

## 수소생산시설에서의 수소폭발의 안전성평가 방법론 연구

제무성<sup>†</sup>, 정건호<sup>\*\*</sup>, 이현우<sup>\*</sup>, 이원재<sup>\*\*\*</sup>, 한석중<sup>\*\*\*</sup>

\*한양대학교 원자력공학과

\*\* (주) 미래와 도전

\*\*\*한국원자력연구소

## A Study on Methodology of Assessment for Hydrogen Explosion in Hydrogen Production Facility

Moosung Jae<sup>\*\*†</sup>, Gunhyo Jung<sup>\*</sup>, Hyun woo Lee<sup>\*\*</sup>, Lee Won Jae<sup>\*\*\*</sup>, Seok-Jung HAN<sup>\*\*\*</sup>

*\*Department of Nuclear Engineering, Hanyang University  
17 Haengdang-Dong, Sungdong-Gu, Seoul, 133-791, Korea*

*\*\*Future & Challenge Tech. 135-312 Seoul University  
599 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 151-742, Korea*

*\*\*\*Korea Atomic Energy Research Institute. 150, Dukjin, yuseong, Daejeon, Korea*

### ABSTRACT

Hydrogen production facility using very high temperature gas cooled reactor lies in situation of high temperature and corrosion which makes hydrogen release easily. In that case of hydrogen release, there lies a danger of explosion. However, from the point of thermal-hydraulics view, the long distance of them makes lower efficiency result. In this study, therefore, outlines of hydrogen production using nuclear energy are researched. Several methods for analyzing the effects of hydrogen explosion upon high temperature gas cooled reactor are reviewed. Reliability physics model which is appropriate for assessment is used. Using this model, leakage probability, rupture probability and structure failure probability of very high temperature gas cooled reactor are evaluated and classified by detonation volume and distance. Also based on standard safety criteria which is value of  $1 \times 10^{-6}$ , safety distance between the very high temperature gas cooled reactor and the hydrogen production facility is calculated.

**KEY WORDS** : hydrogen production facility(수소생산시설), hydrogen explosion(수소폭발), high temperature gas cooled reactor(고온가스냉각로), distance(거리), probability(확률)

### 1. 서 론

화석연료 등 에너지자원의 고갈과 국제정세 불안 등 정치적 요인으로 인해 세계 에너지시장의 불안정성이 크게 높아지고 있다. 세

<sup>†</sup>Corresponding author : jae@hanyang.ac.kr

계 각국의 경제활동 증가는 전통적인 에너지인 석탄, 석유 등의 화석연료의 사용을 증가시켜 화석연료의 고갈을 초래하고 있다. 또한, 에너지 효율의 증대에도 불구하고 세계인구의 지속적인 증가와 개도국의 급속한 공업화 등의 이유로 현재와 같은 화석연료 소비의 증가세는 둔화되기 어려울 전망이다. 현재의 주된 1차 에너지원인 석유는 중동지역에 편재되어 있으며 고갈되어가고 있으므로 안정적인 공급이 어려워지며 고갈이 심화되는 장래에는 더욱 공급이 불안정하게 된다. 또한 화석에너지 사용에 따른 오염물질 방출, 이산화탄소 방출 등은 환경오염과 지구온난화를 초래하여 도쿄 프로토콜과 같은 국제협정을 통해 화석연료의 사용을 제한하고 있다.<sup>1)</sup> 이에 각국은 CO<sub>2</sub> 추가발생 억제조항을 만족시키고 지속적인 성장을 위한 차세대 에너지원의 개발에 힘을 기울이고 있다.

연구되고 있는 차세대 에너지원 중 수소는 환경적으로 무해하며 재생 가능한 연료로써 지구환경 오염문제와 화석에너지 자원의 고갈문제를 동시에 해결할 수 있는 유일한 대안으로 인식되고 있으며 수소에너지에 대한 기술력의 확보가 21세기의 국가경쟁력을 결정하는 중요한 요소가 될 것으로 전망되고 있다. 수소는 우주에서 가장 흔한 에너지원으로 지구표면 물질의 70%이상이 수소로 구성되어 있다. 그러나 수소는 채굴가능한 자원이 아니고 화석에너지, 태양에너지, 원자력에너지 등의 1차 에너지를 투입하여 가공해야 하는 2차 에너지이다.<sup>2)</sup>

이에 국내에서는 원자력의 고온을 이용하여 차세대 에너지원인 수소의 생산을 계획하고 있다. 원자력으로 수소를 생산할 수 있는 방법으로는 800°C이상의 고온에서 물을 수소와 산소로 분해하는 열화학적 수소생산과 고온에서 전기분해하는 방법이 유망하다. 두 가지 방법 모두 800°C이상의 고온을 공급해야 하므로 1000°C에 가까운 열을 공급할 수 있

는 고온가스냉각로(HTGR)가 적합하다. 고온가스냉각로는 개념적으로 볼 때 고온열과 저온열, 전기를 다 생산할 수 있다는 주요한 특징을 가지고 있다. 이를 열병합 발전에 응용할 경우 전체적인 에너지 효율은 80~90%에 달할 수 있을 것으로 추산되어진다. 허나 수소생산의 열효율을 높이기 위해서는 1000°C 정도로 온도를 높여야 하기 때문에 고도로 향상된 안전기준을 만족시켜야 한다.

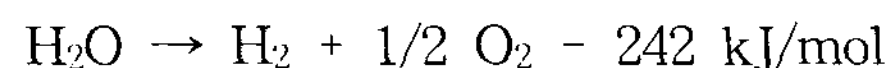
현재 국내에서는 이러한 고온가스냉각원자로의 설계와 관련한 기술이 집중적으로 연구되고 있다. 고온가스냉각로에서 1000°C이상의 열을 공급받아 수소를 생산하는 시설에서는 고온 및 부식 환경으로 인해 항상 수소폭발의 위험성을 지니고 있다. 수소생산시설에서의 수소폭발은 수소생산시설뿐만 아니라 고온가스냉각원자로에도 안전을 위협하는 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 수소생산시설에서의 수소폭발의 안전성평가를 위해 방법론을 개발하고 예비 안전성평가를 수행하였다.

