



대형 선박 디젤엔진의 크랭크케이스 폭발 릴리프 밸브 성능 실험

김종환 · 공경주* · 정태영†

프로세이브(연구원) · *부경대학교(학생) · †부경대학교(교수)

Performance Test of Crankcase Explosion Relief Valve for Large Ship Diesel Engines

Jong-Hwan KIM · Kyeong-Ju KONG* · Tae-Young JEONG†

PROSAVE(researcher) · *Pukyong National University(student) · †Pukyong National University(professor)

Abstract

Crankcase explosion relief valves (ERV) are installed in ships to prevent accidents caused by internal crankcase explosions in diesel engines. Engine makers are demanding lower parts prices due to a drop in shipbuilding prices and engine prices. Therefore, PROSAVE developed an ERV with reduced cost. In order to evaluate the performance of the ERV developed by PROSAVE, an explosion test was conducted according to the criteria set by the International Association of Classification Societies (IACS). The ERV used in the experiment was the largest size among the products installed in ship diesel engines. As a result of the explosion test, the flame did not leak out during the explosion, and the airtight state of the ERV was good after the explosion. In addition, the temperature of the flame arrester raised due to the explosion was also good. Putting the results together, The ERV developed by PROSAVE met the requirements of IACS and developed an ERV with a 20% cost reduction and reliable performance.

Key words : Crankcase explosion relief valve, Performance test, Explosion test, Cost reduction, Diesel engines

I. 서론

선박에서 디젤엔진 크랭크케이스 내부의 유증기에 의해 폭발이 발생할 경우 디젤엔진에 손상을 입힐 뿐만 아니라 인명사고를 일으킬 수 있다. 이와 같은 사고를 방지하기 위하여 디젤엔진에 크랭크케이스 폭발 릴리프 밸브(ERV)를 설치하고 있다(Cicek and Celik, 2013).

ERV에 대한 규정은 국제선급연합회(International Association of Classification Societies, IACS)의 UR M9와 UR M66에 정해져있다. IACS의 UR M9에

서는 선박용 디젤엔진의 ERV 설치 규정이 정해져 있으며, 실린더 직경 200 mm 이상의 내연기관에는 설치를 의무화하고 있다. IACS의 UR M66에는 크랭크케이스 폭발 릴리프 밸브의 실험 재료 및 방법 등에 대한 규정이 정해져 있다. 선급과 엔진 제작사인 MAN-ES는 이러한 IACS 규정에서 요구하는 기준을 만족하는 제품에 대해서 승인하고 있다(IACS, 2008).

ERV를 생산하고 있는 업체는 한국의 프로세이브(PROSAVE Co., Ltd)와 스위스의 호이비거사(Hoerbiger)가 대표적이다. 프로세이브는 한국에서

† Corresponding author : 051-629-5998, tyjeong@pknu.ac.kr/orcid.org/0000-0002-1151-263X

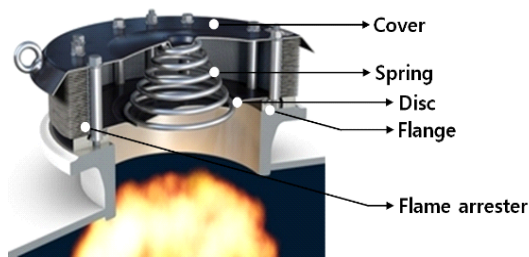
60% 이상의 점유율을 가지고 있는 업체이다. 선박의 건조 가격 및 엔진 가격의 하락으로 인하여, 엔진 제작사에서는 부품 가격 인하를 지속적으로 요구하고 있다. 이에 따라 프로세이버에서 부품 가격을 절감할 수 있는 ERV를 개발하였다. 개발된 ERV는 구성 부품인 프레임 어레스터 폭을 기존보다 줄이고 형상을 변화시켰다.

본 연구에서는 개발한 제품이 규정을 만족하는지 확인하기 위한 기초실험을 하였다. IACS의 규정에 따라 설정 압력 및 폭발 실험을 하였고 결과에 대하여 고찰하였다.

