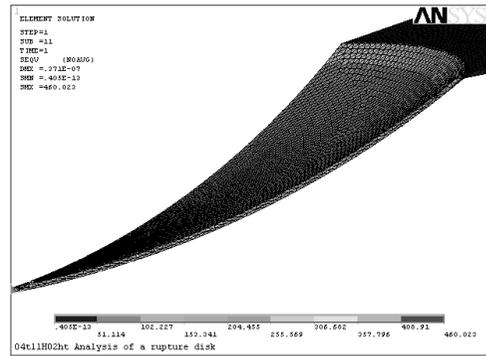


(b) Pressure condition

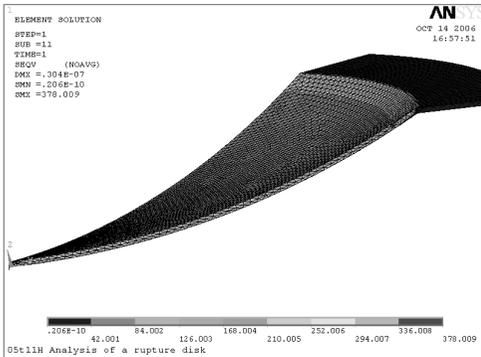
**Fig. 4.** Boundary condition of rupture disc.



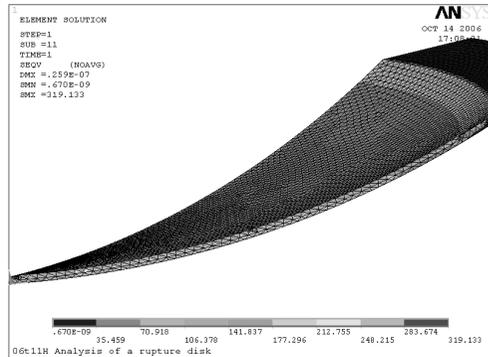
(a) Stress result(t=0.3 mm)



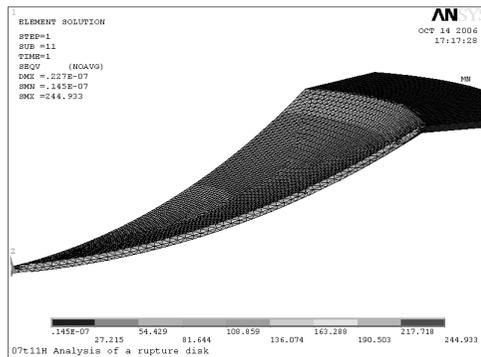
(b) Stress result(t=0.4 mm)



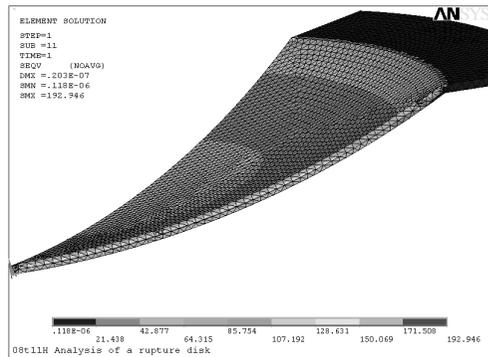
(c) Stress result(t=0.5 mm)



(d) Stress result(t=0.6 mm)



(e) Stress result(t=0.7 mm)



(f) Stress result(t=0.8 mm)

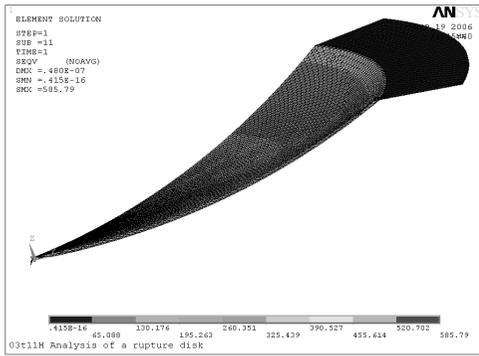
Fig. 5. Von mises-stress of rupture disc with thickness.

### 3.2 높이의 변화에 따른 해석 결과

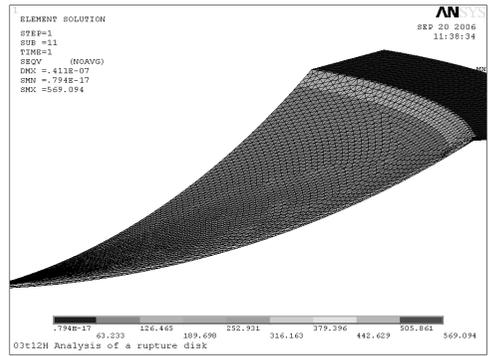
Scored에 의해 파열된 가능성이 높은 0.3 mm의 두께의 파열판 안전장치에 대해 높이 11~15 mm의 변화에 대해 각각 유한요소해석을 수행하였다.