## 2. 원자력을 이용한 수소제조

### 2.1 물로부터의 수소 제조법

물로부터 수소를 제조하는 방법으로는 크게 전기를 이용하는 전기분해방법과 연료전지의 역반응을 이용하는 방법, 열을 이용하는 열화학방법, 플라즈마를 이용하는 방법, 미생물을 이용하는 생물학적 방법, 태양광을 이용하는 광화학적 방법 등이 있다. 이중 전기분해방법은 이미 상용화된 기술이며, 열 또는 빛을 이용하는 기술은 활발히 연구 중이다.

#### 2.1.1 전기분해법



전기분해에 필요한 전기에너지는 이론적으로는 1.229V 이다. 그러나 반응에는 열이 필요하며 이 에너지를 전기로 공급하려면 0.252V가 추가적으로 필요하다. 높은 전기분해 효율을 위해 추가적인 전압이 필요하기 때문에 상온에서는 1.85~2.05V의 전압을 사용한다. 이때의 효율을 72~80%로 나타낸다. 상온에서 전력소모는 4.5kWh/Nm<sup>3</sup>이다.<sup>3)</sup> 과거에는 전기분해방식이 중요한 방식이었으나 탄소원료를 사용하는 방식이 더 저렴하기 때문에 근래에는 거의 사용되지 않는다. 그러나 탄소원료방식은 이산화탄소, 일산화탄소 방출을 동반하므로 미래의 방식으로는 적합하다고 할 수 없다.

전기분해를 이용하는 방법은 이미 실용화되었거나 실용화를 앞두고 있다. 그러나 고체고분자전해질 전해법(SPE)과 고온수증기전해법(SOE)은 지금도 연구개발이 진행 중이다.

### 2.1.2 열화학법

복수의 화학반응을 조합하여 직접 열분해에 필요한 3,000°C 보다 낮은 온도의 열만으로 물을 수소와 산소로 분해하는 방법이다. 이 프로세스는 가수분해반응, 수소발생반응, 산소발생반응으로 구성된다. 본 논문에서는 열화학적 방법 중 국내에서 활발히 연구가 진행 중인 IS 프로세스에 대해 다루고 있다. 다음 식은 IS 프로세스의 3가지 공정을 나타내고 있으며, Fig 1. 은 IS-프로세스의 각 단계를 나타낸 공정도이다.<sup>4)</sup>

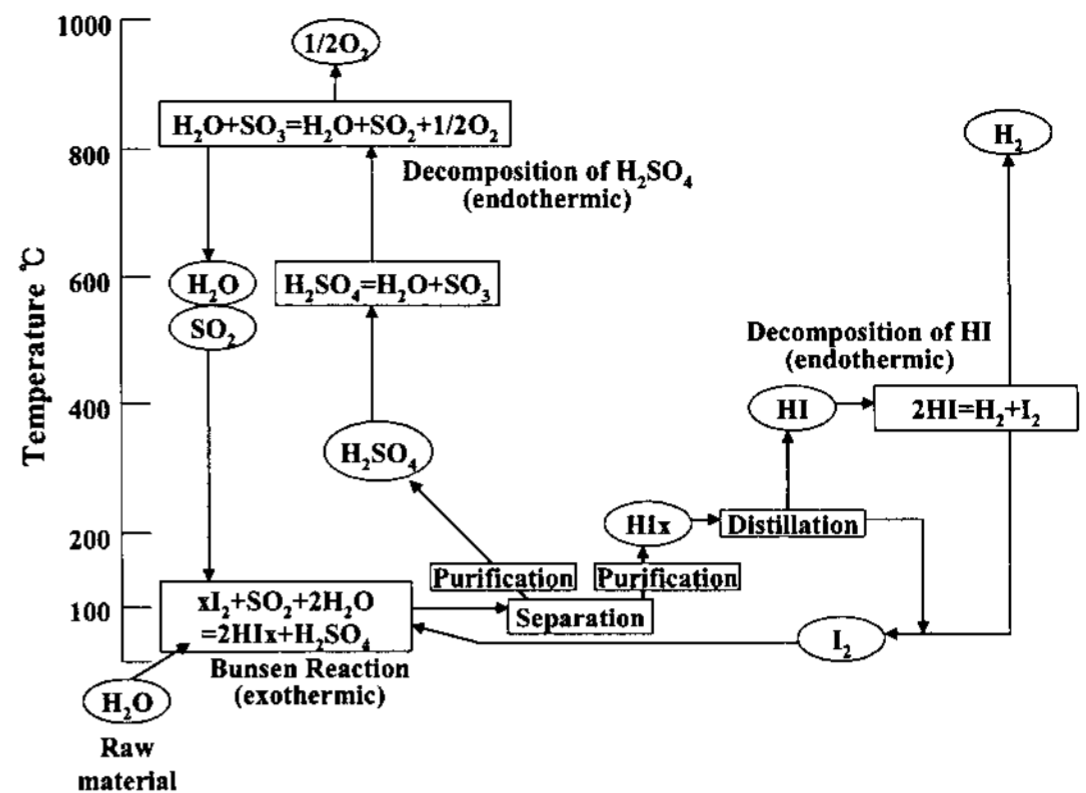
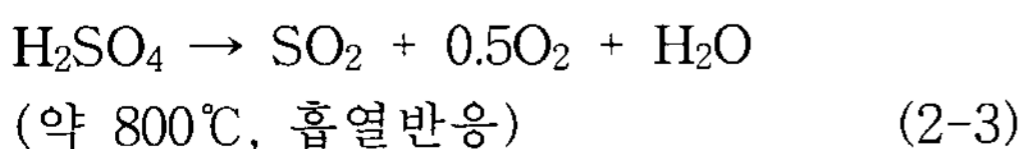
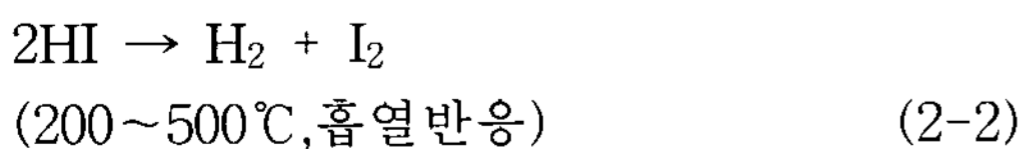
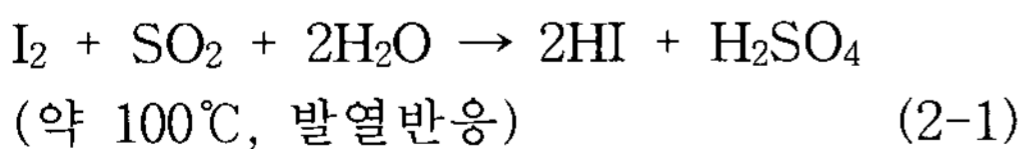


