

## INERGEN 소화시스템 직접 방출시험 결과 소개

이근영, 전진환\*  
삼성중공업(주) 조선설계 1팀

INERGEN 의 성능시험으로서 가장 확실한 방법은 직접적인 전량 방출시험이 최선의 방법이나 고비용, 안전문제 및 시험절차의 난이성 등의 이유로 NFPA 2001 이나 선급에서는 직접적인 방출 시험을 가급적 규제하고 있다. 지금까지는 이론적 계산을 통한 서류제출로 대체하거나, 간접 시험방법인 Door Fan Test 를 통하여 소화설비의 적정성을 평가하는 것이 보편적이었다. 하지만 이번 WOODSIDE 선주사의 전례없는 요구로 SHI 에서는 전량 방출시험을 I.G.G. Room 에 대해 수행하게 되었다. 본 자료에서는 조선설계자 관점에서 Full scale test 를 통한 Inergen 성능시험 최적화 방법을 제시하고자 한다.

### 1. INERGEN 소화원리 및 특성

INERGEN 시스템은 방호구역내에서 화재를 효과적으로 소화하고 동시에 해당구역내에서 인간의 생명을 보호할 목적으로 개발된 청정소화 시스템으로, 1991 년 유럽에서 최초로 상용화 되었으며, 1993 년 SHI 에서는 우드사이드 FPSO 프로젝트에 최초 적용한 사례가 있었다

- INERGEN 명칭은 불활성 가스(INERT gas)와 질소(NitroGEN)의 복합명칭임.
- INERGEN 은 질소, 아르곤, 이산화탄소의 혼합체이며, 산소농도를 12~15%로 낮추는 질식작용에 의해 화재를 소화한다.
- 환경오염에 전혀 무해하며, 오존층보존, 지구온난화현상 예방과 화학적 반응을 일으키지 않는 청정 소화약제이다

구분	CO2 시스템	INERGEN 시스템(300 BAR)
소화약제	CO2	N2:52%, Ar:40%, CO2:8%
분자량	44	34.0
비점	-78 °C	-196 °C
가스 밀도 (T=0°C, P=1.0132 bar) - Air=1.29 kg/m <sup>3</sup>	1.97 kg/m <sup>3</sup>	1.52 kg/m <sup>3</sup>
약제부피 비율	1	1.75
소화원리	질식/냉각 효과	질식효과
소화 설계농도	40% in E/Room	37.5%
용기내 가스압력	53 Kg/cm <sup>2</sup>	300 Kg/cm <sup>2</sup>
용기 체적 및 약제량	68L/45kg	80L/12.4 m <sup>3</sup>
환경문제	온난화 지수(GWP) 높음	천연 청정가스
인체 위험성	농도 20 % 에서 단시간 내 사망	-

[표 1] CO2 와 INERGEN 비교

Engine Room Volume: 20,520 m3.	CO2 System	INERGEN 150 BAR	INERGEN 200 BAR	INERGEN 300 BAR
Cylinder 수량	285	836	645	465
공간 점유율	100%	293%	226%	163%
Cost impact 비율	100%	1417%	717%	471%
자료기준: 2006 SHI FPS0: E/R Volume: 20,520 m3, Protected area: 7 zones.				

[표 2] INERGEN 시스템별 Cylinder 수량 및 가격 비교

## 2. INERGEN 성능시험

직접적인 전량 방출시험에서는 INERGEN BOTTLE 수급상의 문제로 Engine Room 을 대상으로 하지 않고 보호구역중에서 INERGEN CYLINDER 수량이 가장 적은 I.G.G Room 을 대상으로 수행하였다.