II. 장치 및 방법

1. 실험 장치

[Fig. 1]은 ERV의 구조를 나타낸 것으로, 커버, 스프링, 디스크, 플랜지 및 프레임 어레스터(Flame arrester)로 구성되어있다. ERV의 작동원리는 크랭크케이스에 폭발이 발생하면서 발생하는 화염을 내부로 유도하고, 프레임 어레스터를 통과하면서 온도를 급랭시켜 화염이 외부로 누출되는 것을 차단한다(Jiang et al., 2014).



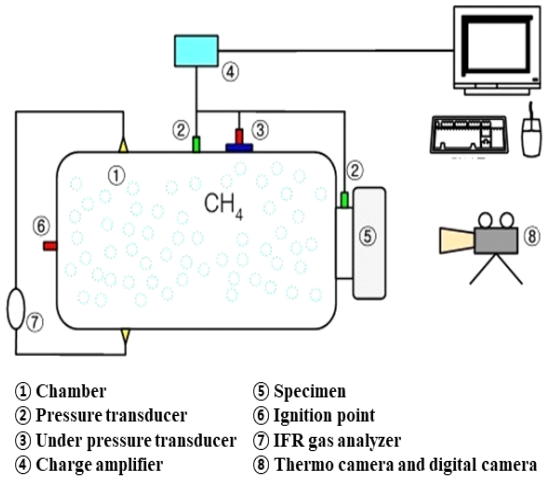
[Fig. 1] Structure of crankcase explosion relief valve.

ERV의 종류는 릴리프 압력에 따라 2가지가 있다. 릴리프 압력이 0.04~0.06 barg인 ERV는 2행정 엔진, 0.05~0.01 barg인 ERV는 4행정 엔진에 사용된다. 릴리프 압력은 커버와 디스크 사이의 스프링을 사용하여 설정된다. 이 스프링은 커버와 디스크가 맞닿는 콘 스프링이다(Lee et al., 2015).

2. 폭발 실험 방법

릴리프 밸브의 폭발 실험 장치를 갖춘 기관은 많이 있으나, ERV를 규정에 따라 실험할 수 있는 기관은 한정되어있다. 본 연구의 폭발실험은 MAN-ES의 승인을 받은 기관인 체코의 FTZU (FYZIKÁLNĚ TECHNICKÝ ZKUŠEBNÍ ÚSTAV)에서 하였다.

폭발 실험 장치의 구성을 [Fig. 2]에 나타냈다. 압력 용기 내부에는 메탄 9.5 vol%의 메탄-공기 혼합기(Methane-air mixture)가 채워져 있고, ERV가 설치된 반대편에서 100 J 이하의 에너지로 점화시켜 압력 용기 내부에 폭발을 일으킨다.



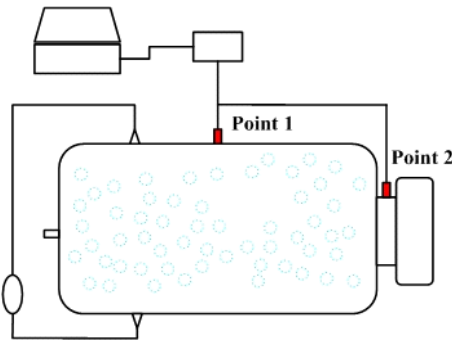
[Fig. 2] Explosion test for crankcase explosion relief valve.

<Table 1>은 폭발 실험의 변수를 나타낸 것이다. 압력 용기의 용량은 IACS UR M66에 의해 ERV의 사이즈에 따라 결정된다. 폭발 실험에서 사용된 압력 용기의 용량은 10 m³이며, ERV 폭발 실험의 압력 용기 중 가장 큰 용량이다.

모든 폭발 실험에서 압력의 측정은 동일한 위치에서 하였다. [Fig. 3]은 폭발 압력의 측정 위치를 나타낸 것으로 두 부분에서 측정하였다. Point 1은 압력 용기 중앙이며 Point 2는 ERV의 넥 부분이다.

<Table 1> Parameter of explosion test

Parameter	Value	Unit
Size	ERV-735	
Free Area	3,905	㎠
Chamber Volume	10	㎥
Methane Concentration	9.5±0.5	Vol%
Ignition Energy	0.08	J



[Fig. 3] Pressure measured point of explosion test.

