

저탄장 자연발화 방지를 위한 압력용기의 응력 해석

A Stress Analysis for Pressure Vessel to Prevent Spontaneous Ignition of Coal Stockpile

김영인¹ · 김승훈² · 지민석³ · 염찬섭⁴ · 최원혁^{3*}

¹한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부(한서대학교)

²한서대학교 항공시스템공학과

³한서대학교 항공전자공학과

⁴(주)피플아이

Young In Kim¹ · Seung Hun Kim² · Min-Seok Jie³ · Chan Sub Yeum⁴ · Won Hyuck Choi^{5*}

¹School of Aerospace & Mechanical Engineering, Korea Aerospace University(Hanseong University), Gyeonggi-do, 10540, Korea

²Department of Aeronautical Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 32158, Korea

³Department of Avionics Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 32158, Korea

⁴People-i Ltd, Daejeon, 34016, Korea

[요 약]

자연발화의 문제는 심각한 경제적 손해뿐만 아니라 화재 시 발생하는 유해가스로 인해 환경오염을 발생시키는 대표적인 발전 소 피해이다. 저탄장 자연발화 예방 및 조치하기 위해 드론을 이용하는 방법이 제시되었으나 외부의 측풍과 외란으로 인한 2차 사고의 발생위험이 존재하는 상황이다. 자연발화의 원인과 영향 인자는 매우 복잡하기 때문에 사전에 예방하기가 쉽지 않으며 일단 발생하면 소화하기도 어렵다. 따라서 저탄장 내부에서 직접적으로 온도 및 상태를 측정하고 자연발화 지점에 직접적으로 냉각 가스를 분출하여 소화하는 장치가 필요하다. 본 연구는 저탄장의 자연발화를 예방하기 위한 냉각볼 장치의 내부 압력과 외부 압력에 대하여 구조해석을 실시하고 구조적 안전성에 대하여 연구한다.

[Abstract]

Spontaneous ignition is not only severe economic damage but also a typical plant damage caused by harmful gases generated during the fire. Because coal is porous, it causes oxygen to be absorbed in the amount of oxygen per unit weight of oxygen, resulting in low humidity and low thermal conductivity. The cause and effect of spontaneous ignition are very complex, so it is difficult to prevent it beforehand and once it is difficult to digest it, it is difficult to digest it. This study examines structural safety by conducting a structural analysis of the cooling ball system to prevent spontaneous combustion of coal stockpile plants and external pressures.

Key word : Pressure vessel, Spontaneous ignition, Coal stockpile, Cooling ball, Coal.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.3.205>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 15 May 2018; Revised 4 June 2018

Accepted (Publication) 23 June 2018 (30 June 2018)

*Corresponding Author; Won Hyuck Choi

Tel: +82-10-9716-5668

E-mail: choiwh@hanseo.ac.kr

I. 서론

저탄장 (coal stockpile)의 자연발화 (spontaneous ignition)에 의한 피해는 석탄 화력발전소의 저급탄 사용량이 증가에 비례하여 자주 발생하며 심각한 경제적 손해뿐만 아니라 화재 시, 발생하는 유해가스로 인한 환경오염을 야기하는 대표적인 발전소 피해이다.

관련 업계에서는 저탄장 자연발화 문제를 해결하고자 물리적 또는 화학적인 해결 방안이 제시되고 있음에도 고가의 설비 구축 및 운용비용과 효과가 보장되지 않아 현장에서는 어려움을 겪고 있다. 석탄을 사용하는 500 MW의 화력발전소에는 대략 500 Ton 용량의 석탄 저장소가 대략 6개가 설치되고, 그 중 5개는 정상적인 석탄의 공급이 이루어지며, 나머지 1개는 예비로 일정기간 동안 사용할 수 있는 석탄을 비축하는 저탄장으로 운영되고 있다. 석탄을 야외에 적재하면 분진가루가 날려 작업장의 환경을 오염 시키고 바람에 의해 원료가 일부 손실되는 문제점이 있다. 근래에는 주로 밀폐된 저장고에 보관하고 있어 자연발화의 문제는 더 커지고 있다[1],[2]. 또한 자연 발화 과정에서 생성되는 가스는 외부로 방출되지 않을 경우 가스 폭발의 원인이 되며 저장설비 내의 자연발화는 분진 폭발을 유도할 수도 있다. 이처럼 석탄을 보관하는 공간에는 자연발화방지를 위한 안전관리가 매우 중요하며 화재 발생에 대한 대책이 필요한 상황이다.

