수소동위원소 공정 안전해석

정흥석^{1†} · 강현구² · 장민호² · 조승연² · 김원국³ · 남재연³ · 김덕진⁴ · 송규민⁵ ·

백승우¹ · 구대서¹ · 정동유¹ · 이정민¹ · 김창석² · 정기정² · 윤세훈²

¹한국원자력연구원 핵주기공정개발부, ²국가핵융합연구소 이터한국사업단, ³RMS HAZOP팀,

⁴TUV SÜD KOCEN SDS팀, ⁵KHNP 중앙연구원

Safety Analysis of a Hydrogen Isotopes Process

HONGSUK CHUNG^{1†}, HYUNGOO KANG², MINHO CHANG², SEUNGYON CHO², WONKUK KIM³,
JAEYEON NAM³, DUKJIN KIM⁴, KYUMIN SONG⁵, SEUNGWOO PAK¹, DAESEO KOO¹,
DONGYOU CHUNG¹, JEONGMIN LEE¹, CHANGSHUK KIM², KIJUNG JUNG², SEIHUN YUN²

¹KAERI, 1045 Daedeokdaero, Yuseong, Daejeon, 305-353, Korea

²NFRI, 113 Gwahakro, Yuseong, Daejeon 305-353, Korea

³RMS, 47-483, Ogin, Jongrogu, Seoul, 110-035, Korea

⁴TUV SÜD KOCEN, 5442-1 Sangdaewon-dong, Seongnam-si, Gyeonggi 462-729, Korea

⁵KHNP, Yusong-daero 70-1312, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea

Abstract >> A nuclear fusion fuel cycle plant is composed of various subsystems such as a hydrogen isotope storage and delivery system, a tokamak exhaust processing system, and a hydrogen isotope separation system. Korea shares in the construction of the International Thermonuclear Experimental Reactor fuel cycle plant with the EU, Japan and US, and is responsible for the development and supply of the storage and delivery system. We thus present details on the hydrogen isotope process safety. The main safety analysis procedure is to use a hazard and operability study. Nine segments were studied how the plant might deviate from its design purpose. We present a detailed description of the process, examine every part of it to determine how deviations from the design intent can occur and decide whether these deviations can give rise to hazards. We determine possible causes and note protective systems, evaluate the consequences of the deviation, and recommend actions to achieve our safety goal.

Key words : Hydrogen isotope(수소동위원소), Storage(저장), Hazard(위험성), DU(감손우라늄), Hydride(수소화물)

1. 서 론

우리나라는 국제핵융합실험로(ITER) 삼중수소 저장 공급 시스템 공급국이다. 이에 따라 삼중수소 저장 공급 시스템의 성공적 제공을 위해 우리나라는 삼중수소의 저장 공급 기술을 개발하고 있다¹⁻¹⁰⁾. 삼중수소 저장

공급 시스템은 다량의 수소동위원소를 취급한다. 이 수소동위원소 공정은 안전하게 설계 운전 되어야 한다.

왜냐하면 수소의 잠재적 폭발성, 삼중수소의 방사능, 그리고 수소 저장재 DU(감손우라늄, depleted uranium) 및 그 수소화물의 맹렬한 화학반응성이 공정 안전의 위험 요소이기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 수소동위원소 공정 안전 확보를 위해 HAZOP(hazard and operability study, 위험요소 및 운전성 평가) 기법을 사용한 저자들의 공정 안전성 확보를 위한 최근 연

[†]Corresponding author : hschung1@kaeri.kr

[접수일 : 2012.5.31 수정일 : 2012.6.15 게재확정일 : 2012.6.22]

Fig. 1 Segmental diagram of a hydrogen isotope process

구 결과를 소개하고자 한다.