Fig. 1 Reaction scheme of the IS process

## 2.2 고온가스냉각로

고온가스냉각로는 높은 냉각재온도로 높은 전기변환효율, 열이용효율을 얻을 수 있으며 핵연료의 핵분열생성물의 누설이 매우 적으므로 시스템이 간단해져서 경제성이 뛰어나다. 또한 고온가스로의 연구로 고온관련 미래 신기술을 개발하는 부수효과도 있다.

흑연을 사용한 가스냉각로는 영국의 Magnox, 소련의 Chernobyl 등이 있으나 감속재로는 CO<sub>2</sub>, Air 등을 사용하였다. 이러한 방식은 방사선 분해에 의한 흑연 질량감소가 야기된다.

고온가스로는 핵분열생성물 누출, 냉각재 관련 사고 등의 측면에서 안전성이 우수하다. 또한 근원적으로 TRISO 핵연료입자의 방사능 포획능력이 월등하기 때문에 시스템을 간단하게 할 수 있다는 장점을 가지고 있다.<sup>5)</sup>

TRISO 핵연료 입자를 구형으로 제작한 pebble 핵연료의 경우 연소에 따른 반응도는 연속적인 연료공급으로 제어되므로 잉여반응도는 부하추종운전시의 제논분포를 제어할 정도로 적게 유지한다. 그러나 block연료에서는 Er 등의 가연성 독물질을 사용해야 한다. TRISO 핵연료입자의 PyC(pyrolytic carbon), SiC(silicon carbide)로 구성된 다층막은 핵분열생성물을 가두고 있다. 사고 시에도 1600°C

이하로 유지되므로 격납건물이 완전 밀폐일 필요가 없다. 저농축우라늄을 사용하므로 U-238의 도플러효과에 의한 부온도 궤환효과를 이용한다. 냉각재喪失사고 등에서도 핵연료의 온도 상승이 제어된다. 냉각재로 사용하는 헬륨은 중성자반응단면적이 무시할 정도로 적으므로 감속재온도계수와 void계수는 0이다. 따라서 냉각재 변동에 따른 반응도 유발사고의 우려가 없다. 또한 헬륨은 single phase 이므로 열전도 특성이 갑자기 바뀌는 일도 없다. 또한 냉각재가 방사화 되지도 않는다.

흑연을 노심 구조재로 사용하므로 3000 °C까지의 고온에서도 구조를 유지할 수 있다. 또한 열용량이 크므로 원자로심을 높고 가늘게 설계하여 냉각재상실시 원자로 압력용기 외벽으로의 열전도와 대류에 의한 피동냉각이 가능하다.

냉각재로 사용하는 헬륨은 화학적 반응이 없으므로 부식이 매우 적으며 핵연료의 피복관을 설치할 필요도 없다. 원자로 압력경계가 파손되더라도 냉각재속의 방사능이 적으므로 원자로 격납용기는 밀폐 구조일 필요가 없다. 압력용기는 leak-before-break 개념으로 건전성을 보장한다.<sup>6)</sup>

### 3. 신뢰도 물리 모델 (Reliability physics model)

수소폭발의 안전성평가의 경우 수소생산시설에서의 초기사건으로 수소폭발이 일어나고 일어난 수소폭발에 의해 생기는 과압으로 인해 초고온가스로의 안전성을 얼마나 떨어뜨리느냐를 판단하여야 한다. 그러므로 시간의 흐름과 상관없이 수소폭발로 인해 초고온가스로가 받는 과압과 초고온가스로의 내압을 이용한 신뢰도물리모델을 적용하기에 적합하다고 판단되어져 본 연구에서는 수소생산시설에서의 수소폭발의 안전성평가에 신뢰도물리모델을 선정하였다.