저탄장의 자연발화 대책 마련이 시급하여 최근에는 드론의 관심도가 높아짐에 따라, 드론을 이용한 옥외 저탄장 자연발화 예측 및 예방 정책을 추진하는바 있다. 옥외 저탄장에 드론을 비행시켜 열화상 카메라 등을 이용하여 저탄장의 자연발화 지점을 측정 및 예측한다. 그러나 옥외저탄장의 크기에 비해 드론의 비행시간이 현저히 짧고 비행도중에 측풍 및 외란으로 인한 2차 사고의 위험성이 존재하고 있는 실정이다[3].

따라서 다른 대책의 한 방법으로 제시한 것이 냉각볼에 의한 소화방법으로, 이 방법은 저탄장의 온도가 일정 온도 이상이 되면 소화액을 분출하여 온도를 낮추는 방법이다.

본 연구는 이러한 냉각볼(cooling ball) 장치의 구조적 안전성에 대한 연구로써 가스압력에 대한 내부 탱크의 압력 해석과 외부 압력에 대한 냉각볼 형상의 구조해석(structural analysis)을 수행한다. 그리고 구조적 안전성을 평가한다. 본 연구가 파행될 수 있는 분야로는 항공기 유압 및 오일 저장통, 항공기 유압 작동기, 항공기 소화기 분야가 있다. 국내에서 2007년과 2008년 항공기 연료탱크를 연구한 유사한 사례가 있으나 항공기 소화기에 대하여 개발 및 연구한 사례는 없다[4],[5].

II. 설계 이론

석탄이 적재되어 있는 저탄장에 냉각볼이 매립될 경우, 석탄의 무게로 인한 하중에서의 안전성이 검토되어야 한다.

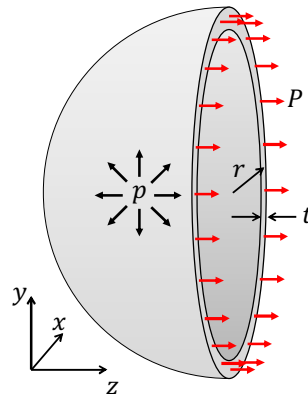


그림 1. 구형 압력 용기
Fig. 1. Spherical pressure vessel.

냉각볼은 압력용기(pressure vessel) 형태로, 내부 탱크와 외부 케이스로 구분된다. 내부의 탱크는 소화액인 액화질소로 인한 내압을 받으며 외부 케이스는 저탄장 속에서 매립되어 석탄들로 인한 외압을 받는다. 압력용기에서 직경에 비해 두께(t)가 10배보다 작은 경우, 즉 $t/d \ll 1/10$ 이면 두께가 얇은 쉘 구조물로 간주한다[6],[7].

그림 1과 같이 직경이 d_i 인 구형의 압력용기(pressure vessel) 이론식은 다음과 같이 설명할 수 있다.

얇은 벽면에 작용하는 하중, $P = \frac{1}{4} p \pi d_i^2$ 이며 단면의 면적은 $\pi d_i t$ 이다. 그리고 x 방향 응력은 다음 식과 같다.

$$\sigma_{sphere} = \frac{\frac{1}{4} p \pi d_i^2}{\pi d_i t} = \frac{p d_i}{4t} \tag{1}$$

그리고 외압을 받는 경우, 식은 다음과 같고 여기서 d_o 는 외경이다[8].

$$\sigma_c = \frac{p d_o}{2t} \tag{2}$$

III. 구조해석

3-1 저탄장 자연발화 방지를 위한 압력용기

냉각볼 (cooling ball)은 내부에 액화질소 (liquid nitrogen)가 담겨 있는 내부 탱크, 제어장치, 소화액 분사 노즐, 외부 케이스, 솔레노이드 밸브 등으로 구성되어 있다. 그림 2는 냉각볼의 조립된 상태이며 절단면을 나타내고 있다.

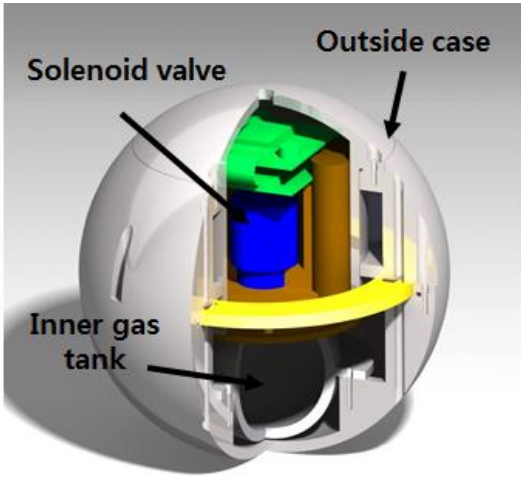


그림 2. 냉각볼의 절단면
Fig. 2. Cutaway of cooling ball.

