

Source Term 變更改의 波及效果

原電設計 및 經濟性

盧潤來 · 洪承烈
(韓國電力技術研究院 原子力研究室)

1. 序 論

原子力發電所의 事故로부터 一般大衆이 받을 수 있는 유일한 被害는 放射性物質의 漏出로 인한 것이다. 따라서 발전소 設計의 最우선은 放射性物質 누출의 가능성을 최대한 줄임으로써 발전소 安全性을 확보하는데 있다. 원자력 발전소는 그 事故의 중대성에 비추어 設計를 매우 保守的으로 할뿐만 아니라 발전소 事故時 이를 최소화 시키기 위한 다양한 安全設備도 裝置하고 있다. 그러나 安全性만을 考慮한 나머지 발전소를 무작정 保守的으로 設計하고 필요 이상의 安全設備을 設置하는 것은 발전소 建設費를 증가시키고 나아가 發電原價를 높이는 결과를 招來하게 된다.

원자력발전소의 放射線源(source term)은 一般大衆에게 피해를 주는 직접적인 原因으로서 原電 安全性 評價 및 設計에 있어서 결정적 要因이 되고있다. 극단적으로 생각해서 source term이 하나도 없다고 假定한다면 原電事故로 因해 一般大衆이 받는 危險은 전혀 없을 것이며 事故를 完化시키기 위한 安全設備 裝置도 필요없게 될 것이다. 그러나 source term은 원자력발전소의 固有한 문제이며, 이를 정확히 評價하는 것은 原電 最適設計를 위해서 필수적인 사항이다. 現在의 原電設計 source term基準은 1960年代에 制定된 것을 사용하고 있으나, 그동안의 수많은 實驗 및 컴퓨터를 통한 정확한 계산에 의하여 과거의 source term 基準이 너무나 保守的이며 높게 算定되었음이 밝혀지고 있다. 특히 1979년에 발생한 TMI-2 事故에서는 重大事故時 漏出되는 source term의 量이 從來의 評價値보다 훨씬 적었다는 事實을 입증했으며, 이에 따라 source term 再評價에 대한 관심이 高潮되었고 U.S. NRC를 중심으로 활발한 研究가 進行되었다.

本文에서는 source term 研究의 背景과 그동안 變景된 주요내용들을 간단히 記述하고, source term이 減少될 경우 원자력발전소 設計에 미치는 影響 및 經濟性을 定性的으로 살펴보고자 한다.

2. 研究背景 및 現況

가. 背景

source term이란 原子爐 事故時 주위 환경으로 누출될 수 있는 放射性 物質의 形態와 時期 및 그 量을 意味하며, 원자력 발전 초창기인 1950년대부터 source term 評價를 위한 試圖가 있어왔다. 그 첫번째 試圖는 1957년 U.S. NRC의 WASH-740¹⁾이며, WASH-740 이후 가장 중요한 進前의 하나가 1962년에 발간된 TID-14844²⁾ 報告書이다. TID-14844에서는 source term을 爐心熔融 事故時 爐心내 核分裂生成物 放射能의 15%(核燃料에 존재하는 核分裂生成物 중에서 불활성기체 100%, 요오드 50%, 고체핵종 1%)가 格納容器內 大氣中으로 누출된다고 評價하였으며, 이들은 다시 격납용기 체적의 0.1%/일의 비율로 격납용기 밖 大氣中으로 누출된다고 가정하였다. TID-14844에서 가정한 source term은 10CRF100³⁾(발전소 부지 선정 기준) 및 Reg. Guide 1.4⁴⁾에도 반영되어 현재까지 規制基準으로 적용되어 오고 있다. 1975년에 발간된 WASH-1400⁵⁾에서는 체계적인 確率論的 危險度 分析方法을 사용하여 가상사고로 인한 경수로형 원자력발전소의 危險度를 評價하였다. 同 報告書에서는 source term을 事故 損傷정도에 따라 漏出類型(release category)別로 분류·정리하고, 각 事故時 누출되는 핵분열생성물질의 量을 爐心 핵분열생성물의 비율로 나타내고 있다. WASH-1400은 그후 많은 문제점들이 지적되고 있으나, 그 方法 및 結果는 U.S. NRC에 의해 非常計劃 및 環境影響의 評價 등에 적용되어 오고 있다.