실험에 사용된 압력 변환기(pressure transducer)는 압력에 따라 두 가지 종류를 사용하였다. 대기압 이상의 압력에서는 Kistler의 Piezoelectric 방식 압력 변환기 701A를 사용하였다. 진공 압력은 진공 압력 변환기(under pressure transducer)와 데이터 로거(data logger) almemo2950을 사용하였다. 진공 압력을 측정하는 이유는 폭발 후 밸브가 차단되어 기밀을 유지하는지 확인하기 위해서이다. 메탄 농도 측정은 IFR 가스분석기 Niclolet Avatar FT IR 32를 이용하였다.

폭발 실험의 메탄 농도는 9.5vol% ± 0.5vol%의 메탄-공기 혼합기가 사용되었다. [Fig. 4]는 메탄의 농도에 따른 폭발 압력을 나타낸 것으로 메탄 농도 9.6%일 때 폭발 압력은 8.61 barg로 최대 폭발 압력이 나타난다.

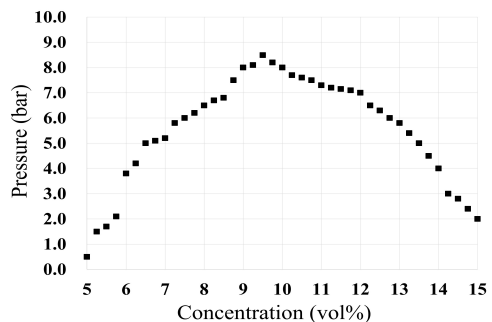
폭발 실험은 2단계로 진행된다. 첫 번째 단계는 포일실험으로 ERV를 장착하지 않고 두께 0.05 mm의 폴리에틸렌(polyethylene) 필름을 ERV가 장착되는 자리에 설치한 후 점화시켜 폴리에

틸렌 필름이 타도록 하는 실험이다. 포일 실험을 하는 이유는 압력 용기의 압력 상승 시 ERV의 성능을 결정하기 위한 기준 압력을 설정하기 위해서이다. 포일 실험에서 결정된 기준 압력과 이후 폭발 실험과의 압력의 차이를 비교하여 ERV의 성능을 평가할 수 있다. 크랭크 케이스에서 폭발 발생 시 엔진의 손상을 최소화하기 위하여 기준 압력과 폭발 실험의 최대 압력의 차이를 1.4 barg 이내로 규정하고 있다.

두 번째 단계는 ERV를 장착 후 2회의 폭발 실험을 한다. 2회의 폭발 실험 중 첫 번째 실험은 두께 0.05mm의 폴리에틸렌 백(bag)을 장착하여 실험한다. 폴리에틸렌 백을 장착하는 이유는 프레임 어레스터가 화염 누출을 막는지 확인하기 위해서이다. 실험을 하는 동안 ERV가 열리고 일부 미연소 메탄-공기 혼합물이 폴리에틸렌 백에 남아있게 된다. 프레임 어레스터를 통해 화염이 전달된다면 폴리에틸렌 백에 남아있는 미연소 메탄-공기 혼합물이 점화된다.

2회의 폭발 실험 중 두 번째 실험은 폴리에틸렌 백 없이 실험한다. 또한, 폭발 이후 프레임 어레스터 외부의 평균 온도가 220℃ 이하로 유지되어야 한다. 그리고 두 번째 테스트 이후 ERV가 여전히 작동할 수 있음을 입증해야한다.

각 폭발 실험 후, 실험 용기는 10초 이상 폐쇄 상태로 유지되어 ERV의 견고성이 확인 될 수 있어야 한다. ERV의 견고성은 폭발 실험 후 진공 압력을 측정하여 확인한다.

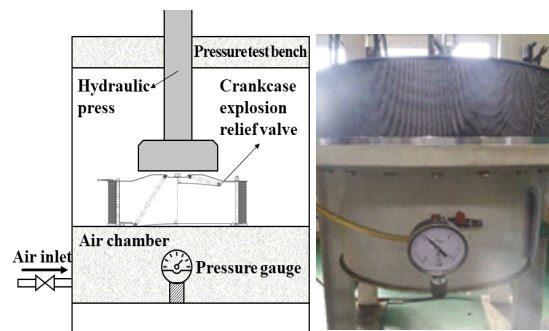


[Fig. 4] Explosion pressure by concentration.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 설정 압력 실험

설정 압력 실험은 폭발 실험 전에 ERV의 기밀 상태 및 개방압력을 확인하기 위해 시행하였다. 개방압력은 MAN-ES 규정에 의해 0.05 barg \pm 20%로 정해져있다. 프로세이버사가 개발한 MAN-ES S98ME에 장착되는 크기의 ERV를 사용하여 설정 압력 실험을 하였다. 이는 시판되는 ERV 중 가장 큰 크기이다.



