

A Study on the Containment Hydrogen Control During the Severe Accident

991

가 , 가
 가 . 가
 . 가
 () TMI 2
 가
 ,
 .

Abstract

Sufficient hydrogen may be generated during core overheating and degradation within the reactor pressure vessel, and released to the containment, to present a challenge to the containment integrity at some plants if it is ignited within the time period of interest. If core cooling is re-established to recover the core within the reactor pressure vessel, additional hydrogen will be generated. Additionally, operation of hydrogen recombiners is recommended in the emergency operating procedures prior to core damage. The capacity of the hydrogen recombiners is not adequate (by a large margin) to control the containment hydrogen concentration below the lower flammability limits during a core damage accident. Therefore, it is necessary to reanalysis and review the hydrogen control due to hydrogen explosion leading to radioactive material release. The regulation of hydrogen concentration control in the containment after the TMI #2 accident has enhanced from existing design basis accident to severe accident analysis aspects. Thus, it is shown that considering a countermeasure as well as reviewing major severe accident phenomena, hydrogen management in the containment, hydrogen igniter, regulation criteria of hydrogen control and etc. in this paper.

가
가 TMI 2 Chernobyl 4

(Severe Accident)

가

, ,)

가

가

TMI 2

가

가

가

Reaction)

-

(MCCI; Molten Core-Concrete Interaction)

가

(Combustible Gas)가

(Static Load:

)

(Dynamic Load:

)

,

가

가

(Fission Products)

(Source Term:

)

[(Deflagration),

(DDT; Deflagration-to-Detonation),

(Detonation)]

가

가

가

가

가

가

가

가 (Flame Acceleration)

(

)

(Reactor Cavity)

가

가

가

1.

가

가.

가

가

가

(LOCA; Loss of Coolant Accident)

가

() 4 ,

가(-1)

가 (HPME; High Pressure Melt Ejection/DCH; Direct Containment Heating)

▶ : 가 (> 2MPa)

(Corium)

▶ 가 :

()가

가

(HPME)

가 (DCH)

(MCCI; Molten Core-Concrete Interaction)

가

가

- 가 (H₂, CO, CO₂)
-
-
- Inter-Layer

2. 가 (H₂, CO)

가 (Water Vapor) (CO₂)가
 가 (H₂) (CO)가
 $Zr + 2H_2O \rightarrow ZrO_2 + 2H_2 + H_2$, $Zr + CO_2 \rightarrow ZrO_2 + C + H_2$, $C + CO_2 \rightarrow 2CO + H_2$
 (<Basaltic>)
 <Limestone-Sand> , <Limestone; CaCO₃>)
 가
 가
 가
 $Zr + 2H_2O \rightarrow ZrO_2 + 2H_2 + Heat$
 가 , 1200 (650) , 1800 (98
 0) , 2800 (1540) - (Self-Sustaining)
 2 3
 가 . TMI-2
 75% 10
 . RCS 가 가
 , (BWR
 <H₂ Igniter, >가
 .)
 가 , 가
 가
 , 50% 가 ,
 75%가
 , (Core Reflood Rates)
 5,000gpm 가 150gpm
 가 (PWR) 가 (PHWR) 가
 , Ontario Hydro社 2 가
 (Hydrogen Igniter, “ ”) .

3.

Deflagration), (Deflagration), (DDT; Deflagration-to-Detonation), (Detonation)

○ (Deflagration, Rapid H₂ burn) 가 (Subsonic) 가

○ (Detonation, H₂ Explosion) (Supersonic) 가 (10⁻³ 10⁻²)



4%, 6%, 8% 4% 8% 가 15% 가 4 8% 가

가 가 가 가 가 가 가 (Peak)

() (, ,)

5 10

가 52% 가

(Containment Steam Inerting Condition)

$$(v/o) = \frac{V(H_2)}{V(H_2) + V(\text{air}) + V(H_2O)}$$

가 가

(Detonation)

가 가

4. (FSAR US NRC)

가.

(1) [10CFR50.44, 10CFR50 App. A GDC 41, SRP Section 6.2.5
Reg. Guide 1.7]

LOCA 5%가

4 v/o

(2) [10CFR50.34(f)(2)()]

100%가

가

10 v/o

(US NRC)

가

TMI 가

10CFR50.44 가

, ECCS

5%가

(Large Dry Type Containment)

PWR
(Hydrogen Recombiner)

5%

LOCA

5

가

3.5%

, TMI

8 v/o

가

, 28psig

가

50%

가

US NRC 1982 2

TMI

10CFR50.34(f)

US NRC 1985 8

90-016

1989 5

10CFR52

(

) 1990 1

SECY

EPRI

10CFR50.34(f)

(1991 12 6).