TID-14844와 WASH-1400의 source term은 지금까지 사용되어 오고있는 source term의 根幹을 이루고 있으며, 최근 source term 研究의 초점은 이들 從來의 source term을 精確하게 再 評價하고자함에 있다.

나. 現況

1979년에 발생한 TMI-2 원자력발전소 事故에서 실제로 누출된 放射能量은 TID-14844나 WASH-1400에서 가정하고있는 source term과

커다란 차이를 나타내었으며, 이러한 事實로 인하여 기존 source term의 妥當性에 대한 技術的인 검토의 필요성을 認識하게 되었다. U.S. NRC는 WASH-1400 分析方法의 妥當性 및 TMI-2 事故時 요오드의 舉動에 대한 검토를 1981년 NUREG-0772⁶⁾로서 발간했으며, 특별히 source term 評價業務의 進前을 위하여 1983년에는 機關內에 ASTPO(Accident Source Term Program Office)를 설치했다. ASTPO는 NUREG-0772의 技術資料를 토대로 새로운 source term 評價用 전산코드체제를 확립하여 BMI-2104⁷⁾(1983~1985)로서 발표하였다. BMI-2104는 WASH-1400 이후 가장 괄목할만한 進步를 보인 source term 해석방법의 새로운 里程碑이다. 이와 같은 시기에 U.S. NRC는 미국 물리학회(American Physical Society)에 source term 分析에 대한 獨自의인 검토요청을 의뢰하였으며, 이에 따라 美物理學會는 BMI-2104를 포함한 최근 source term 研究結果에 대해 방사성물질 누출에 대한 現象學的 모델의 技術的 根據 및 전산코드 체제의 妥當性을 검토하여 1985년에 報告書⁸⁾를 발간하였다. 上記한 一連의 source term 再評價 연구결과를 綜合하여 U.S. NRC는 “Source term 評價를 위한 技術的 根據의 재검토” 초안을 NUREG-0956⁹⁾으로作成하였으며, 有關단체 및 일반대중의 意見과 그간의 연구결과를 반영하여 조만간 최종보고서를 발간할 예정으로 있다. U.S. NRC의 研究活動 이외에도 source term 研究는 ANS(American Nuclear Society)研究¹⁰⁾, IDCOR¹¹⁾(Industry Degraded Core Rulemaking)計劃 등이 있으며 이들은 U.S. NRC와 긴밀한 協助아래 지속적인 研究를 수행해 오고있다.

WASH-1400에서 가정하고 있는 從來의 source term과 U.S. NRC 및 기타 研究機關에 의하여 현재까지 밝혀진 새로운 source term의 중요한 차이점에 대한 一般的인 結論은 다음과 같다.

“WASH-1400의 source term은 過大評價되어 있으며, 새로운 source term 評價體系에 의하면 몇몇 예외의 경우를 제외하고는 WASH-1400에서 계산된 값보다 수십배지

수백분의 일까지 source term이 줄어든다.”

이와같은 source term 감소의 주요 원인은 크게 세가지 이유로 밝혀지고 있는데, 그 첫째는 격납容器의 健全性이 WASH-1400에서 가정하고 있는 것보다 훨씬 强하다는 것이며, 두번째 原因으로서는 요오드가 I_2 의 氣體형태로 누출되는 것이 아니라 CsI와 같은 化合物형태로 누출되며, 세번째로는 aerosol형태의 모든 핵분열생성물의 凝縮(condensation)·降下(fallout)·附着(deposition) 등에 의한 減衰現象이다. 지금까지의 研究結果로서 WASH-1400의 source term이 과대평가 되었다는 것은 一般的으로 인정되고 있지만, U.S. NRC 및 IDCOR의 계산결과에 依하면 source term은 각 발전소의 상세한 設計 및 建設狀況에 따라 크게 달라지므로 TID-14844나 WASH-1400에서 처럼 一律적으로 규정될 수 없음이 밝혀졌다.

source term 評價技術은 WASH-1400이후 상당한 기술적 進前이 이루어졌지만 아직도 많은 分野에서는 不確實性을 내포하고 있기 때문에 規制指針으로의 活用을 위해서는 계속적인 研究가 수행될 것으로 展望된다.