2. 수소동위원소 공정 및 HAZOP 방법론

2.1 수소동위원소 공정

본 연구의 대상이 되는 수소동위원소 공정은 핵융합연료주기의 삼중수소 저장·공급 계통이다¹⁰⁻¹²⁾. 참고문헌¹²⁾이 제시한 핵융합연료주기 공정도 중, 본 연구의 대상이 되는 수소동위원소 공정은 Fig. 1¹¹⁾과 같다. Fig. 1은 수소동위원소 공정을 9개의 segments로 분해 구성한 것이다. Segment 1은 ISS(동위원소 분리공정; isotope separation system)로부터 저장용기까지의 삼중수소 공급 라인이다. VA는 자동밸브이다. Segment 2는 저장용기로부터 완충저장탱크(buffer vessel)까지의 삼중수소 공급 라인이다. Segment 3은 DU 베드 내부 열량계 루프이다. 헬륨을 순환 시켜 삼중수소 붕괴열을 측정한다. Segment 4는 DU 베드 buffer 용기로부터 FS(fuelling system)으로의 삼중수소 공급 라인이다. Segment 5는 PVT(pressure volume temperature, 용기 내 압력 체적 온도로부터 삼중수소 양을 추산) 용기로부터 베드까지의 삼중수소 공급 라인이다. Segment 6는 베드로부터 PVT 용기로의 삼중수소 주입 라인이다. Segment 7은 PVT 용기로 압력계(PG)와 온도계(TG)가 설치된다. Segment 8은 계통 진공 라인으로 고진공 시스템(VS)에 베드가 연결되어 있다. Segment 9는 베드로의 헬륨 공급 라인이다.

특히 공정의 핵심 부분인 삼중수소 저장 용기 주변 공정도는 Fig. 2¹³⁾와 같다. Fig. 2는 베드 상세 P&ID의 일례를 보여 준다. 본 논문 분석에 사용되는 부분은 저장재가 담긴 일차용기와 그 표면에 설치된 삼중수소 방출을 위해 설치된 가열기(HE)이다. 일차용기를 감싸고 있는 이차용기는 고진공 또는 헬륨으로 채워지는 삼중수소 확산 방지 역할을 담당한다. 참고문헌¹³⁾에 구체적으로 기술된 바와 같이 베드에는 과압 및 과열 방지 기구가 설치된다. 삼중수소 저장 용기는 ISS(isotope separation system, 동위원소 분리 계통)으로부터 삼중수소를 공급 받는다. 이 삼중수소는

Fig. 2 Example of a tritium storage vessel P&ID¹³⁾

저장 용기 내 수소저장재(DU 또는 ZrCo)에 금속수소 화물의 고체상으로 안전하게 저장된다. 핵융합 반응로인 토카막으로 연료를 공급하는 FS(fueling system, 연료주입계통)로 삼중수소를 보내기 위해서는 저장 용기 내 수소저장재를 가열한다. 가열 탈장된 삼중수소는 결국 토카막에서 DT(deuterium-tritium, 중수소-삼중수소) 반응으로 핵융합 에너지를 생산하게 된다.

참고로 삼중수소의 저장재로는 ZrCo 또는 DU가 사용된다. 저자 등은 선행연구²⁾를 통해 ZrCo의 반복 흡탈장에 따른 불균일화 반응특성을 규명한 바 있다. ZrCo의 경우 불균일화를 억제하기 위해서는 온도와 압력을 낮추어야 한다. 그런데 낮은 압력으로는 삼중수소를 원활히 공급하는데 공학적으로 현실적인 어려움이 있다. DU의 경우 토카막에서 필요로 하는 DT의 원활한 공급이 가능할 정도로 탈장 압력이 높고 불균일화의 문제가 없다. 반면 DU의 경우 화학반응

성이 높으므로 이의 사용을 위해서는 안전성 해석이 요구된다.