그림 3은 내부 가스탱크 (inner gas tank)의 형상으로, 외부와의 고정은 플랜지로 고정되며 내부에는 액화질소로, 내부 압력은 3.0 MPa이다[9]. 이론에서 언급한 바와 같이 압력용기는 두께(t)가 직경(d)에 비해 10배보다 작은 경우 얇은 셸 구조물로 간주하므로 냉각볼의 내부탱크는 직경(d)와 두께(t)의 비가 0.0833로 얇은 셸 구조물이다.

표1은 구조해석에 필요한 물성치 (material property)를 나타내고 있으며, 표2는 두께(t)가 직경(d)에 비해 10배보다 작은 경우 얇은 셸 구조물로 간주하므로 냉각볼의 내부탱크는 직경(d)와 두께(t)의 비가 0.0833로 얇은 셸 구조물이다.

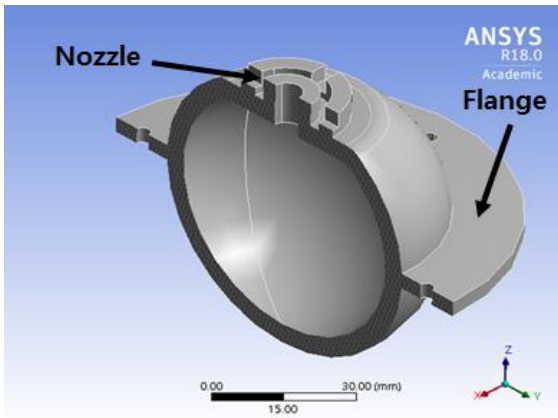


그림 3. 내부 가스탱크(실제 형상)
Fig. 3. Inner gas tank(Real shape).

표 1. 강체의 속성

Table 1. Properties of rigid body.

Material property	Input value
Poisson's ratio	0.3
Young's modulus(Mpa)	2×e5
Bulk modulus(Mpa)	1.6667×e5
Yield strength(Mpa)	250

3-2 유한요소 해석과 이론적 계산의 비교(단순 형상)

구조해석은 우선 플랜지(flange)가 없는 단순 내부탱크 형상에 대하여 해석하고 해석값을 이론값과 비교하고 유효성을 확인한다.

이론적 계산과 단순형상의 해석결과를 비교할시 결과값 간의 오차 범위가 5%의 범위 내에 포함될 경우 실제 사용되는 형상을 이용하여 해석을 진행하게 되며 실제 형상과 이론식의 결과값을 비교하여 5%의 범위 이내에 포함되어있는지 확인하고자한다.

이론적 계산은 식 (1)을 이용하였다.

여기서 내경(d_i)는 60 mm, 두께(t)는 5 mm이며 압력(P)는 내부압력으로 3.0 MPa를 적용하였다. 계산 결과, 이론적 계산값은 9.0 MPa로 계산되었다. 구조해석은 ANSYS R18.0을 이용하였으며 내부 전체에 3.0 MPa의 내압이 가해지는 조건으로 하중을 부여하였다. 경계조건으로 x-y 평면의 절점의 z방향 변위를 구속하였으며, x축 상의 절점의 y방향 변위 구속, y축 상 절점의 x방향 변위를 구속하였다. 그림 4는 격자(Mesh)를 나타낸 것으로 요소의 수는 15,195개이며, 절점의 수는 26,102개이다.

이론적 계산은 경우 두께 방향의 응력을 고려하지 않았으며 전단력이 작용하지 않기 때문에 주응력 식을 이용하여 최대 응력을 계산하였다. 동일한 조건으로 ANSYS 해석을 실시하였으며 그림 5, 6은 그 결과를 나타낸 것이다. Principal stress 해석 결과, 내부 표면에서 최대 9.11MPa의 응력을 받고 있으며 외부 표면은 7.59 MPa의 응력을 받고 있다.

표 2. 내부 탱크에 대한 압력 용기의 얇은 셸 분류

Table 2. Thin shell classification of pressure vessel for inner tank.