3. 設計에 미치는 影響

가. 概要

앞에서 記述한바와 같은 source term의 減少가 原電設計에 미치는 影響은 매우 重大하다 할 수 있다. 현재 원전설계 概念은 규제기관의 安全性檢討要件(safety review requirement)에 의한 것으로서 이러한 規制要件은 발전소의 중요한 安全設備 및 機能의 설계에 대해 많은 制約을 가하고 있다. 특히 事故時 환경방사능 누출을 완화하기 위한 機能과 관련된 設備는 매우 保守的으로 평가되었다고 알려지고 있는 從來의 source term(TID-14844)에 의하여 決定되므로, 최종적인 設計는 결국 전체적인 安全性 目標를 달성하기 위한 最適設計와는 커다란 거리감이 있으며 발전소 운전에 있어서도 安全性에 별로 도움을 주지 못하는 運轉制約 조건을 부과하고 있다.

현재까지의 source term 研究는 대부분 從來의 source term 평가방법에 대한 妥當性 檢討 및

解析方法의 개선에 主眼點을 두고 있으며, source term 變更이 原電設計에 미치는 影響 및 경제성에 관해서는 거의 研究가 이루어지지 않고 있다. 그러나 새로운 source term 평가 방법에 의해 source term의 減少가 거의 확실시 되며 從來에는 考慮되지 않았던 핵분열생성물질의 物理化學的 現象 및 格納容器的 舉動이 상세하게 糾明되어 짐에 따라 從來의 과대평가된 source term에 의하여 과다 혹은 잘못 設計된 系統들에 대해서는 設計變更을 통하여 最適設計를 도모할 여지를 찾아 볼 수 있다. 아래에서는 Westinghouse에서 발표된 內容¹²⁾을 중심으로 工學的 安全設備중 핵분열생성물질 제거제통과 格납용기에 대해 記述하고, 非常計劃(emergency planning)에 미칠 影響도 간단히 言及하고자한다.

나. 核分裂生成物質 除去系統(Fission Product Removal System)

원자력 발전소 사고후 발생하는 핵분열생성물질을 減衰시키기 위한 주된 工學的 安全設備에는 格납용기 살수제통(containment spray system)과 배기여과제통(ventilation filtration system)이 있다. 이러한 設備는 TID-14844와 Reg. Guide 1.4 source term에 의거하여 設計된 것으로서, 새로운 source term 觀點에서 볼 때 설계상 不合理한 점들이 지적되고 있다.

1. 格납용기 살수제통(Containment Spray System)

格납용기 살수제통은 Reg. Guide 1.4에 定義되어 있는 요오드에 관한 source term 要件을 만족시키기 위하여 그 설계에 있어서 두가지 중요한 事項을 考慮하고 있는데, spray additive tank와 spray nozzle의 配置가 그것이다. 사고후 格납용기 내부로 放出된 요오드 元素는 spray droplet에 吸收됨으로 인해 除去되며, 이때 吸收 效果를 높이기 위하여 NaOH와 같은 化學약품을 살수제통에 添加시킨다. 살수제통에 첨가된 化學약품은 요오드 元素가 格납용기 배수조(containment sump)에서 再揮發되는것을 방지하는 역할도 하며, 이런 化學약품을 저장하기 위하여 마련된 裝置가 spray additive tank이다. 從來의 source term 觀點에서 보면 spray additive tank

와 같은 裝置는 발전소 사고시 環境 방사능 누출을 規制基準(10CFR100)이내로 만족시키기 위하여 필요한 設備였다. 그러나 최근 요오드에 대한 化學的인 反應現象이 점차 明確하게 糾明됨에 따라 요오드는 揮發性이 높은 I_2 氣體상태로 格납용기 내부에 존재하는 것이 아니라, 같은 핵분열생성물질인 Cs와 反應하여 揮發性이 낮은 CsI 化合物 형태의 aerosol을 형성함이 밝혀졌다. 이러한 aerosol은 살수계통의 噴射시 spray additive tank에 저장하고 있는 화학약품과 化學的인 反應에 의하여 除去되는 것 보다는 spray droplet과의 직접적인 接觸에 의하여 주로 除去된다. 따라서 요오드의 化學的 反應效果를 높이고 格납용기 배수조에서의 再揮發 防止를 目的으로한 화학약품을 저장하기 위하여 마련된 spray additive tank는 새로운 source term의 觀點에서 볼 때 그 効用性的 적음이 지적되고 있다.