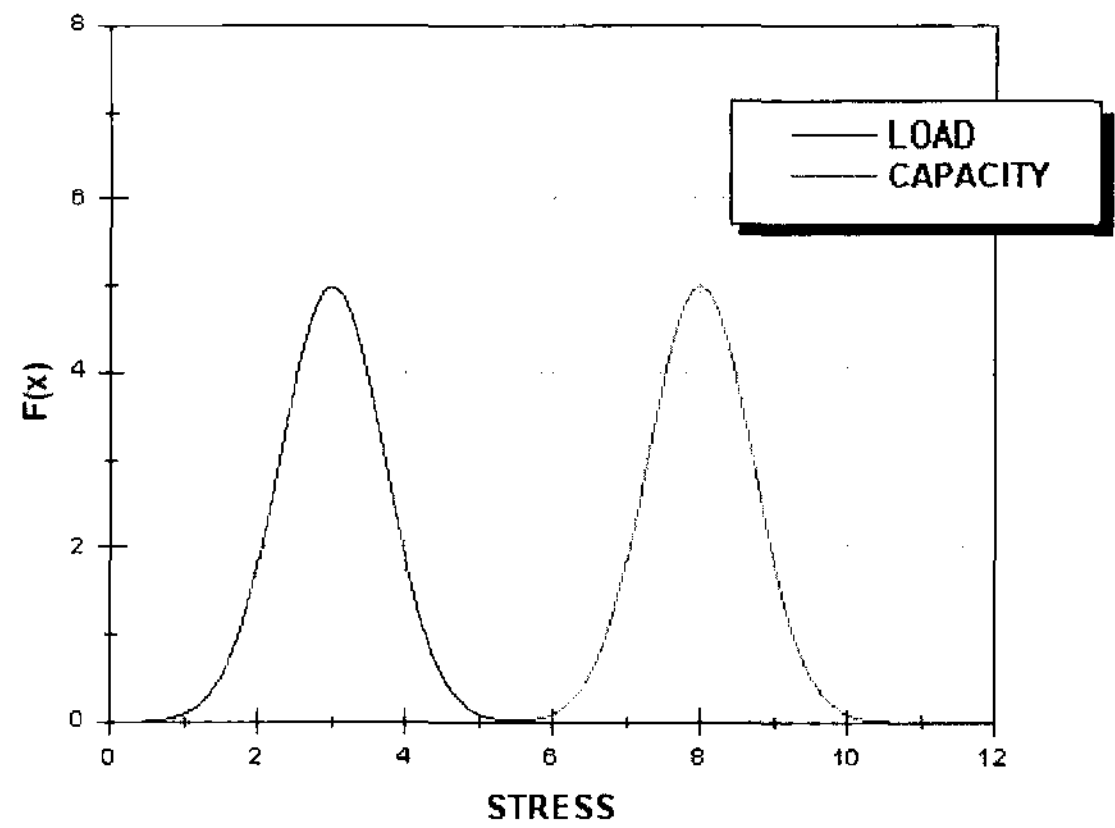


Fig. 2 Probability density function of load & capacity

하중(Load)과 허용량(Capacity)에 대한 확률밀도함수(PDF)를 각각 Load가  $l$ 과  $l + dl$  사이에 있을 확률, Capacity가  $c$ 와  $c + dc$  사이에 있을 확률이라 가정하면 다음과 같이 표현할 수 있다. Fig. 2. 는 Load와 Capacity를 그래프로 표현한 예시이다.

$$f_l(l)dl = P[l \leq L \leq l + dl] \quad (3-1)$$

$$f_c(c)dc = P[c \leq C \leq c + dc] \quad (3-2)$$

정해진 capacity에 대해 load 변화에 따른  $f_l(l)$ 을 고려할 때, Fig. 3. 에서 빗금 친 부분  $r(c)$  즉, load가 capacity보다 작을 확률이 신뢰도(reliability)이다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.<sup>7)</sup>

$$r(c) = \int_0^c f_l(l)dl \quad (3-3)$$

그런데  $c$ 는 확률밀도함수  $f_c(c)$ 에 의해 표현될 수 있다. 따라서 신뢰도(R)에 대한 기대값은 다음과 같이 얻을 수 있다.

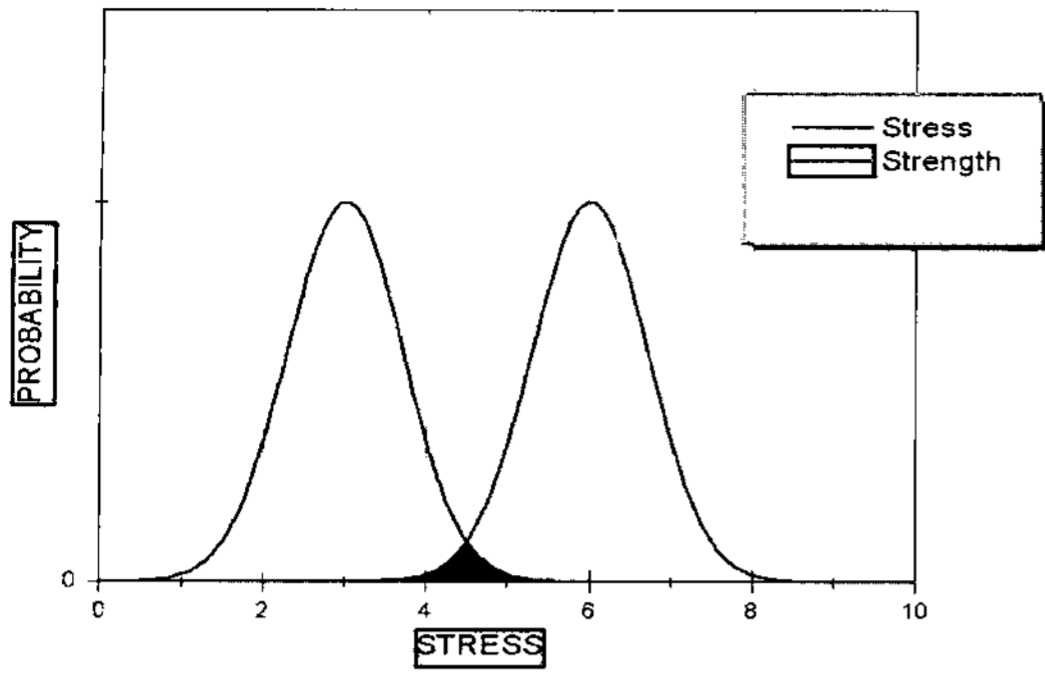


Fig. 3 Example of reliability physics model

$$R = \int_0^\infty r(c) f_c(d) dc = \int_0^\infty \left[ \int_0^c f_l(l) dl \right] f_c(c) dc \quad (3-4)$$

단, 고장률  $F$ 는  $1 - R$  이므로, 고장률  $F$ 는 다음과 위식을 사용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F = \int_0^\infty \left[ \int_0^\infty f_l(l) dl \right] f_c(c) dc \quad (3-5)$$

이고, 따라서

$$\int_0^\infty f_c(c) dc = 1 \quad (3-6)$$

이다.