Property	t (mm)	d_i (mm)	t/d	Standard
Inner tank	5	60	0.0833	$t/d \leq 1/10$ to shell

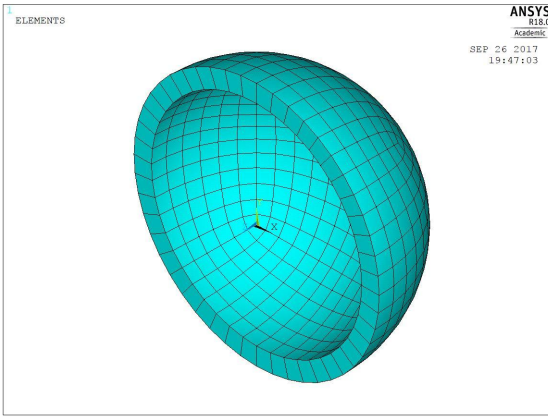


그림 4. 단순화 된 내부 가스탱크 격자
Fig. 4. Mesh of inner gas tank simplified (ISO).

Table 3은 이론식으로 계산한 결과와 ANSYS 결과값을 비교한 것이다.

일반적으로 오차가 5% 이내이면 결과가 우수한 것으로 판단하며 이론식을 기준으로 오차는 1.2%로 좋은 결과를 나타냈다.

3-3 유한요소 해석과 이론적 계산의 비교(모델형상)

플랜지(Flange)와 1차 노즐부가 있는 냉각볼의 실제 형상에 대하여 구조해석을 수행하여 내부 탱크의 구조적 안전성을 평가하였다.

구조해석의 구속조건은 단순한 형상과 동일한 해석조건으로 지정하여 내부 압력을 3.0 MPa으로 해석하였다. 그림 7은 실제 형상에 대한 구조해석 결과로 von-mises stress를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 최대 응력은 탱크의 하부에서 가장 높은 21.17 MPa의 응력이 나타났으며 탱크 내부에서의 응력은 7~8 MPa로 나타났다.

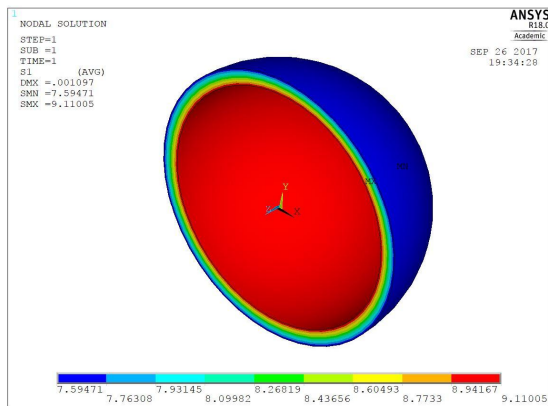


그림 5. 냉각볼의 주요 응력 분포 (ISO)
Fig. 5. Principal stress distribution of cooling ball(ISO view).

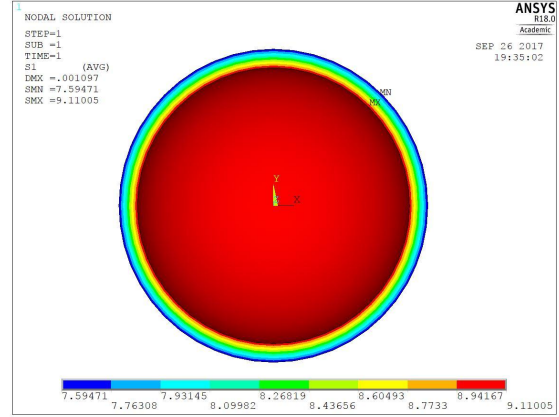


그림 6. 냉각볼의 주요 응력 분포 (내부)
Fig. 6. Principal stress distribution of cooling ball (Inside view).

단순화된 형태의 결과 값과 비교해 볼 때, 1~2 MPa의 차이를 나타내고 있으며 이는 플랜지 및 제어부 장착 부분의 형상에 의한 영향으로 판단된다.