2.2 HAZOP 방법론

공정 안전관리를 위한 위험성 평가기법으로는 HAZOP이 유용하다^{14,15)}. 본 연구에서는 수소동위원소 공정을 9개의 segments(단위공정)로 나누고, 그 각각을 다시 여러 개의 nodes(노드)로 나누어 안전성 분석을 수행하였다. 각각의 node에 대해 유체, 압력, 온도, 운전에 대한 deviation(변위)을 설정하고, deviation 항목으로는 없음, 낮음, 높음, 역방향, 유체, 절차로 설정하였으며, 각각의 deviation의 원인이 될 수 있는 내용을 causes(원인) 별로 정리하였다. 각 cause가 초래할 수 있는 결과를 consequences(결과)로 정리하였고, 또한 각각의 deviation을 감지할 방안을 detection(검

출)으로 제시하였다. Deviation을 조정할 수 있는 방안은 control(조정)에 정리하였으며, 마지막으로 각 cause 별로 안전성 확보 방안을 action items(조치사항)으로 정리 제시함으로써 궁극적으로 본 연구에서는 HAZOP에서 도출된 action Items를 반영하여 잔여 위험도를 획기적으로 낮추고자 한다.

3. HAZOP 수행 및 결과 분석

3.1 DU 저장재 반응 특성

저자들은 본 안전성 분석에서 핵심적인 저장재와 물질과의 반응 특성을 조사하였다¹⁶⁻¹⁸⁾. 저장재 중 ZrCo 보다 더 반응성이 높은 DU를 대상으로 분석하면, 보수적인 안전성 분석 수행이 가능하다.

3.1.1 DU의 산화 반응

DU 저장재는 공기 중 산소와 반응한다. 특히 미분말 상태에서는 상온에서도 자연 발화한다. 따라서 산소와의 접촉을 피하여야 한다. 산소분압이 매우 낮은 경우($<10^{-4}$ atm) DU 표면에는 우라늄 산화막이 형성된다. 일반적 산소 분위기에서는 백색광을 발산하면서 다음과 같이 DU는 산화 된다.

3.1.2 DU의 수화 반응

DU 저장재는 다음과 같이 150~250℃ 수증기와 반응한다. 특히 이 반응의 생성물인 UH₃는 발화성(pyrophoric) 물질로 활성이 크므로 안전성에 매우 유의해야 한다.

3.1.3 DU의 철화 반응

DU 저장재는 668℃에서 철과 반응하여 Fe-U 공융체(eutectic)를 형성하여 압력경계인 STS를 용해한다.

3.1.4 UH₃의 산화 반응

UH₃는 낮은 분압의 산소와 반응하여 UO₂를 형성하고, 공기 중에서 산화하는 경우, 폭발적으로 U₃O₈을 생성한다.

3.1.5 UH₃의 질화 반응

UH₃는 225℃에서 서서히 N₂와 반응하여 UN_{1.6}을 형성한다. UH₃는 250℃에서 N₂와 반응하여 U₂N₃를 형성한다.

3.1.6 UH₃의 수화 반응

UH₃는 350℃에서 수증기와 반응하여 UO₂를 생성한다.

3.1.7 기타 UH₃ 반응

UH₃는 200℃에서 CO₂와 반응하여 UO₂를 생성한다. 이 과정에서 불순물 카바이드가 생성된다. 또한 UH₃는 200℃ 이상에서 CCl₄와 반응하여 UCl₄를 생성한다. 이 과정에서 C 또는 탄화수소가 생성되는 것으로 알려져 있다.

3.2 Segment 별 안전성 해석

상기 반응 특성을 고려하여, 저자들은 다음과 같이 DU 베드와 직접 연결된 중요 3개 segment에 대해 각각 안전성 해석을 수행하였다. 참고로 나머지 6개 segment는 ISS로부터의 삼중수소 공급 라인(segment 1), PVT 용기로부터의 삼중수소 공급 라인(segment 5), PVT 용기로의 삼중수소 주입 라인(segment 6),

Fig. 3 Bed inlet line node

PVT 용기(segment 7), 계통 진공 라인(segment 8), 헬륨 공급 라인(segment 9)이다. 상대적으로 이 6개 segment는 안전 상 특이점이 없으므로 본 연구 대상에서 제외하였다. 참고로 Fig. 1에서 고찰 가능한 바와 같이 DU 베드를 중심으로 한 고위험군인 3개의 segment를 분석해 안전 조치를 하면, 나머지 6개 segment는 안전이 더불어 확보됨을 알 수 있다.