위 Fig 3. 에서 고장률은 load와 capacity에 대한 확률밀도함수의 겹쳐진 부분으로 나타내어진다. 따라서 겹쳐지는 부분이 없으면 고장률은 0이고, 신뢰도는 1이다.

이 때, load와 capacity가 어떤 분포를 갖느냐에 따라서 고장률을 구하는 방법이 달라지며, 그 결과 또한 다르다.<sup>8)</sup>

첫 째, load와 capacity가 정규분포를 갖는 경우,  $R$  값은 다음과 같고

$$R = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\beta} e^{-\frac{1}{2}y'^2} dy' = \Phi(\beta) \quad (3-7)$$

따라서, 고장률  $F = 1 - R = 1 - \Phi(\beta)$ 가 된다.

두 번째, load와 capacity가 lognormal분포를 갖는 경우  $R$ 값은 다음과 같고,

$$R = \int_{-\infty}^{\infty} \left( \int_{-\infty}^c \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_l} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{l - \bar{l}}{\sigma_l} \right)^2 \right] dl \right) f_c(c) dc$$

따라서, 고장률  $F$ 는

$$F = 1 - R = 1 - \Phi(\beta) = 1 - \Phi \left( \frac{\ln(\bar{c}/\bar{l})}{(w_c^2 + w_l^2)^{1/2}} \right) \quad (3-8)$$

## 4. 수소폭발 안전성평가의 정량적 분석

### 4.1 하중(Load)

수소생산시설에서의 수소폭발에 의해 초고온가스로에 전달되는 폭발부피별, 거리별 과압을 Load로 정한다.

VD = 폭발부피(Detonation Volume)

=  $f \cdot v$  ( $f$ 은 폭발에 참여하는 수소의 비,  $v$ 는 생산되거나 저장된 수소의 총 부피)

폭발부피별, 거리별 Load를 구해내는 방법으로는 TNT상당법, 연료-공기 폭발결과에 의한 평가법, 전산모사에 의한 증기운 폭발의 평가법 등이 있다.<sup>9)</sup> 본 논문에서는 1994년 Idaho National Engineering Laboratory에서 수행된 제시한 폭발부피별, 거리별 과압을 기본 데이터로 사용하였다. Idaho National Engineering Laboratory에서 CMBWAT코드를 사용하였고 다음과 같은 가정을 적용하여 과압을 산출했다.

· 최초 대기 조건 : 14.7psia, 76.4°F

Table 1. Overpressure result at 300scf and 450scf

거리(ft)	V <sub>D</sub>	
	300scf	450scf
20	43.45psi	59.46psi
30	16.97psi	23.15psi
40	8.99psi	12.05psi
50	5.7psi	7.48psi
60	4.05psi	5.2psi
70	3.1psi	3.91psi

- 최초 연료 조건 : 14.7 psia, 76.4°F
- 증기운 반구 확장
- 최초 수소량 : 1500, 3700, 15000scf
- 폭발률(f) : 20, 30, 100
- 폭연은 일어나지 않고 오직 폭굉만 일어난다.

전산모사 결과 폭굉부피별, 거리별 과압 결과의 일부로 300scf, 450scf 에서의 결과를 Table 1 에서 보여주고 있다.(scf : Standard Cubic Foot. 60°F, 14.696psi에서 1 cubic foot 안에 들어있는 가스의 양)

전산모사에 의해 계산되어진 과압은 거리가 멀어짐에 따라 아주 작은 값을 가진다. 약 50psi이하의 값들에 대해서 예비 정량화를 수행한 결과 구조물 실패확률이 0으로 나와 0과 1이 아닌 수치를