유한요소 해석에 있어 안전여유(margin of safety)를 고려한다. 안전여유는 재료를 선정하는데 미처 예측하지 못한 하중과 설계과정에서 발생하는 계산 오차 등을 보완하기 위한 안전장치를 말한다. 안전여유를 계산하기 위해서는 안전계수(safety factor)를 선정해야 되며 안전계수는 기준강도로부터 고장이나 파손이 없이 안전하게 기계의 목적을 달성할 수 있도록 실제 사용응력의 한계를 정하기 위한 계수이다. 일반적으로 안전계수는 2로 선정하여 계산한다. 항복강도와 von-mises 응력, 안전계수를 이용한 식 (3)은 설계요구 조건을 만족하는지를 확인할 수 있는 안전여유식이다. 안전계수의 경우 일반적인 기계설계를 진행할 때 1.5~2의 안전계수를 적용하여 안전여유(margin of safety)의 값을 산출하게 된다.

$$MS = \frac{YS}{VM \times SF} - 1 \tag{3}$$

- YS: Yield strength
- VM: Von-mises stress
- SF: Safety factor

표 3. 계산된 응력과 분석된 응력의 비교(단순화)
Table 3. Comparison of calculated stress and analysed stress(Simplified).

Property	Stress
Calculated stress	9.00 MPa
Analysed stress	9.11 MPa
Error	1.22%

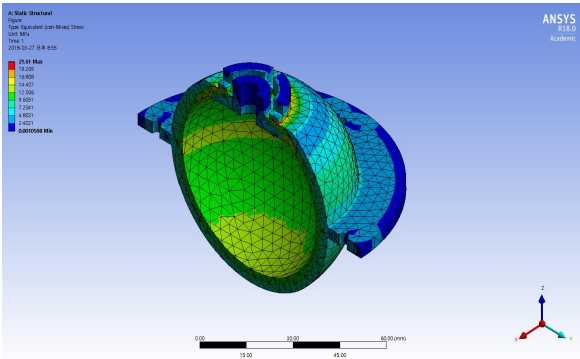


그림 7. 실제 내부 형상에 대한 냉각볼 해석 결과(Von-Mises 응력)

Fig. 7. Analysis result of cooling ball for real inner shape(Von-mises stress).

구조 설계 요구조건에 충족하기 위해서는 0 이상의 값을 가지면 요구조건에 충족하거나 여유를 가진다고 볼 수 있다. 위 식에 안전계수 2를 적용하고, 허용응력은 표 1의 yield strength 250 Mpa, von-mises stress는 계산한 21.17 MPa를 적용하였다. 계산 결과, 내부 탱크의 안전여유는 4.78로 나타났다. 이는 0보다 큰 값으로 충분한 안전여유를 가진다고 판단할 수 있다.

그림 8은 내부 가스탱크의 변형을 나타낸 것으로 아래 방향으로 0.0024 mm의 변형이 일어났다.

3-4 외부 케이스의 구조해석

냉각볼 외부 케이스는 냉각볼이 저탄장에 매립되어 내부 가스탱크 및 기타 내부 장치들을 보호한다. 화력발전소의 저탄장의 경우, 화력 발전소마다 저탄장의 높이와 양이 다르게 적재되어 있지만 최대 적재량을 고려하여 외부압력에 대하여 구조해석을 진행하였다.

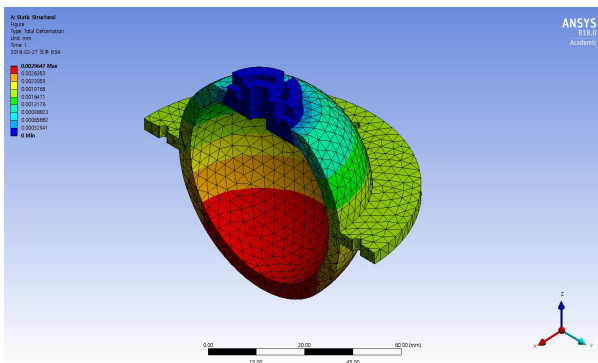


그림 8. 실제 내부 형상에 대한 냉각볼의 해석 결과(변형)

Fig. 8. Analysis result of cooling ball for real inner shape (Deformation).

표 4. 냉각볼 외부형상에 대한 압력용기의 얇은 셸 분류

Table 4. Thin shell classification of pressure vessel for cooling ball outside shape.

Property	t (mm)	d_i (mm)	t/d	Standard
Outside shape	5	160	0.0313	$t/d \leq 1/10$ to shell

저탄장의 최소 조건으로 외부 케이스의 응력해석을 진행할 경우 저탄장의 높이가 초과하게 되면 좌굴 현상 등으로 구조적 안전성을 보장할 수 없으므로 본 연구는 저탄장의 높이를 최대 지점 30 m로 설정하였다.