3.2.1 DU 베드 연료 라인 Segment

DU 베드 연료 라인(segment 2)은 다음과 같이 3개의 Node로 나누어 안전 해석을 수행하였다.

3.2.1.1 DU 베드 Inlet 라인 Node

DU 베드 inlet 라인 node는 Fig. 3과 같다. 삼중수소가 ISS로부터 VA(컨트롤밸브)240을 통해 또는 PVT 용기로부터 VA241을 거쳐 F(mass flowmeter)와 P(압력계)를 지나 VM(수동밸브)241을 통과한다.

DU 베드 inlet 라인 node는 deviation으로 유체에 대해서는 유량 없음, 유량 적음, 유량 많음, 유체 역류의 4경우를 분석하였다. 압력에 대해서는 압력 낮음, 압력 높음의 2경우를 분석하였다. 그리고 온도에 대해서는 온도 낮음, 온도 높음의 2경우를 분석하였다. 유량 없음의 원인은 총 7개가 도출되었다. 이중 특히 라인 파열의 경우 글러브 박스가 오염되는 결

Fig. 4 DU bed node

과를 초래하는 것으로 나타났다. 이것의 감지는 글러브 박스 모니터로 수행된다. 글러브 박스 분위기가 아르곤일 경우에는 DU와 반응하지 않는다. 참고로 질소인 경우, 조건에 따라 상기 3.1.5 UH₃의 질화 반응이 일어날 수 있다.

3.2.1.2 DU 베드 본체 Node

DU 베드 본체 node는 Fig. 4와 같다. 삼중수소가 FT(필터)241을 통해 DU를 함유한 일차용기를 지나 FT242를 지나 이차용기 외부로 흘러간다. 일차용기 외벽에는 각 한 쌍의 탈장용 HE(가열기)241과 HE242가 설치된다. 일차용기 외벽에는 각 한 쌍의 T(온도계)243과 T244가 설치된다.

DU 베드 본체 node는 deviation으로 유체에 대해서는 유량 없음, 유량 적음, 유량 많음, 유체 역류, 불순유체의 5경우를 분석하였다. 구체적으로는 유량 적음, 유량 많음, 유체 역류의 3경우에 대해 각각 탈장 또는 흡장의 경우를 분리하여 분석하였다. 운전절차의 deviation으로는 베드 활성화 한 경우와 불활성화 한 경우의 총 2경우를 분석하였다. 압력에 대해서는 압력 낮음, 압력 높음의 2경우를 분석하였다. 구체적으로는 상기 2경우에 대해 각각 탈장 또는 흡장의 경우를 분리하여 분석하였다. 그리고 온도에 대해서는 온도 낮음, 온도 높음의 2경우를 분석하였다. 구체적

으로는 상기 2경우에 대해 각각 탈장 또는 흡장의 경우를 분리하여 분석하였다.

유량 없음의 원인은 총 9개가 도출되었다. 이중 특히 라인 파열의 경우 글러브 박스가 오염되고, 질화물 형성 및 헬륨 유입의 결과를 초래하는 것으로 나타났다. 이것은 글러브 박스 모니터 및 유량계, 압력계, 온도계로 감지한다. 유량 적음의 원인은 탈장 시 9개, 흡장 시 9개가 각각 도출되었다. 이중 탈장 시 특히 베드 온도 저하의 경우 히터 결함 등이 원인이며, 이는 유량계, 압력계, 온도계로 감지할 수 있으며, action으로는 히터 결함을 직접 확인할 수 있도록 전 압측정기를 설치하도록 하였다. 유량 많음의 원인은 탈장 시 2개, 흡장 시 4개가 각각 도출되었다. 이중 흡장 시 특히 베드 립슈어 디스크가 파열되는 경우, 구체적 원인은 지진, 온도조절 결함, 우라늄 과압 반응, 그리고 화재에 노출이 지적되었다. 상기 각각에 대해 방폭 안전 기구, 내진 해석, 방화 설계를 검토하도록 action을 제시하였다. 유체 역류의 원인은 탈장 시 3개, 흡장 시 2개가 각각 도출되었다. 불순유체의 원인도 4개가 도출되었으며, 각각 원인과 결과, 검출 및 action에 대해 분석하였다. 베드 활성화와 불활성화 운전절차수립 action은 향후 상세설계 단계에서 추진하기로 하였다.