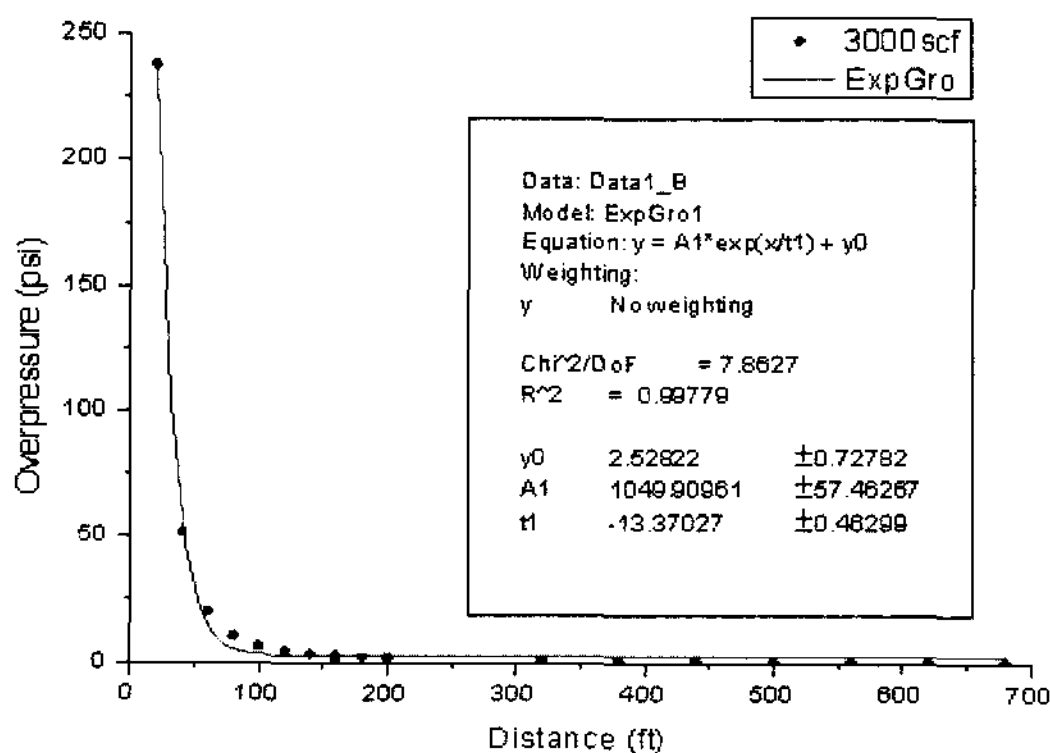


Fig. 4 Overpressure result at 300scf and 450scf

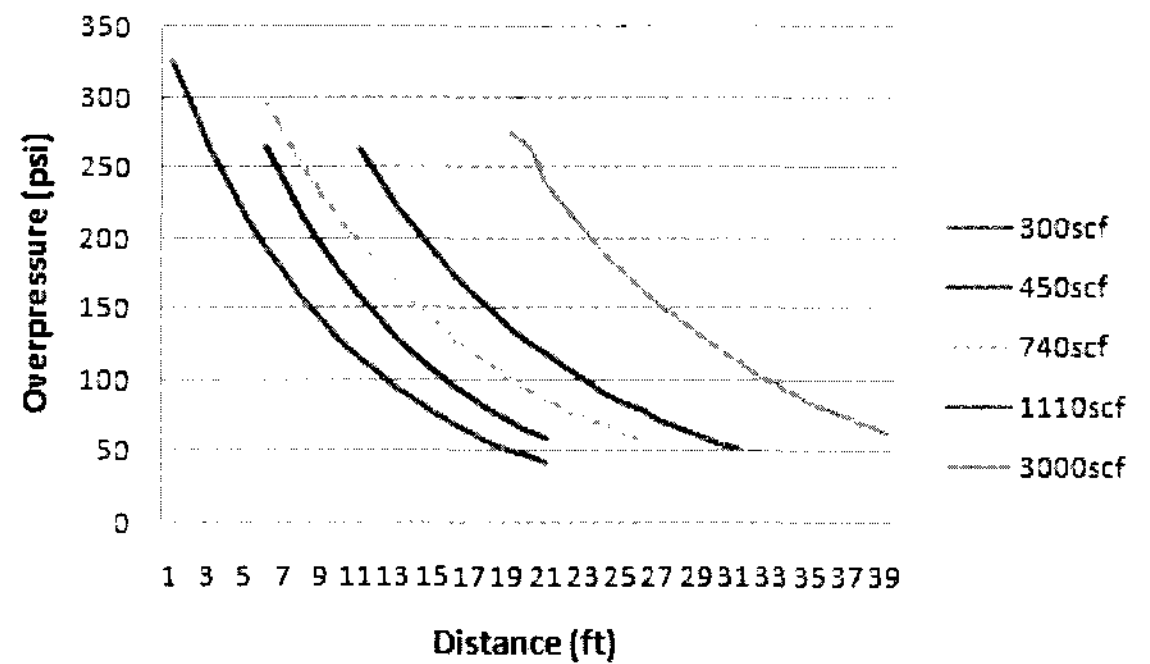


Fig. 5 Overpressure result by exponential growth fitting

가지는 결과를 얻어내기 위해서 폭굉부피별로 OriginPro7.5를 이용해 Exponential Growth Fitting을 수행했다.

Fig. 4 는 3000scf의 Exponential Growth Fitting 예시를, Fig. 5 는 Exponential Growth Fitting을 통해 도출된 각 폭굉부피별 과압들의 결과값들을 보여주고 있다.

## 4.2 허용량(Capacity)

본 연구에서 사용된 Capacity는 울진 5,6호기 PSA에 보고서에서 제시한 격납건물의 극한내압치를 사용하였다.<sup>10)</sup>

확률론적 발전소 고유 격납건물 구조분석은 울진 5,6호기 격납건물 내압능력을 결정하고 손상유형을 식별하기 위하여 수행된다. 손상분석에서 고려되는 여러 가지 손상유형은 손상크기에 의해 두 가지 기본 형태로 분류된다.

• 부분손상(Leak)은 점진적인 압력상승을 방지하고 일어나지만 2시간 이내에 격납건물 감압이 일어나지 않는 격납건물 손상으로 정의된다. 전형적인 파단크기는 0.1 ft<sup>2</sup> 정도로 평가된다.

• 완전손상(Rupture)은 점진적인 압력상승을 방지하고 2시간 이내에 격납건물을 감압시킬 수 있는 격납건물 손상으로 정의된다. 전형적인 파단의 크기는 대략 1.0 ft<sup>2</sup> 정도로 평가된다.

울진 5,6호기PSA보고서에서 제시한 내압의 한계치는 155psig(10.90 kg/cm<sup>2</sup>) 이었으며 이는 콘크리트의 균열이 격납건물전체에 전파됨으로써 일어났다. 울진 5,6호기 격납건물의 설계 내압은  $P_d=57$  psig (4.01 kg/cm<sup>2</sup>)이며 이는 내압에 대한 격납건물의 여유도가 2.72임을 나타낸다.

울진 5,6호기 격납건물 극한내압능력의 확률분포는 대수정규분포를 가지며 완전손상의 경우 중간값이 178 psig 이고 표준편차는 0.13 이다. 기기출입구근처의 라이너 파열에 의하여 발생하는 것으로 평가된 부분손상의 경우 중간값이 169 psig 이고 표준편차는 0.15 이다.