또한 살수계통의 噴射시 冷却效果에 의한 심한 渦流(turbulent flow)의 發生으로 spray droplet이 格납용기 内部全域에 골고루 分布되지 못할 우려성이 있으며, spray droplet크기에 있어서도 spray droplet 최종 落下地點에서 格납용기 내의 氣溫과 熱的評衡을 이룰수 있도록 함이 最適이므로, spray nozzle의 位置配列 및 spray droplet의 크기는 最適設計를 위한 再考의 대상이 된다.

一. 배기여과계통(Ventilation Filtration System)

배기여과계통의 設計는 除去해야할 핵분열생성물질의 化學的 형태에 의하여 크게 영향을 받는다. 從來의 source term(TID-14844, Reg. Guide 1.4)에선 누출되는 요오드 형태의 85%가 元素(element), 10%가 메틸(methyl) 혹은 무기질(inorganic), 5%가 粒子(particulate)형태로 구성되어 있다고 가정하고 있으므로 이들을 效果的으로 除去하기 위해서는 3種類의 여과제(filter)가 필요하였다. 즉 元素 요오드를 除去하기 위한 탄소여과제(carbon filter), 메틸 혹은 무기질 요오드를 除去하기 위한 포화탄소여과제(impregnated carbon filter), 粒子 혹은 aerosol 형태의 요오드를 除去하기 위한 HEPA(High Efficiency

Particulate)여과제가 그것이다. 그러나 새로운 source term 研究에서 밝혀진 바로는 元素 요오드로 放出되는 것은 극히 적은 量이며 대부분의 요오드는 化合物형태로 1次冷却水에 溶解되거나 구조물에 附着되고, 格납용기 내부로 揮發되는 것도 aerosol 형태가 대부분이므로 HEPA여과제만으로도 배기여과계통 본래의 目的을 달성할 수 있을 것으로 판단되어지고 있다.

탄소여과제나 포화탄소여과제는 HEPA 여과제에 비하여 가격이 비쌀뿐만 아니라 공기중의 불순물에 의하여 쉽게 性能이 저하되고 定期點檢을 하는데 있어서도 HEPA여과제보다 더욱 많은 시간과 장비가 소요되므로, HEPA여과제만을 使用하게 된다면 많은 經費節減을 기할 수 있다.

다. 格納容器(Containment)

一. 格납용기 구조(Containment Structure)

格납용기 設計基準는 事故時 環境 방사능 누출로 인한 被曝이 10CFR100의 規定値를 초과하지 않아야 한다는 要件에 의거한다. 格납용기 構造物은 자체적으로 핵분열생성물질을 除去하지는 않지만 環境 방사능 漏出에 대한 최후의 堡壘로서 매우 중요한 역할을 한다. TID-14844 source term에 의거한 지금까지의 格납용기 設計는 格납용기 漏出率을 最少化(格납용기 내부 체적의 0.1%/日) 하는 데에 그 초점이 맞추어져 왔으며, 이러한 格납용기 漏出率에 관한 要件은 格납용기 貫通(penetration) 및 내부의 steel liner 品質에 관해서도 큰 制約을 가하고 있다. 그러나 최근의 source term 研究에 의하면 핵분열생성물질의 環境 방사능 漏出防止를 위해서는 格납용기 漏出率을 최소화 시키는 것 보다는 가능한 모든 사고에 대해 格납용기의 健全性(containment integrity)을 保全하는 것이 더욱 중요하다고 인식되어지고 있다. 즉 格납용기의 健全性만 保全된다면 모든 가상사고의 경우 環境 방사능 漏出로 인한 被曝은 規定値이내로 만족된다는 것이다. 이러한 사실은 source term 減少와 직접 관련되는 것으로서 格납용기로 부터의 누출이 증가한다 하더라도 source term이 큰 비율로 줄어든다면 放射能漏出量은 오히려 줄어들

수 있다. 새로운 source term의 관점에서 보면 격납용기로 부터의 누출은 환경방사능 被曝에 큰 영향을 미치지 못하므로, 핵분열생성물질의 누출을 最少로 防止하는데에 설계의 主眼點이 두어진 subatmospheric containment나 double containment는 그 效用性이 疑問視 되고 있다.