수소 탈장 시 압력 낮음의 원인은 5가지로 분석되었다. 특히 DU의 성능 저하가 원인인 경우, 플랜트 예방 정비 기간 중, 베드 별로 최대흡장 성능을 측정하는 절차를 만들도록 조치하였다. 수소 흡장 시 압력 낮음은 deviation 사항이 아닌 것으로 분석되었다. 수소 탈장 시 압력 높음의 원인은 7가지로 분석되었다. 특히 베드 과열이 원인이 될 수 있으므로, 베드 히터 보호 인터록을 마련하도록 조치하였다. 수소 흡장 시 압력 높음의 원인은 6가지로 분석되었다. 특히 헬륨 유입이 원인 경우에 대비해, 이의 가스 분석계통(ANS, analytical system) 연계가 필요한지 추후 검토하기로 하였다.

수소 탈장 시 온도 낮음의 원인은 5가지로 분석되었다. 예로 전력 히터 컨트롤 fail 등이 원인이 된다. 수소 흡장 시 온도 낮음의 원인은 3가지로 분석

되었다. 예로 DU 질 저하 등이 원인이 된다. 수소 탈장 시 온도 높음의 원인은 3가지로 분석되었다. 예로 과역 화재 이상반응 등이 원인이 된다. 수소 흡장 시 온도 높음의 원인은 3가지로 분석되었다. 특히 온도 높음의 경우, action은 향후 상세설계 단계에서 추진하기로 하였다.

3.2.1.3 DU 베드 Outlet 라인 Node

DU 베드 outlet 라인 node는 deviation으로 유체에 대해서는 유량 없음, 유량 적음, 유량 많음, 유체 역류의 4경우를 분석하였다. 압력에 대해서는 압력 낮음, 압력 높음의 2경우를 분석하였다. 그리고 온도에 대해서는 온도 낮음, 온도 높음의 2경우를 분석하였다. 분석 결과는 상세설계에 반영될 것이다.

3.2.2 DU 베드 내부 열량계 Segment

DU 베드 내부 열량계 segment(segment 3)는 deviation으로 유체에 대해서는 유량 없음, 유량 적음, 유량 많음, 유체 역류의 4경우를 분석하였다. 이 때 4경우에 대해 각각 in-bed 열량계 작동 시와 능동 냉각의 두 경우로 나누어 해석하였다. 압력에 대해서는 압력 낮음, 압력 높음의 2경우를 분석하였다. 이 때 2경우에 대해 각각 in-bed 열량계 작동 시와 능동 냉각의 두 경우로 나누어 해석하였다. 그리고 온도에 대해서는 온도 낮음, 온도 높음의 2경우를 분석하였다. 온도 낮음에 대해서는 in-bed 열량계 작동 시에 대해, 그리고 온도 높음에 대해서는 in-bed 열량계 작동 시와 능동 냉각의 두 경우로 나누어 해석하였다. 분석 결과는 상세설계에 반영될 것이다.

3.2.3 DU 베드 Buffer 용기 Segment

DU 베드 buffer 용기 segment(segment 4)는 deviation으로 압력에 대해서는 압력 낮음, 압력 높음의 2경우를 분석하였다. 그리고 온도에 대해서는 온도 낮음, 온도 높음의 2경우를 분석하였다. 분석 결과는 상세설계에 반영될 것이다.

3.3 종합 안전성 평가

저자들은 상기 안전성 평가를 거쳐 도출된 action item을 residual risk matrix로 정리하였다. Residual risk matrix는 5개의 likelihood와 4개의 severity로 구성된다. Action 이전의 30개의 주의 항목이 action 후에는 전부 안전 영역으로 개선될 수 있었다.