Table 2. Structure failure probability at 300scf

거리 (ft)	Laod	P <sub>Leak</sub>	P <sub>Rupture</sub>	구조물 실패확률
2	2.649E+02	0.000E+00	9.990E-01	9.990E-01
3	2.389E+02	3.984E-03	9.880E-01	9.920E-01
4	2.156E+02	3.004E-02	9.290E-01	9.590E-01
5	1.945E+02	1.204E-01	7.520E-01	8.724E-01
6	1.756E+02	2.368E-01	4.570E-01	6.938E-01
7	1.585E+02	2.143E-01	1.860E-01	4.003E-01
8	1.431E+02	9.080E-02	4.700E-02	1.378E-01
9	1.293E+02	1.960E-02	6.928E-03	2.653E-02
10	1.168E+02	1.996E-03	5.935E-04	2.590E-03
11	1.056E+02	1.473E-04	2.910E-05	1.764E-04
12	9.544E+01	5.513E-06	8.093E-07	6.322E-06
13	8.632E+01	1.177E-07	1.281E-08	1.305E-07
14	7.810E+01	1.443E-09	1.164E-10	1.559E-09
15	7.070E+01	1.014E-11	6.060E-13	1.075E-11
16	6.403E+01	4.133E-14	1.831E-15	4.316E-14

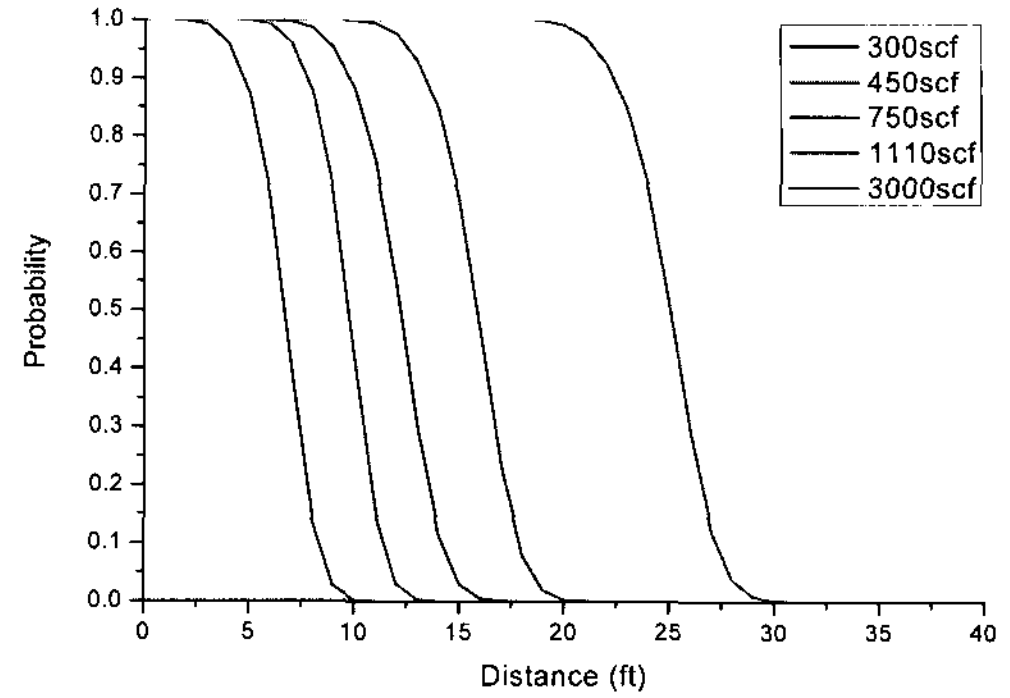


Fig. 6 Structure failure probability at all detonation volume

### 4.3 구조물실패확률

완전손상은 부분손상과 무관하게 Load에 의하여 확률 값이 결정된다. 부분손상은 특정 Load에서 완전손상이 발생되지 않는 경우에 대하여 고려된다. 따라서 격납건물 압력 p에서의 완전손상 확률과 부분손상 확률은 다음 수식으로 평가한다.

$$P_{RUPTURE}(p) = \int_0^p f_r(p') dp'$$

$$P_{\leq AK}(p) = [\int_0^p f_l(p') dp'] [1 - \int_0^p f_r(p') dp']$$

$$P_{NO CF}(p) = 1 - [P_{RUPTURE}(p) + P_{\leq AK}(p)]$$

$f_r(p)$  = 압력 p 에 대한 완전손상 확률분포 (확률밀도함수)

$f_l(p)$  = 압력 p 에 대한 부분손상 확률분포 (확률밀도함수)

Fig. 6 는 각 폭굉부피별 구조물 실패확률의 그래프를, Table 2 는 도출된 구조물 실패확률의 예시를 보여주고 있다.

### 4.4 안전거리

Fig. 7 은 초고온가스로와 수소생산시설사이에서의 안전거리를 보여주고 있다. 안전거리 설정을 위해서 Safety Criteria를  $1 \times 10^{-6}$ 으로 설정하였다. 이는 Reg. Gruide 1.174<sup>(11)</sup>에서 제시하는 작은 변화