事故시 환경방사능 被曝의 主된 原因이 격납용기 누출이 아니라 健全性의 損傷에 의한 것이 라면, 격납용기 健全性 損傷要因들을 防止하기 위한 設計改善에 관심을 기울일 필요가 있다. 격납용기 健全性損傷을 유발시키는 要因들로는 격납용기 격리계통의 機能喪失(containment isolation system failure), 격납용기 限界能力 이상의 過負荷(overpressurization), 격납용기 bypass事故를 들 수 있으며, 아래에서는 이들 各 要因들에 대해 設計上 再考해야할 事項들을 살펴보고자 한다.

一. 격납용기 격리계통(Containment Isolation System)

격납용기 격리계통은, 正常運轉시에는 그 流路(fluid line)가 열려있는 상태이지만 사고시에는 作動할필요가 없는 계통에 대하여 自動적으로 流路를 차단시켜 줌으로써, 격납용기를 外部와 차단시켜 주기위한 設備를 말한다. 正常運轉시 닫혀있는 流路에 대해서는 正常運轉中 運轉員들에 의하여 그 차단상태가 管理되며, 事故時 作動이 요구되는 系統에 대해서는 流路의 自動인 차단은 되지 않도록 되어있다.

正常運轉시 닫혀있는 流路는 運轉員들에 의하여 그 차단상태가 管理되지만, 기록상으로 보면 운전원들의 管理 부주의로 인하여 격납용기 격리계통의 機能喪失된 경우가 다수 나타나고 있다. 또한 어떤 발전소 設計에 있어서는 事故時 이를 完化시키기 위하여 作動하는 계통이 오히려 격납용기 격리기능을 더욱 劣化시킬 수 있음도 지적되고 있으며, 어떤 系統의 격리밸브는 機能喪失시 닫혀질 수 있도록 (fail in the closed position) 設計되어있지 않음도 드러나고 있다. 격납용기 격리계통의 機能喪失을 誘發하는 이와 같은 要因들은 소규모의 設計變更으로 충분히 改善될 수 있으며, 나아가 격납용기 健全性을 保全하는데 커다란 몫으로 기여할 수 있다.

一. 격납용기 大規模 損傷(Containment Gross Failure)

최근의 source term 研究에 의하면 격납용기 構造物은 從來에 가정했던것 보다 훨씬 强하여 대규모 격납용기 損傷은 설계압력보다 2배 혹은 2.5배 높은 압력에서나 일어날 수 있음이 밝혀졌다. 이와같이 격납용기는 매우 强하여 사고시 어떤 형태로는 격납용기 内部의 熱을 除去할 수만 있다면 격납용기의 大規模 損傷은 일어나지 않으며, 熱除去 機能의 完全 喪失시에는 계속적인 온도 및 압력의 상승으로 因하여 격납용기 强度와는 상관없이 大規模 損傷이 일어난다. 따라서 격납용기 設計에 있어서 强度를 증가시키기 위한 設計改善 등은 無意味하며 오히려 熱除去 機能의 信賴度를 높일 수 있는 方向으로 관심을 기울여야 할 것이다.

격납용기 누출율을 최소한으로 줄이기 위하여 設計된 double containment (steel liner, shield building)는 격납용기 大規模 損傷시 문제점이 지적되고 있다. 즉 격납용기 과도압력에 의한 内部 steel liner의 대규모 손상은 外部의 shield building에 대해서도 똑같이 대규모 손상을 誘發하게 되므로 外部의 shield building은 그 意味가 없다는 것이다.

一. 격납용기 Bypass

격납용기 bypass 事故는 환경방사능의 심각한 漏出을 초래할 수 있다. bypass 事故의 한 例로서, LPCI(low pressure coolant injection)系統의 격리밸브 파손은 LPCI배관의 파열을 유발하며 冷却水와 핵분열생성물이 격납용기 밖인 보조건물로 직접 漏出하게 된다. 새로운 source term 研究에는 이러한 事故시 누출된 냉각수와 핵분열생성물질을 LPCI 系統주변의 限定된 場所에 모아 놓을 수 있는 裝置를 마련하고 적당한 배기계통을 설치함으로써 매우 效果의으로 핵분열생성 물질의 漏出을 完化시킬 수 있을 것으로 생각된다.