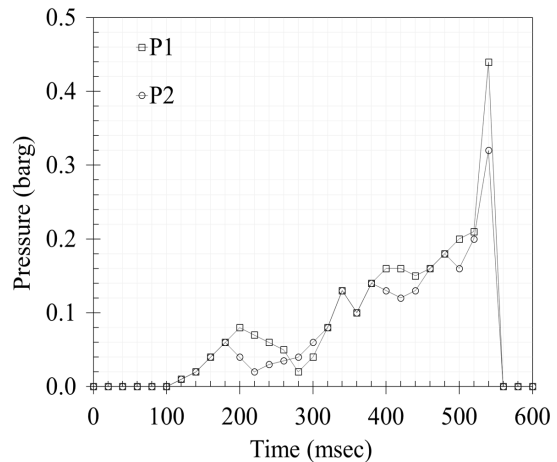
[Fig. 5] Configuration of the pressure test bench and photograph of pressure test.

[Fig. 5]는 압력 실험 장치의 구성 및 실험 사진이다. ERV 위에서 유압 프레스를 이용하여 커버를 누르고 있고, ERV가 장착된 압력 용기 내부에 압축 공기를 유입시킨다. 압축 공기의 압력이 증가하면 디스크가 열리고 이때의 압력이 설정 압력이다. 설정 압력 측정 후, 유입 공기를 차단시키면 일정 수준까지 압력이 하강한다. 하강된 압력은 누설 압력이며 0.04 barg 이상이면 정상 상태이다. 개발한 제품의 설정 압력은 0.055 barg 이며, 누설 압력은 0.045 barg로 정상 범위에 속하는 것을 확인하였다.

2. 폭발 실험 결과

가. 포일 실험

[Fig. 6]은 포일 실험에서 시간에 따른 폭발 압력을 나타낸 것이다. 점화 후 500 msec에서 최대 압력이 나타났으며, Point 1에서는 0.44 barg, Point 2에서는 0.32 barg로 측정되었다. 최대 압력이 나타난 시점은 동일하나 백 부분의 지름이 압력 용기의 지름보다 작기 때문에 축소된 관의 영향으로 압력이 하강한 것으로 생각된다. Point 1에서 나타난 0.44 barg를 기준압력으로 정하여 폭발 실험의 결과와 비교하였다.



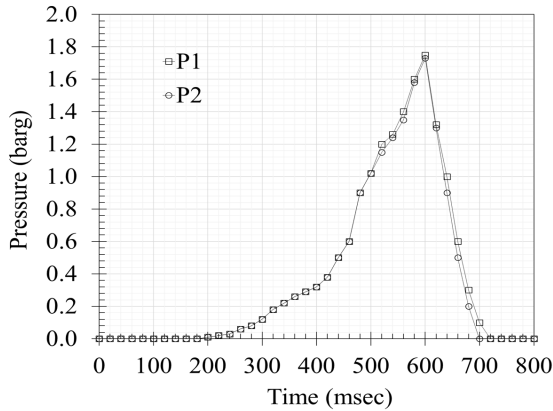
[Fig. 6] Pressure results of foil test.

나. 1차 폭발 실험

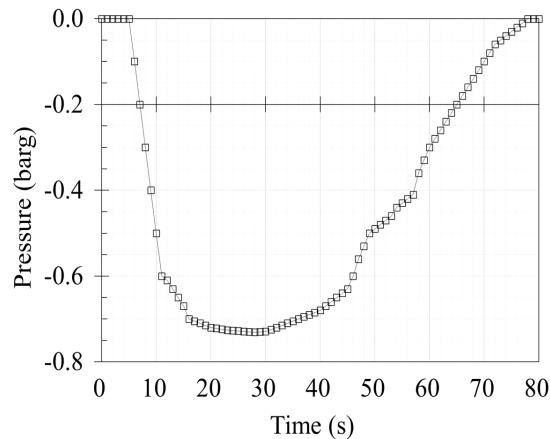
[Fig. 7]은 1차 폭발 실험의 폭발 압력 결과이다. 최대 폭발 압력은 Point 1은 1.75 barg, Point 2는 1.73 barg로 나타났다.