Protected space	Volume (m <sup>3</sup> )	Flooding factor	Calculated Inergen volume	Number of Cyl. [80L]	Design Temp. [°C]
Engine room	17065	56%	9109.1	344	32
L/V SWBD Room	2092	56.3%	1112.2	42	32
H/V SWBD Room	324	60.6%	185.4	7	32
Purifier Room	740	56.9%	397.2	15	32
I.G.G Room	305.55	55.1%	158.9	6	32
Em' cy Gen. Room	376.17	59.6%	211.8	8	32
RTM Area	1320	55.2%	688.5	26	32

[표 3] Total flooding 적용 구역

INERGEN 직접방출시험시 승인받은 검사원이 해당구역내에 들어가서 산소농도 (12~15%)를 측정하여도 되나 FPS0 안전규정상 안전이 확보된 CCR 에서 실험과정을 모니터링 하였다. INERGEN 직접방출시험 전 필요한 기본 준비물: 온도계 2 ea, 정압 측정기 1ea, O2 analyzer 1ea, CO2 analyzer 1ea, Air breathing apparatus 2ea, 귀마개 2 sets + Headphone 2 sets, Hand held radio 2 sets, Stop watch 2 sets, Hemoglometer 1ea.

아래 주요국가에서 INERGEN 에 대한 의학적 검증자료는 아래와 같다.

<b>UK</b>	- H.A.G accepted for use in normally occupied areas down to 10% oxygen and up to 5% carbon dioxide
<b>USA</b>	- EPA accepts for use in occupied areas
<b>France</b>	- Successfully tested on human volunteers at design concentration
<b>Denmark</b>	- Successfully tested on human volunteers at 8% oxygen and 5% carbon dioxide
<b>More than 40 years of human research experiments using low oxygen/high carbon dioxide atmospheres</b>	

### 3. 방출시험 결과

IGG room 실내온도 및 Inergen bottle room 실내온도를 측정하여 이론상 설계온도 Test 시 실제 온도조건을 반드시 확인하여 온도변화에 따른 설계농도를 사전 예측할 수 있도록 한다. INERGEN 은 Single phase 상태로 용기에 저장되고 주변온도에 따라 압력이 변화하므로 온도조건은 매우 중요하다고 할 수 있다.

아래와 같이 외부온도는 설계농도, 최종 산소농도, 방출시간에 영향을 주는 인자이므로 초기설계시 Shipowner 로부터 최저온도와 최고온도를 반드시 확인받도록 하여야 한다.

NO	I.G.G Room	수치	단위
a	전체체적	305.55	M <sup>3</sup>
b	설계온도	32.0	°C
c	대기압	1013.0	mbar
d	선체강도(탄성한계)	4000	Pa
e	전량 방출 농도	55.1	%
f	설계농도	42.3	%
h	방출시간	96.0	sec
i	IMO 기준 산소농도	13.3	%
j	최종 산소농도	12.1	%
k	최소 피압구 면적	264.9	cm <sup>2</sup>
l	실제 피압구 면적	1872	cm <sup>2</sup>
m	Fire damper 개방시간	150	sec