二. 非常計劃(Emergency Planning)

비상계획은 원자력 발전소 設計와는 별로 관계가 없지만, source term 變更과는 직접적으로 가장 영향을 많이 받는 事項이다. 현재의 비상

계획은 WASH-1400의 source term에 의거한 것으로서, 美國의 경우 非常待避(evacuation, sheltering)對象地域을 발전소로부터 10 mile¹³,¹⁴⁾까지로 지정하고 있다. 그러나 새로운 source term 研究에 의하면 source term을 10배정도 減少시킬 경우에 非常待避 對象地域을 1~2mile로 줄일 수 있음이 妥當한 技術的 근거에 의하여 제시되고 있다.

非常待避 對象地域의 축소 이외에 중요한 變更事項은 非常待避概念의 變更이다. source term의 減少로 인명피해에 대한 위험이 WASH-1400에서 算定했던것보다 현격히 줄어들게 됨으로 인해, 疏開(evacuation)보다는 隱身(sheltering)이 더욱 效果의일 수 있다는 것이 지배적인 意見이다. 疏開는 對象住民에게 生命에 대한 공포심을 크게 誘發시키며 疏開에 따른 혼란과 부작용이 오히려 더 큰 逆效果를 야기시킬 수도 있는 것이다. 非常計劃이 變更되면 非常訓練 시나리오도 變하게 되므로, 어떤 source term에 의거하여 非常訓練 시나리오를 作成할 것인가는 신중히 檢討할 문제이다.

4. 經濟的 效果

source term의 減少로 因하여 얻어지게 될 經濟적 效果에 대해서는 定量的으로 발표된바가 없다. 或者는 原電建設費用的 20~30%까지 節減을 가져올 수 있다고 주장하나 이는 精確한 技術的 評價를 거쳐서 내려진 結論이라고 할 수가 없다. 原電 source term은 各 발전소의 상세한 設計 및 建設狀況에 따라 크게 달라지므로 source term의 減少로 因한 經濟적 效果도 모든 발전소에 대하여 一律적으로 規定지어질 수 없으며, 各 발전소의 특성을 감안한 定量的 평가 과정을 거쳐야만 精確한 판단이 가능하다.

Source term 變更이 經濟적으로 큰 影響을 미칠 수 있는 다른 한 部分은 原電 安全性을 높이기 위하여 設置하는 追加設備(backfitting)이다. 현재 追加設備 設置에 대한 판단은 費用-利得(cost-benefit) 分析을 통하여 이루어지고 있는 바, 소요비용과 발전소 위험도 減少를 비교하여 소요비용에 대하여 발전소 위험도를 相對적으로 많이 줄일 수 있으면 追加設備의 타당성이 안정

되는 것이다. 이러한 方法은 TMI 후속조치 要件 이행에 대한 妥當性 검토의 수단으로서 많은 발전소에 응용되었으며, Big Rock Point¹⁴⁾ 발전소의 경우 費用-利得 分析을 통한 經濟적인 대처방안을 제시함으로써 TMI 후속조치 要件중 많은 部分을 U.S. NRC로부터 면제받았다. 이러한 分析은 WASH-1400 source term에 의거하여 이루어졌지만 새로운 source term을 使用하여 分析한다면 더욱 많은 要件에 대해 經費節減의 效果를 가져오게 될 것이다. 최근 U.S. NRC의 중대사고연구(SARRP)¹⁶⁾에서 分析된 바에 의하면 Surry 발전소의 경우 中대사고에 대비한 追加設備의 適正 투자비용은 WASH-1400의 source term을 使用했을 경우 수천만 \$이나, 새로운 source term 使用 및 기타 最適評價를 했을 경우에는 수천 \$로 나타났다. 이와같이 精確한 source term의 使用은 不必要한 追加設備의 設置를 防止함으로써 많은 경비절감 效果를 가져올 수 있다.

앞에서는 source term 減少로 因하여 실제로 影響을 받는 系統으로서 핵분열 生成물질 제거 系統이나 격납용기를 言及하였지만 이외에도 主 制御室의 HVAC設計 폐기물처리계통 등 많은 部分이 影響을 받는다. 그러나 이들이 設計變更 혹은 改善으로 얼마만큼의 經濟적 效果를 가져오느냐 하는것은 어떤 類型의 발전소에 基準을 두느냐에 따라 크게 달라질 수 있다. 따라서 source term 減少로 인한 經濟적 效果에 대해 精確히 評價하기 위해서는 우선 구체적인 발전소를 選定하고 이에 대해 從來의 source term을 적용하였을 경우와 새로운 source term을 적용하였을 경우를 비교하여야 한다. 그러나 한가지 확실한 事實은 새로운 source term을 적용하였을 경우에는, 從來 과대평가된 source term에 의해 保守적으로 혹은 不必要하게 設置된 部分이 除去되기 때문에, 經費節減의 效果를 가져올 수 있다는 것이다.