1차 폭발 실험의 결과와 포일 실험 결과를 비교하였을 때, 1.31 barg의 압력차가 발생하였다. MAN-ES의 규정은 1.40 barg 이하의 압력차를 요구하고 있으므로 0.09 barg의 여유를 두고 규정을 만족하였다. ERV가 설치되었기 때문에 Point 1과 Point 2의 압력차가 포일 실험에 비해 크게 발생하지 않았다.

[Fig. 8]은 폭발 이후 압력을 나타낸 것이다. 폭발 이후 10초 이상 -0.3 barg 이하로 유지하였다. 최대 진공 압력은 -0.731 barg로 나타났다.



[Fig. 7] Pressure results of 1st explosion test.



[Fig. 8] Vacuum pressure results of 1st explosion test.

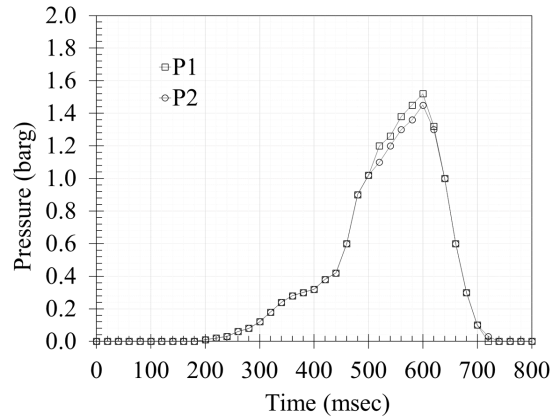
또한, 50초 동안 -0.3 barg 이하로 유지되는 것을 확인하였고 폭발 이후 폐쇄 상태가 유지되어 2차 폭발이 일어나는 것을 방지할 수 있을 것이라 생각된다.

다. 2차 폭발 실험

[Fig. 9]는 2차 폭발 실험의 폭발 압력 결과이다. 최대 폭발 압력은 Point 1에서 1.52 barg, Point 2에서 1.45 barg로 나타났다.

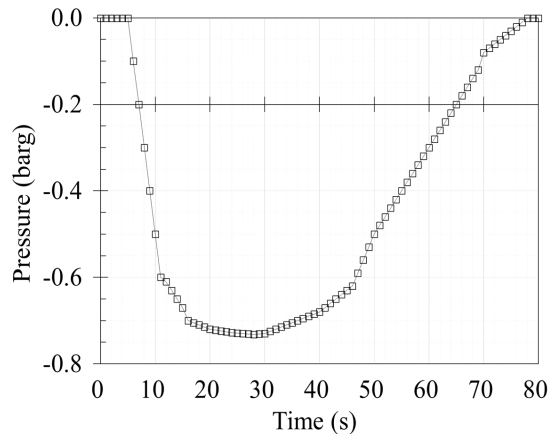
2차 폭발 실험의 결과와 포일 실험 결과를 비교하였을 때, 1.08 barg의 압력차가 발생하였다. MAN-ES의 규정은 1.40 barg 이하의 압력차를 요

구하고 있으므로 0.32 barg의 여유를 두고 규정을 만족하였다. ERV가 설치되었기 때문에 Point 1과 Point 2의 압력차가 포일 실험에 비해 크게 발생하지 않았다.



[Fig. 9] Pressure results of 2nd explosion test.

[Fig. 10]은 폭발 이후 압력을 나타낸 것이다. 폭발 이후 10초 이상 -0.3 barg이하로 유지하였으며, 최대 진공 압력은 -0.732 barg로 나타났다.



[Fig. 10] Vacuum pressure results of 2nd explosion test.