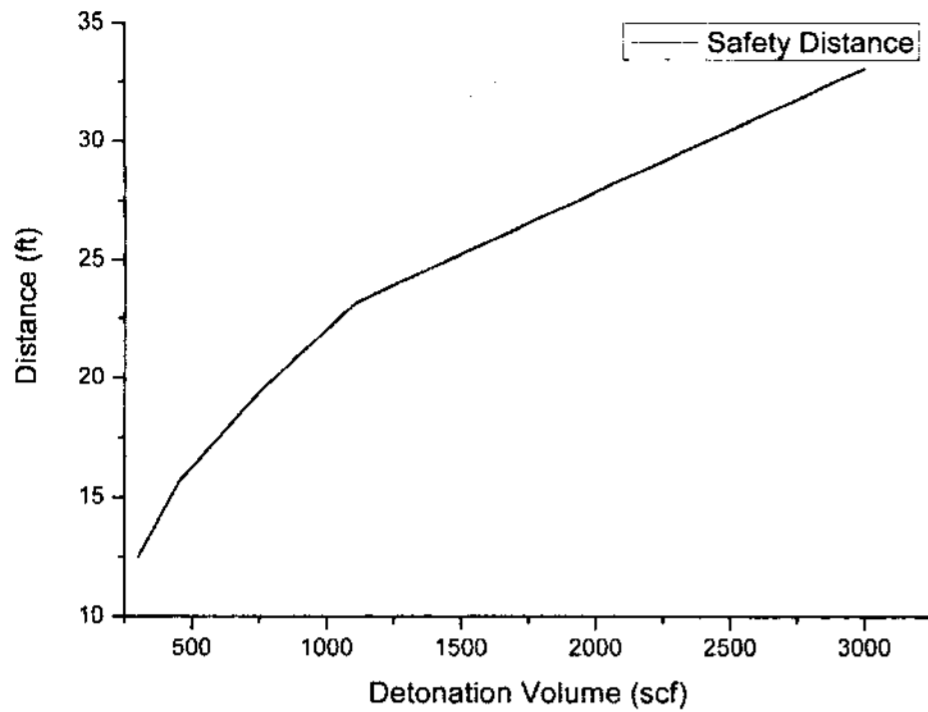


Fig. 7 Safety distance between HTGR and hydrogen production facility

가 있을 때 허용하는 기준인  $1 \times 10^{-6}$ 을 기준으로 설정하였으며 설정된 Safety Criteria에 따라 폭굉부피별 안전거리를 도출하여 작성하였다.

도출된 안전거리는 몇몇 부분에서 보수성을 지니고 있다. 수소폭발이 발생한 상황을 상정하여 계산된 안전거리이기 때문인데, 실제로는 폭발의 발생확률이 아주 작기 때문에 이 극히 작은 발생확률이 적용된다면 두 시설간의 안전거리를 더 가깝게 설정할 수도 있을 것이다. 또한 하중으로 설정한 극한내압치도 원자력 발전소 격납건물 내부에서의 극한내압인데, 실제로 외부에서 받는 압력에 대한 값을 측정할 때보다 보수성을 지닌다고 볼 수 있다.

그러나 3000scf의 폭굉부피는 실제 계획되고 건설되어질 수소생산시설의 용량에 비해 아주 작은 값이다. 더 높은 폭굉부피값을 적용할 경우 안전거리는 본 연구결과보다 더욱 큰 값을 가지게 될 것이다.

## 5. 결 론

초고온가스로를 이용한 수소생산시설은 고온 및 부식 환경에 놓여있어 항상 수소누출의 위험이 있고 수소가 누출될 시에는 폭발의 위험이 있다. 수소폭발이 일어날 경우 수소생산시설 자체의 안

전에도 영향을 미치지만 초고온가스로의 안전에 악영향을 미쳐 초고온가스로의 건전성이 훼손된다면 원자로 고유의 특성상 심각한 피해를 초래하게 된다. 하지만 열수력학적 관점에서 볼 때 먼 거리는 효율을 떨어뜨리는 결과를 가져오게 된다. 이에 본 연구는 안전성을 보장하면서 수소생산의 효율을 극대화시킬 수 있는 초고온가스로와 수소생산 시설 사이의 거리에 대해 연구해보았다.

Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 폭굉부피가 3000scf일 때의 안전거리는 약 35ft 정도로 평가되었다. 이는 초고온가스로와 수소생산시설의 크기를 생각해보았을 때 아주 가까운 거리라고 할 수 있다. 하지만 향후 실제로 운전되어질 수소생산시설은 3000scf보다 훨씬 더 큰 폭굉부피를 가질 수 있다. 따라서 향후 더 큰 폭굉부피에 대한 안전거리를 도출하기위해 더 큰 폭굉부피에 대한 거리별 과압을 도출해내는 연구가 있어야 하겠다. 또한 Capacity도 현재 개념설계단계인 초고온가스로의 특성을 파악할 수 없어 울진 5,6호기의 격납건물 데이터를 사용하였다. 향후 초고온가스로에 대한 설계특성 및 외부에서의 내압평가가 이루어진다면 본 연구에서 사용한 신뢰도물리모델을 사용하여 더욱 정확한 안전거리를 도출할 수 있을 것으로 예상된다. 본 연구결과는 수소제조시설의 예비개념설계에서의 안전성 향상과 추후 운영될 수소제조시설의 안전거리 및 안전관리 규제기준 설정에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 KAERI와 과학기술부의 원자력연구개발 사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 1) 장종화 외, "수소생산용 고온가스로 기술 기초 연구", KAERI/RR-2288/2002, 한국원자력연구소, 2002
- 2) 장종화 외, "원자력을 이용한 수소제조 기술현



- 황”, KAERI/AR-600/2001, 한국원자력연구소, 2001
- 3) Tecdoc-1085, Hydrogen as An Energy Carrier and Its Production by Nuclear Power, IAEA-TECDOC-1085, May, 1999
  - 4) WU Xinxin and ONUKI Karou, "Thermochemical Water Splitting for Hydrogen Production Utilizing Nuclear Heat from an HTGR", Tsinghua Science And Technology Vol. 10, No. 2, April, 2005
  - 5) Schenk, W. et al, "Die Spaltproduktrückhaltung im Kugelbrennelement," in Fortschritte in der Energietechnik, KFA (1993), p. 321
  - 6) Gery Wilkowski, "Leak-Before-Break: What Does It Really Mean?", Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 122, Issue 3, August, 2000, pp. 267-272
  - 7) Tom Poast and Kailash Kapur, "A Comparison of Methods for Stress-Life Reliability Analysis", RESS, 2003
  - 8) A. E. Green and A. J. Bourne, Reliability Technology, JOHN WILEY & SONS, 1978.
  - 9) 김영성, 문길주 외, "대형산업시설물의 안전사고 대응 기술 개발", 한국과학기술연구원, 1998.
  - 10) 홍승열 외, "울진 5,6호기 확률론적 안전성 평가(2단계 연구)", 한국수력원자력(주), 2002
  - 11) NRC (U.S. Nuclear Regulatory Commission), Reg. Guide 1.174, An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis (Rev. 1, ML023240437), 2002