석탄의 밀도(ρ)는 $1,506 \text{ kg/m}^3$ 으로 하고 높이는 30 m하였으며 냉각볼의 외압은 0.443 MPa로 선정하여 해석조건으로 적용하였다. 외부 케이스도 두께(t)가 직경(d)에 비해 10배보다 작아 셸 구조물로 계산하였으며 직경(d)와 두께(t)의 비는 0.0313이다.

해석은 내부탱크와 동일한 ANSYS R18.0을 이용하였으며 외부 전체에 0.443 MPa의 외압이 가해지는 조건을 부여 하였다[10].

그림 9는 외부 케이스의 격자를 나타낸 것으로 요소의 수는 45,842개이며, 절점의 수는 82,116개이다.

그림 10과 11은 외압에 대하여 해석 결과로 나타 낸 것으로, 단위는 MPa이다. 보는 바와 같이 내부 표면에서 최대 7.7 MPa의 응력을 받고 있으며 외부 표면에는 7.48 MPa의 응력을 받는 것으로 나타났다.

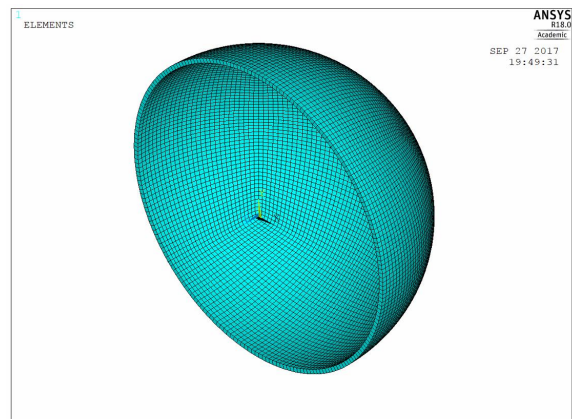


그림 9. 단순화된 외부 케이스의 격자 (ISO 보기)

Fig. 9. Mesh of outside case simplified (ISO view).

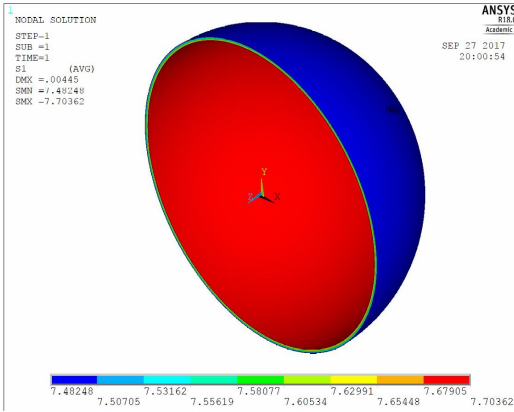


그림 10. 냉각볼의 분석결과(ISO)
 Fig. 10. Analysis result of cooling ball (ISO).

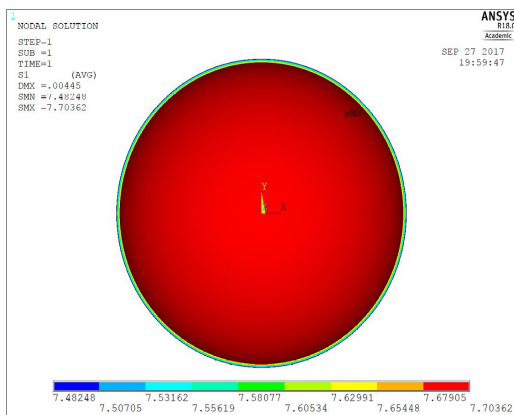


그림 11. 냉각볼의 분석결과(내부)
 Fig. 11. Analysis result of cooling ball (Inside).

표 5는 이론식을 이용한 계산한 결과와 ANSYS 해석 결과값을 비교한 것이다. 오차는 2.67%로 좋은 결과 값을 나타냈다. 위 해석 조건을 바탕으로 실제 형상에 대하여 구조해석을 수행하였다. 외부 케이스 형상은 내부에 내부탱크, 솔레노이드 밸브, 제어장치 등이 장착되므로 복잡한 구조를 가지고 있다.

표 5. 계산된 응력과 분석된 응력의 비교

Table 5. Comparison of calculated stress and analysed stress.