또한, 50초 동안 -0.3 barg 이하로 유지되는 것을 확인하였고 폭발 이후 폐쇄 상태가 유지되어 2차 폭발이 일어나는 것을 방지할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 분해 검사

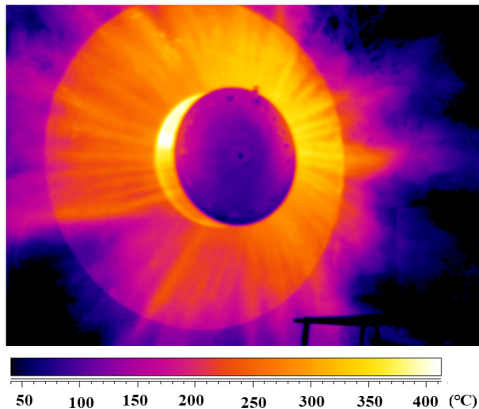
크랭크 케이스 내부에 폭발이 발생하면 ERV를 교체하도록 MAN-ES에서 권고하고 있다. 제품의 신뢰성을 확인하기 위해 폭발 실험 후 ERV를 분해검사 하였다. [Fig. 11]은 ERV를 분해 검사한 사진으로, 구성 부품의 손상은 없었다.



[Fig. 11] Photograph of disassembly after explosion test.

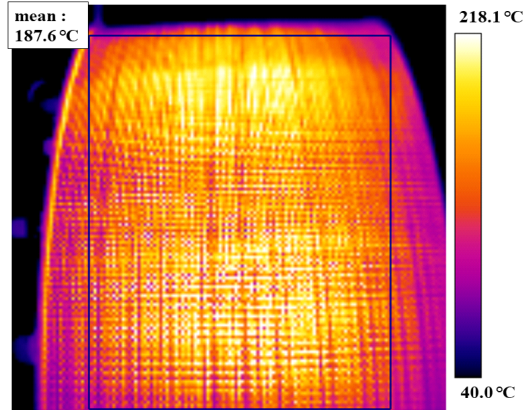
4. 외부 온도

[Fig. 12]는 열화상 카메라를 이용하여 2차 폭발 실험에서 ERV의 외부 온도를 측정한 사진이다. 폭발 실험 중 화염이 분출하지 않았으며, 프레임 어레스터 부분에서 가장 온도가 높게 나타났다.



[Fig. 12] Thermal photograph of 2nd explosion test.

[Fig. 13]은 프레임 어레스터 부분의 온도를 측정한 사진이다. 평균 온도는 187.6℃ 이었으며, 폭발 실험을 하는 동안 평균 온도는 MAN-ES에서 요구하는 220℃ 이하로 유지되었다.



[Fig. 13] Thermal photograph of flame arrester after explosion.

VI. 결론

디젤엔진의 크랭크케이스 폭발 릴리프 밸브를 IACS 규정에 따라 실험한 결과는 다음과 같다.

(1) 포일 실험에서 최대폭발압력은 압력 용기 중앙지점(Point 1)에서 0.44 barg로 측정되었고 이를 기준압력으로 성능 평가를 하였다.

(2) 2회의 폭발실험 결과, 1차 실험결과는 Point 1에서 1.75 barg이며, 2차 실험결과는 Point 1에서 1.52 barg로 측정되었다.

(3) 폭발 실험 결과를 기준압력과 비교하면 최대 1.31 barg 차이이며, 0.09 barg 차이로 규정을 만족하였다

(4) 실험 중 열화상 카메라로 관찰 결과 화염이 분출하지 않았고, 폭발 실험 후 구성부품에 손상이 없었다.

결과를 종합해보면, 20% 절감된 가격으로 개발한 크랭크케이스 폭발 릴리프 밸브가 IACS 및 MAN-ES의 규정을 만족하였다.

References

Cicek K and Celik M(2013). Application of failure modes and effects analysis to main engine crankcase explosion failure on-board ship. *Safety Science*. 51(1), 6~10.

<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.06.003>

IACS(2008). Type Testing Procedure for Crankcase Explosion Relief Valves. M66. 1~8.

Jiang L, Liu H and Liang H(2014). Optimization of flame arrester structure of explosion-proof valve with flame arrester for diesel engine. *Applied Mechanics and Materials*. 511-512. 595~598.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.511-512.595>

Lee HR, Ahn JH, Ahn BH and Kim HY(2015). Design and evaluation of a crankcase relief valve spring for LNG-fueled ships. *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*. 24(3), 263~269.

<http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2015.24.3.263>

-
- Received : 30 August, 2019
 - Revised : 23 September, 2019
 - Accepted : 27 September, 2019