4. 결 론

삼중수소와 중수소를 취급하는 수소동위원소 공정은 안전하게 설계 운전되어야 한다. 왜냐하면 수소의 잠재적 폭발성, 삼중수소의 방사능, 그리고 수소 저장재 DU 및 그 수소화물의 맹렬한 화학반응성이 공정 안전의 위험 요소이기 때문이다. 따라서 저자들은 공정 안전 확보를 위해 HAZOP 기법을 사용하여 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

- 1) HAZOP은 공정 안전관리를 위한 위험성 평가 방법으로 유용함이 확인 되었다. 본 연구에서는 수소동위원소 공정을 9개의 segments로 나누고, 그 각각을 다시 여러 개의 nodes로 나누어 안전성 분석을 수행하였다. 각각의 node에 대해 유체, 압력, 온도, 운전에 대한 deviation을 설정하였다. Deviation 항목으로는 없음, 낮음, 높음, 역방향, 유체, 절차로 설정하였다. 각각의 deviation의 원인이 될 수 있는 내용을 causes 별로 정리하였다. 각 cause가 초래할 수 있는 결과를 consequences로 정리하였다. 또한 각각의 deviation을 감지할 방안을 detection으로 제시하였다. deviation을 조정할 수 있는 방안은 control에 정리하였다. 마지막으로 각 cause 별로 안전성 확보 방안을 action items로 정리 제시하였다.
- 2) HAZOP에서 도출된 action items를 반영하여 잔여 위험도를 획기적으로 낮출 수 있었으며, action 이전의 30개의 주의 항목이 action 후에는 전부 안전 영역으로 개선될 수 있음을 확인하였다.
- 3) 상세설계 단계에서는 DU 및 그 수소화물의 산화,

수화, 철화, 질화, 탄산화 및 할로젠 유기용제 반응이 발생하지 않도록 세심한 주의가 필요한 것으로 밝혀졌다.

- 4) 본 개념설계 단계에서는 DU를 일차용기에 저장하고, 이를 이차용기로 보호하고, 다시 이를 아르곤 글러브박스 내에서 안전하게 사용하도록 하였다. 저자 등은 궁극적으로는 작업자와 환경보호를 위해 탈삼중수소공정^{10,19)}을 채용하고, RAMI(reliability, availability, maintainability, inspectability) 해석^{20,21)} 및 충격해석²²⁾ 결과를 반영한 종합안전설계를 지속적으로 수행 중이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 지식경제부의 국제핵융합실험로 공동개발사업으로 수행되었음(NRF 2012-0000276).

참 고 문 헌

1. H. Chung, M. Shim, D. Ahn, M. Lee, C. Hong, H. Yoshida, K. Song, D. Kim, K. Jung, and S. Cho, "Korea's Activities for the Development of ITER Tritium Storage and Delivery Systems", Fusion Science and Technology, Vol. 54, 2008, p. 18.
2. M. Shim, H. Chung, S. Cho, and H. Yoshida, "Disproportionation Characteristics of a Zirconium-Cobalt Hydride Bed under ITER Operating Conditions", Fusion Science and Technology, Vol. 53, 2008, p. 830.
3. M. Shim, H. Chung, H. Yoshida, H. Jin, M. Chang, S. Yun, and S. Cho, "Initial Test Results of a Fast Heat Transfer Response ZrCo Hydride Bed", Fusion Science and Technology, Vol. 56, 2009, p. 857.
4. M. Shim, H. Chung, H. Yoshida, K. Kim, S. Cho, E. Lee, and M. Chang, "Experimental Study on the Delivery Rate and Recovery Rate of ZrCo Hydride for ITER Application", Fusion