Property	Stress of outer case
Calculated stress	7.50MPa
Analysed stress	7.70MPa
Error	2.67%

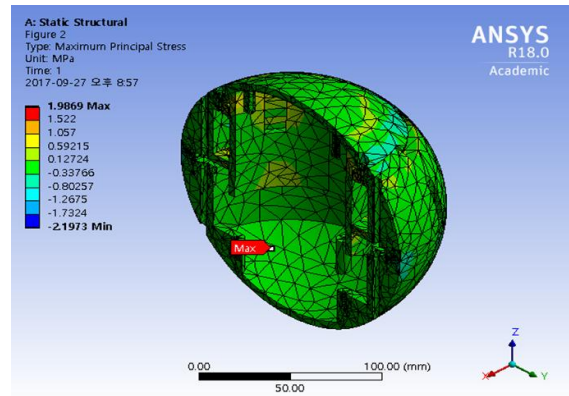


그림 12. 실제 외형에 대한 냉각볼 해석 결과(주응력)
 Fig. 12. Analysis result of cooling ball for real outside shape(Principal stress).

해석 결과, 그림 13에 나타난 바와 같이 최대 응력은 1.9 MPa의 응력이 나타났으며 외부 케이스의 결합부에서 응력이 집중되는 것을 확인할 수 있다. 응력이 낮게 해석된 것은 내부에 각종 내부 장치의 마운트의 영향으로 판단된다. Fig. 14는 외부 케이스의 변형량을 나타낸 것으로 압력에 의한 외부 케이스는 최대 0.00025 mm의 변형이, 제어 장치가 장착되는 부분에서 발생하였다.

안전여유를 계산하기 위해 식 (3)을 이용하였으며 안전계수 2를 적용한 결과, 안전여유는 10.73로 나타났으며 충분한 안전여유를 가지는 것으로 나타났다.

3-5 결과

내부 압력에 대한 실제 내부탱크의 구조적 해석결과와 외부 압력에 대한 외부 케이스의 구조적 해석결과, 냉각볼의 내부탱크는 최대 응력 11.17 MPa, 최대 변형량 0.0024 mm이며 냉각볼의 외부 케이스는 최대 응력 1.9 MPa, 최대 변형량 0.00025 mm로 나타나 응력과 변형량을 고려해 볼 때 구조적으로 안전성을 보유하고 있는 것으로 판단된다.

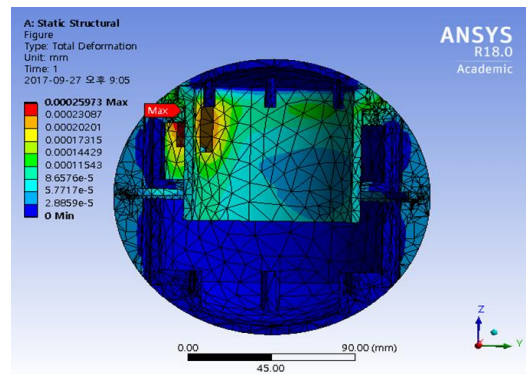


그림 13. 실제 외형에 대한 냉각볼 해석 결과(변형)
 Fig. 13. Analysis result of cooling ball for real outside shape(Principal stress).

표 6. 실제 형상 해석 결과

Table 6. Analysis result of real shape.

Property	Real inner tank	Real outer case
Maximum stress(MPa)	11.17	1.9
Maximum deformation(mm)	0.0024	0.00025
Structural safety	possession	possession

IV. 결 론

본 연구는 내압을 받는 냉각 불의 내부 탱크와 외압을 받는 외부 케이스의 안전성 분석을 위하여 우선, 이론식과 단순한 형태의 압력용기의 ANSYS 결과 값을 비교하여 그 적용 가능성과 유효성에 대하여 확인하였다. 또한 이 유효성을 바탕으로 내부탱크는 내부 압력 3 MPa으로 해석 및 계산하였고 단순 모델의 경우 이론적 결과 값은 9.0MPa, 구조해석의 결과 값은 9.11MPa로 5%이내의 오차를 보여 주고 있다. 실제 모델링된 내부탱크에 대한 구조해석 결과 값은 단순한 형상과 동일한 조건으로 해석을 진행하였고 von-mises stress가 최대 21.17MPa, 내부 7 ~ 8MPa의 응력이 나타났다. 안전여유는 von-mises stress의 최대값을 적용하여 4.78로 나타났다.

외부 케이스에 대해 내부 탱크와 동일한 조건과 방법을 이용하였으며 이론적 결과 값은 7.50MPa, 구조해석을 통한 결과 값은 7.70MPa로 5%이내의 오차를 보여주고 있다. 실제 모델링된 외부 케이스의 경우 최대 1.9MPa의 응력을 가지게 되며 안전여유는 10.73으로 충분한 안전여유를 가지고 있는 것으로 보여 진다.