[표 4] 외부온도 32°C 기준 계산

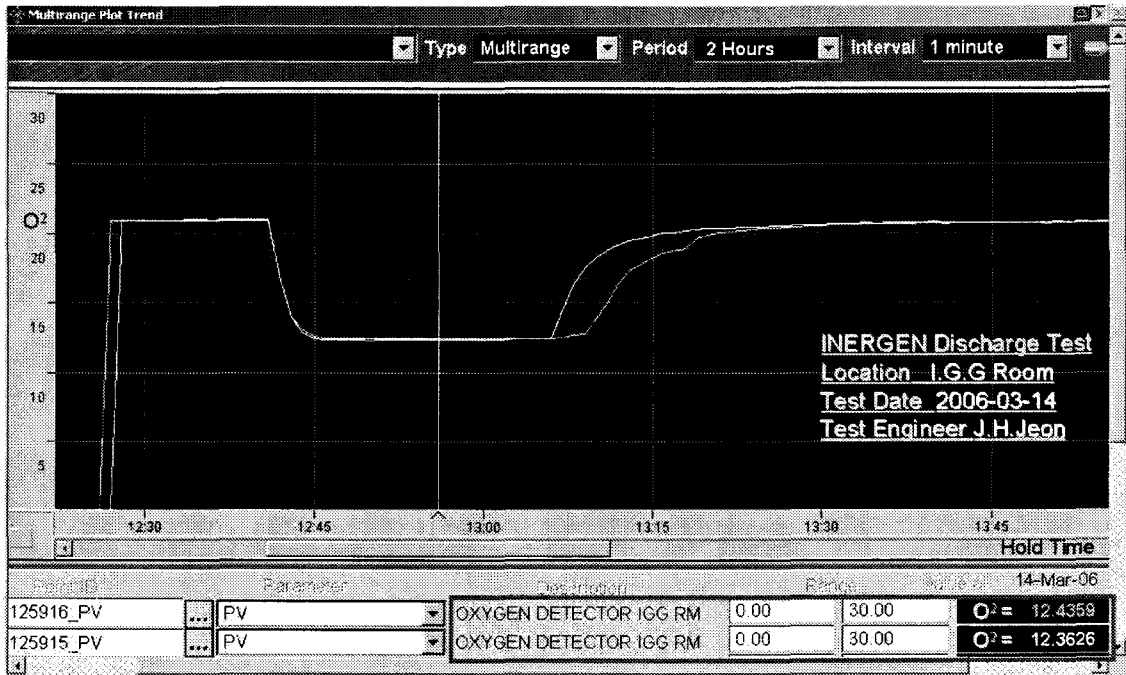
NO	I.G.G Room	수치	단위
a	전체체적	305.55	M <sup>3</sup>
b	설계온도	7	°C
c	대기압	1013.0	mbar
d	선체강도(탄성한계)	100	Pa
e	전량 방출 농도	43.5	%
f	설계농도	35.3	%
h	방출시간	76.0	sec
i	IMO 기준 산소농도	14.8	%
j	최종 산소농도	13.6	%
k	최소 피압구 면적	264.9	cm <sup>2</sup>
l	실제 피압구 면적	1872	cm <sup>2</sup>
m	Fire damper 개방시간	150	sec

[표 5] 외부온도 7°C 기준 계산

온도[°C]	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
압력[Bar]	254	263	272	282	291	300	309	318	328	337	346	355	364	374	383

[표 6] 외부온도와 압력용기 압력관계

외기온도 7°C를 기준으로 IGG Room 에 INERGEN GAS 를 실제방출한 결과 표 7 과 같이 Hold Time 은 NFPA 에서 요구한 15 분을 훨씬 초과했으며 이때 산소농도는 12.4%로 Test 전 수치계산 값 13.6% 보다는 적은 12.4%의 값을 얻게되었다.



[표 7] 실제방출 시험시 산소농도 및 Hold Time

인도 호선	업체	선급	방출시험	계약사양서
HN1219 Woodside FPSO	W	LR	수행안함	요구없음
HN1366 LPG FS0	N	LR	수행안함	요구없음
HN1497 Dalia FPSO	T	BV	수행안함	요구없음
HN1424 White Rose FPSO	T	DNV	수행안함	요구없음
HN1650 Woodside FPSO	T	LR	수행함	요구없음

[표 8] 방출시험 적용 호선

#### 4. Door Fan Test 와 Full Scale Test Cost 비교

초기 설계단계에서 선체강도를 확인하여 피압구 면적과 위치를 적절히 선정하고, 설계농도 및 산소농도에 대해서 사전검토가 되었다면 설계 M/H 가 많이 소요되는 Door Fan Test 보다는 Full Scale Test 를 통해 소화설비의 적정성 평가를 수행하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

IGG Room Only [300 m <sup>3</sup> ]	Door Fan Test	Full Scale Test
<b>Material Cost</b>	<b>1 천 5 백만원</b>	<b>3 백 만원</b>
<b>Test 시 편리성</b>	<b>No good</b>	<b>Good</b>