- Science and Technology, Vol. 54, 2008, p. 27.
5. M. Shim, H. Chung, H. Yoshida, H. Jin, J. Lee, K. Song, M. Chang, H. Kang, S. Yun, and S. Cho, "Hydriding/dehydriding Characteristics on Fast Heat Transfer Response ZrCo Bed for ITER", Fusion Engineering and Design, Vol. 84, 2009, p. 1763.
 6. M. Shim, H. Chung, K. Kim, H. Yoshida, S. Cho, D. Kim, and M. Ahn, "Heat analysis on the initial reference design of ZrCo hydride beds for ITER", Fusion Engineering and Design, Vol. 83, 2008, p. 1433.
 7. D. Chung, D. Jeong, D. Koo, H. Yoshida, K. Song, M. Chang, H. Kang, S. Yun, S. Cho, K. Jung, and H. Chung, "Fusion fuel gas recovery and delivery characteristics on a tray-type ZrCo bed", Fusion Engineering and Design, Vol. 86, 2011, p. 2233.
 8. H. Chung, D. Chung, D. Koo, J. Lee, M. Shim, S. Cho, K. Jung, S. Yun, "Storage and Delivery of Hydrogen Isotopes", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 22, No. 3, 2011, pp. 372-379.
 9. D. Koo, H. Chung, D. Chung, J. Lee, S. Yun, S. Cho, K. Jung, "Hydrogen Isotopes Accountancy and Storage Technology", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 23, No. 1, 2012, pp. 49-55.
 10. S. Yun, M. Chang, H. Kang, C. Kim, S. Cho, K. Jung, H. Chung, K. Song, "Tritium Fuel Cycle Technology of ITER Project", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 23, No. 1, 2012, pp. 56-64.
 11. K. Song, S. Sohn, Y. Chung, S. Cho, D. Kim, M. Ahn, M. Shim, H. Chung, D. Kim, and H. Yoshida, "The development of standard operating procedures for the SDS of the ITER tritium plant", Fusion Engineering and Design, Vol. 83, 2008, p. 1380.
 12. M. Glugla, A. Busigin, L. Doerr, R. Haange, T. Hayashi, O. Kveton, R. Laesser, D.K. Murdoch, M. Nishi, R.-D. Penzhorn, and H. Yoshida, "The tritium fuel cycle of ITER-FEAT", Fusion Engineering and Design, Vol. 58-59, 2001, p. 349.
 13. M. Glugla, C. Caldwell-Nichols, I.R. Cristescu, L. Doerr, G. Hellriegel, R. Laesser, D. Murdoch, and P. Schaefer, "Protection of the primary circuits and effect on the design of the inner deuterium /tritium fuel cycle of ITER", Fusion Engineering and Design, Vol. 75-79, 2005, p. 637.
 14. S. Lee, J. Uhm, K. Oh, J. Choi, J. Paek, D. Ha, "Gas Safety Engineering", Donghwapub, Gyeonggido, 2009, pp. 367-371.
 15. S. Banerjee, "Industrial Hazards and Plant Safety", Taylor & Francis, New York, 2003, pp. 65-85.
 16. J.J. Kats and E Rabinowitch, "The Chemistry of Uranium", Dover Publications, New York, 1951, pp. 164-203.
 17. T. B. Massalski, "Binary alloy phase diagrams", 2nd ed., Alloy Phase Diagram International Commission, 1990, pp. 1787-1789.
 18. E.H.P. Cordfunke, "The Chemistry of Uranium", Elsevier, Amsterdam, 1969, p. 62.
 19. H. Chung, M. Shim, D. Ahn, M. Lee, C. Hong, H. Yoshida, K. Song, D. Kim, K. Jung, and S. Cho, "Korea's activities for the development of a detritiation system", Fusion Science and Technology, Vol. 56, 2009, p. 141.
 20. K. Okayama, D. van Houtte, F. Sagot, and S. Maruyama, "RAMI analysis for ITER fuel cycle system", Fusion Engineering and Design, Vol. 86, 2011, p. 598.
 21. Ihn Namgung, H.G. Kang, M.H. Chang, C.H. Kim, S.H. Yun, and K.J. Jung, "Reliability Analysis Modeling of ITER Tritium Storage and Delivery System at Conceptual Design Stage", Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, 2012, p. 862.
 22. Woo-seok Choi, Jae-han Lee, Seungyon Cho, and Sei-hun Yun, "Load Specification and Seismic Analysis for ITER Tritium SDS", Transactions of the Korean Nuclear Society Spring Meeting, 2012, p. 860.