CE社

10CFR50.34(f)

(Hydrogen Igniter)

System 80+

, 가

가

2

10CFR50.34(f)(2)()

가

(Hydrogen Igniter)

(1)

가

가

(DDT)

가

[1]

. US NRC가

, BWR Mark

PWR

(Ice Condenser Type Containment)

Glow Plug Igniter

(가) 5 8 v/o 가 가

()

, 5 8 v/o

가

() 40 v/o

() 가 10 12v/o

가

(2)

(가) 2

2

○ Thermal Helical Coil 120VAC Class , 44 , 870 (1600)
 가 , 500W/Unit, 360g(0.8 Pounds,)/Unit

○ : 5 9 v/o (0 50%), Detonation Level 15%
 가

○ : 2 Fuelling Machine Vaults SG Room(16), Rx. Bldg Vaults(28)
 [166 (4), 142 (12), 135 (12), 63 11.25 (8), 57 4 (8)]

○

LOCA + LOECC(Loss Of Emergency Core Cooling)

LOCA + SDE(Site Design Earthquake) 24

[LOCA : ‘ ’, ‘ ’]

()

[2]

[1]

Thermal	• ()	• 가 Spark
●Surface Igniter (Glow Plug Hot Wire)	• (Spark Noise가 NRC가) • Class 1E , 가	Plug (Igniter : 1700 <930 >)
●Spark Plug	• , • , PWR • , 가	• Fouling 가 • 가

Thermochemical	• (가)	• 가
● Pilot Flame Igniter	• Thermal 가	
Catalytic	• (가)	• : 4 20
	• 5v/o 가	• 가
	• Compact , 가	• 가
● Catalytic Igniter	• PWR	
	• SNL LLNL , 가	

[2]

가			
	BWR Mark	Perry Grand Gulf Clinton, River Bend	• Glow Plug Igniter
	PWR Ice Condenser	Mcguire, Catawba Wattsbar, Cook, Sequoyuah	
	PWR	'91	• PWR • Spark Plug Catalytic Igniter
	PWR Ice Condenser PWR Mark CANDU	IVO at Loviisa Leibstadt Ontario Hydro - Bruce, Pickering, Darlington	• '82 • Thermal Helical Coil • 870

5.

가.

(가)
1% (Zr)가
,
가 4 v/o . 가 (가)
가
4 v/o . 가 가

가 가 4 v/o ()

(1)

가 100%가 (Reactor Cavity)

Fe- , Cr- , C- , C-CO₂ 가 (H₂ CO)가 가 , 가 FSAR 가

가 US NRC 10 v/o 10CFR50.34(f)(2)()

EPRI , 1991 12 6 EPRI (ELWR; Evolutionary Light Water Reactor) US NRC

ELWR US NRC , CE社 10CFR50.34(f)

System 80⁺

(2) WOG SAMG

(SAMG; Severe Accident Management Guidance)

가

가

가

4가

가 (가)

가

가 (15). , 가 , 가

EPRI

가

가 가 가 가 가

/

(,) (,)

()

가

4%

(,)

가

LOCA

가

가

가 6%

가

(

가

가

)

(Global Hydrogen Burn)

가

가

○

4 6%

(

10 17%)

○

가 가

가

. 1

1

가

○

가

가

○

(Global Ignition Source)

1150 (621)

가

가 가

()

가

가

“ ”

가

(

)

가

가

30 40 psig

가

2 Ontario Hydro社
가 (KINS)

가

가

가

가

(PARs; Passive Autocatalytic Recombiners)

PWR Doel Tihange PAR . PAR
(Steam and Aerosols) 가
Cadarache Nuclear Research Centre EdF EPRI

가

가

References

[1] , 3 (FSAR) 6.2.5 , '96. 12

[2] , 2, 3, 4 (FSAR) 6.2 , '95. 5

[3] , () 4 .
가(- 1), '94. 12

[4] , () . ()
, '96. 7

[5] , '94 IAEA () , '94. 5

[6] KINS, 3, 4 (KINS/HR-050), '93. 3

[7] KINS, PSA 가 , (KINS/HR-090), '93. 12

[8] , “ ” () , '96. 5

[9] Ontario Hydro, "Hydrogen Igniter" technical manual(86-68460-DM-001), Rev. 1, '96. 3

[10] Westinghouse, PWR Accident Analysis and Mitigating Core Damage(SNE 560), Vol. , '93. 7

[11] INPO National Academy for Nuclear Training, Academy Document 96-001 "Severe Accident Fundamentals Overview Training", '96. 2

[12] WOG, Severe Accident Management Guidance Vol. 1 & 3, '94. 6

[13] Colin D Hodgson, Handout for "Containment Hydrogen Management", '97. 5

[14] 10CFR50, '89. 1