[표 9] 성능시험 방법별 경제성 평가

## 5. INERGEN 설계시 고려사항

- INERGEN 소화약제의 방출에 의한 실내압력의 조절을 위하여 압력조절용 배출구 (피압구) 면적은 각 보호구역내 설치된 Ventilation system 을 이용토록 한다. 이때 피압구 면적은 보호구역 구조물의 최대 허용 선체강도(탄성한계)를 고려하여 압력조절용 배출구의 면적보다는 보통 크게 제작토록 한다.

$$A = Q / ( P * 0.723 )^{1/2}$$

A = 압력조절용 배출구 면적 m<sup>2</sup>

Q = flow of Inergen m<sup>3</sup>/s, Inergen 의 흐름률로 보통 해당 보호구역 Inergen 전체 용량의 2.5%.

P = 보호구역내 선체의 최소 허용압력(단위:Pascals)

- Fire damper 는 fire detector 가 화재를 감지하자마자 close 되도록 한다. 이후 INERGEN gas distribution pipe 에 배치된 pressure switch 를 통해 INERGEN 방출이 확인됨과 동시에 fire damper 는 open 되고 약 120 초 동안 개방된 후 자동으로 fire damper 가 Close 되도록 F&G logic 을 점검한다. 이는 INERGEN gas 방출 초기 12 초 이내에서 발생할 수 있는 Peak Pressure 를 피하기 위한 것이다.
- 압력조절용 배출구가 1ea 인 경우는 보호구역내의 가급적 높은 구역에 설치한다. 예를들어 압력조절용 배출구 2ea 가 각각 상부 하부로 분리되어 설치되는 경우 상부에 위치한 fire damper 만 open=>close=>open=>close 되도록 하고 보호구역내 bottom 에 설치되는 경우는 fire damper 는 화재감지시 close 되도록 한다.
- 해당보호구역 내에 방출/분사된 INERGEN gas 가 다른 보호구역으로 유입되지 않도록 Common ventilation duct 를 적용하지 않도록 시스템을 구성한다.
- INERGEN release 용 solenoid valve 는 60 초 time delay 후에 동작하는지 F&G control logic 을 점검한다.

## 6. 결 론

- INERGEN 시스템의 성능을 확인하기 위한 방법으로서는 간접적인 시험방법인 도어팬 시험 방법보다는 Full scale test 가 가장 경제적인 시험방법임을 알 수 있다. 단, Full scale test 는 모든 구역에 해당되지 않고 INERGEN BOTTLE 수량이 상대적으로 적은 I.G.G Room(6 Cyl.)과 같은 소규모 구역에 간이시험을 했을 때는 이러한 간이시험 방법이 매우 효율적임을 알 수 있다.
- 공인된 컴퓨터 프로그램을 이용하여 방호구역내의 피압구면적, 외부온도를 고려한 설계농도 및 산소농도를 결정하고, Fire Damper 의 개방시간을 결정하는 Procedure 를 준수한다면 궁극적으로는 Full Scale Test 를 하지 않아도 됨을 시사하고 있다.
- 150 BAR, 200 BAR, 300 BAR 시스템 중 Woodside FPSO 적용된 것과 같은 300 BAR INERGEN 시스템을 적용한다면 가장 경제적인 설계방법임을 알 수 있다.

## 참고문헌

- NFPA 2001 2000 “Standard for Clean Agent Fire Extinguishing System”
- IMO MSC/Circ.848 1998 “Revised guidelines for the approval of equivalent fixed gas fire fighting systems”
- NFPA 12A 부록 B “Door Fan Test”
- AS 4214-1995 “Gaseous Fire Extinguishing System”
- ENFIELD FPS0 Fire & Gas system Cause and Effect Diagrams Hull fire zone 125 2005