Fig 6은 파열판 안전장치 각각의 높이에 따른 해석 결과를 나타내고 있다. 높이 11~14 mm의 변화에 대한 해석 결과 값은 element에서의 maximum von-mises stress 값은 각각 585.7 MPa, 569.094 MPa, 532.09 MPa,

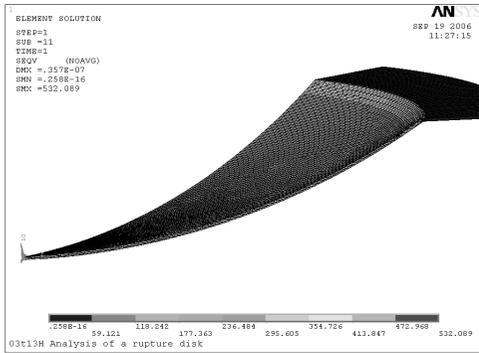
유한요소해석을 이용한 파열판의 특성 예측



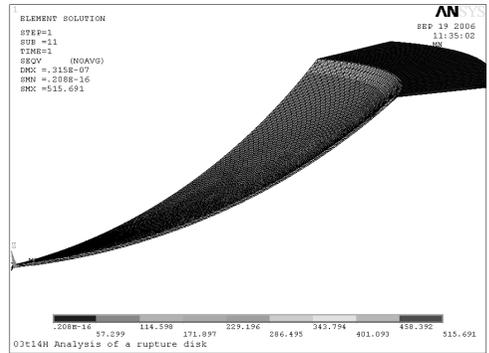
(a) Stress result(h=11 mm)



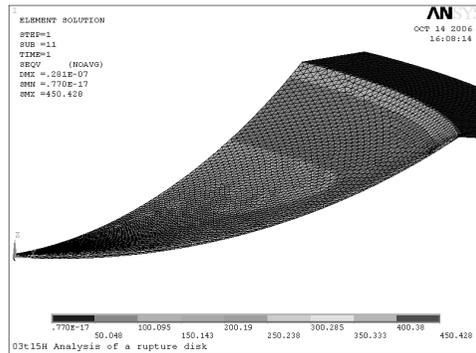
(b) Stress result(h=12 mm)



(c) Stress result(h=13 mm)



(d) Stress result(h=14 mm)



(e) Stress result(h=15 mm)

Fig. 6. Von mises-stress results of rupture disc with height.

515.7 MPa로 나타났다. 각각의 결과 값은 재료의 극한강도보다 높음으로서 재료가 압력에 대해 scored 에 따라 파열한다는 것을 확인할 수 있다.

반면 높이 15 mm에서는 450.428 MPa 로 재료의 극한강도보다 낮아짐을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 각 높이변화에 따라 각 두께에서 나타나는 von mises-stress를 나타내고 있다. 두께가 4 mm 이상일 경우 각 높이에 대해서는 극한강도 485 MPa 의 이하의 값을 나타냄을 알 수 있다.

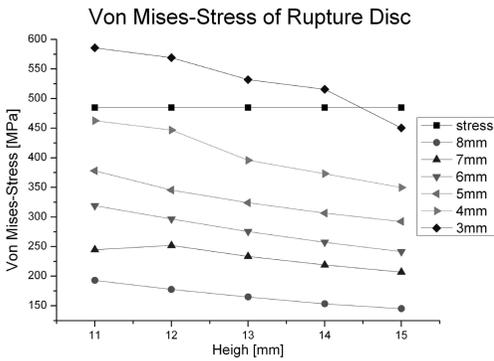


Fig. 7. Graph of rupture disc with Von mises-stress.

#### IV. 결론

본 연구에서는 파열판 안전장치의 파열에 영향을 미치는 요인에 대해 알아보고자 하였다. 파열판 압력장치의 유한요소해석 모델을 제시하였으며, 유한요소해석 결과에 따른 파열판 안전장치의 두께와 높이 변화에 따라 나타나는 응력값이 달라짐을 확인 할 수 있다. 특히, 두께가 얇고, 높이가 낮아짐에 따라 응력 값은 크게 나타남으로써 scored에 따른

파열이 쉽게 일어남을 예측할 수 있다.

본 연구에서는 정적인 상태에서의 파열판 안전장치의 특성에 영향을 미치는 두께 및 높이에 따른 해석만을 수행하였지만, 파열판 안전장치에 대한 단면의 변화, 온도 및 다양한 크기를 고려한 해석이 추가적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 향후 실제 파열판의 제작을 통하여 두께와 높이에 따른 파열 실험을 통한 해석의 신뢰성을 확보 할 예정이다.

#### 참고문헌

- [1] 신창섭, 김성민, 전고운, 송기영, “파열판 안전장치의 국내·외 규격 비교 및 국내 규격의 선진화 방안”, *Journal of Industrial Science and Technology Institute*, **20**(2), 47-52, (2006).
- [2] Charles E Knight, *The Finite Element Method in Mechanical Design*, Sigmaphress, (1993).
- [3] 윤종호, 황경충, “STS 316L 스테인리스강의 크리프 수명예측”, *KSAE*, **14**(2), 16-22, (2006).
- [4] 강영규, “Rupture Disc의 성형압력 및 파열압력 해석”, *KSPE*, **18**(6), 109-113, (2001).
- [5] Tae Sung S&E “비선형 기본과정 메뉴얼”, *Tae Sung S&E Inc*, (2006).