실제 형상에 대하여 응력해석과 변형 량을 해석하여 구조적 안전성을 분석 하였다. 해석결과, 내부탱크는 내부압력에 대하여 안전성을 보유하고 있었고 냉각 불 외부 케이스도 외부 압력에 대하여 구조적으로 안전성을 보유하고 있는 것으로 분석 되었다. 본 연구는 항공기의 소화기 및 각종 탱크 개발에 활용될 수 있는 기초 연구이며 향후, 재질과 온도를 고려한 구조해석을 수행할 계획이다.

Acknowledgments

본 연구는 중소기업청 “스마트 냉각불을 이용한 저탄장 자연발화 방지시스템 개발(과제 번호: S2447242)”의 지원을 받아

수행되었습니다.

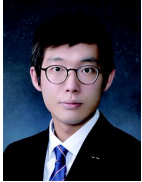
References

- [1] C. J. Kim, I. S. Park and C. H. Sohn, “Numerical study on the phenomenon of spontaneous ignition of coal stockpile,” *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 34, No. 7, pp. 721-727, July. 2010.
- [2] H. K. Cheong, H. S. Lim, J. J. Cho, J. J. Byeon, Y. T. Ahn, Y. Yoon and G. J. Im, “Development of pneumoconiosis among inhabitants around a briquet factory,” *Korean Journal of Epidemiology*, Vol. 10, No. 1, pp 102-108, June. 1988.
- [3] G. K. Kim and H. M. Park, “A study on the utilization of LiDAR survey using drone,” *The Korea institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 11, No. 11, pp 136-137, November. 2017.
- [4] J. H. Lee, S. Ch. Kim, and H.G. Kim, “Preliminary design of helicopter fuel tank,” *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 14-19, June. 2008.
- [5] I. K. Chang and Ch. Y. Kim, “On the design and test for the 150 Gallon composite external fuel tank,” *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 1, No. 4, pp. 22-27, December. 2007.
- [6] S. Gond, Akhilesh, A. Singh and V. Sharma, “Design and analysis of the pressure vessel,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 5, No. 4, pp. 939-942, April. 2014.
- [7] J. S. Lee and K. M. Jang, “A study on the propensity for the deformation and failure of a small pressurized cylinder,” *The Korean Institute of Gas*, Vol. 23, No. 3, pp.146-149, September. 2014.
- [8] B. S. U. SoYul and D. N. SoYul, *Standard Mechanical Design Chart Handbook*, 5th ed, Jung-gu, Seoul: Daekwang Seorim, 2009.
- [9] D, J. Choi, The Development of structural design and manufacturing for cryogenic Storage Tank, Master Thesis, Korea Maritime and Ocean University, Busan, Oct. 2005.
- [10] B. Moghtaderi, B. Z. Dlugogorski and E. M. Kennedy, “Effects of wind flow on self-heating characteristics of coal stockpiles,” *Institution of Chemical Engineers*, Vol 78, Part B, Nov. 2000.



김 영 인 (Young-In Kim)

2007년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 항공융합학부 항공정비전공 교수
2012년 3월 ~ 2014년 2월 : 한국항공대학교 박사과정 수료
2015년 5월 ~ 2017년 5월 : 충북 MRO산업 정책자문 위원
2015년 12월 ~ 현재 : IPC Korea standards committee 기술자문 위원
2016년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 항공기술교육원 원장
※관심분야 : 로켓추력 분석 및 해석, 항공정비공학, 기계설계 및 제작



김 승 훈 (Seung-Hun Kim)

2016년 8월 : 한서대학교 항공기계학과 (공학사)
2016년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 항공시스템공학과 대학원 석사과정
※관심분야 : 임베디드, 사물인터넷, 무선통신



염 찬 섭 (Chan-Sub Yeum)

2008년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)
2014년 12월 ~ 현재 : 피플아이 대표이사
※관심분야 : 소프트웨어 개발, 데이터 처리



지 민 석 (Min-Seok Jie)

2006년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학박사)
2008년 2월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 교수
※관심분야 : 자동제어, 로봇공학, 무인기



최 원 혁 (Won-Hyuck Choi)

2006년 2월 : 한국항공대학교 항공전자전자 (공학박사)
2014년 2월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 교수
※관심분야 : 임베디드 시스템, 사물인터넷, 무선통신