5. 結 論

Source term은 원자력 발전소의 安全性을 評價하는데 있어서 중요한 要素로서 핵분열生成물질 제거계통과 격납용기 등 중요한 設備의 設計

및 발전소 非常計劃에 중대한 영향을 미친다. 現在 原電設計의 source term 基準은 TID-14844와 WASH-1400에서 가정하고 있는 값을 사용하고 있으나 TMI-2 事故이후 이들 값이 과대평가 되었다고 인식되어져 source term 再評價에 대한 활발한 研究가 進行되었다. U.S. NRC를 중심으로 한 有關단체 및 研究機關의 研究에 의하여 지금까지 내려진 一般의인 結論은 WASH-1400에서 가정하고 있는 값보다 수십분의 일 이하로 source term을 줄일 수 있다는 것이다.

Source term의 減少는 원자력 발전소 設計에 전반적으로 영향을 미칠 수 있으나, 핵분열생성 물질 제거계통과 격납용기 등 工學的 安全設備部分이 특히 source term 減少로 인한 設計改善의 주요 대상이 된다. 본문에서는 이들 系統에 대하여 source term 減少로 인한 設計變更 혹은 改善點으로 지적되고 있는 事項들에 대하여 몇 가지 言及하였지만, source term은 각 발전소의 상세설계 및 建設狀況에 따라 그 감소폭이 크게 달라지므로 구체적인 設計變更은 대상발전소의 구체적인 source term 評價에 따라 決定되어질 事項이다. 발전소 非常計劃도 source term 減少에 직접적인 영향을 받으며, 새로운 source term 研究에 의하면 非常待避 對象地域을 現在의 基準보다 큰폭으로 줄일 수 있으며 疏開(evacuation) 보다는 隱身(shelting)이 住民의 安全 확보에 더욱 効果的이라는 것이다.

Source term 減少로 인한 경제적인 效果도 對象발전소에 따라 달라지므로 一律적으로 規定지을 수는 없다. 그러나 TMI 후속조치 要件과 같이 安全性 확보를 위한 追加設備(backfitting) 設置의 경우, 이들 要件중 많은 部分이 減少된 source term에 의해 면제 받을 수 있으므로 經費節減의 效果를 가져올 수 있다. 비록 source term 減少의 경제성을 一律적으로 規定지을 수는 없지만 現在의 原電設計가 과대평가된 從來의 source term에 의하여 保守적으로 設計되고 있으므로, 減少된 source term을 使用할 경우 原電設計가 經費를 節減할 수 있는 方向으로 유도될 것임에 틀림없다.

國內에서도 최근 source term 評價에 대한 技

術現況 分析研究가^{17,18)}가 이루어 진바 있으며 점차 이分野에 대해 심층연구가 進行될 전망이지만, source term研究는 많은 人力과 時間 및 經費를 要하는 分野이므로 研究結果의 國內 活用性을 감안하여 적절한 수준에서 研究를 進行함이 바람직하다 하겠다.

참 고 문 헌

- 1) U.S. AEC, "Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants," Brookhaven National Laboratory, WASH-740, March 1957.
- 2) J.J. DiNunno *et al.*, "Calculation of Distant Factors for Power and Test Reactor Sites," U.S. AEC, TID-14844, March 1962.
- 3) CFR-Code of Federal Regulations, Title 10, Part 100, "Reactor Site Criteria"
- 4) Reg. Guide 1.4, "Assumptions Used for Evaluating the Potential Radiological Consequences of a Loss of Coolant Accident for Pressurized Water Reactors", Rev. 2, U.S. NRC, 1974.
- 5) U.S. NRC, "Reactor Safety Study-An Assessment of Accident Risks in U.S. Commerical Nuclear Power Plants", WASH-1400, October 1975.
- 6) U.S. NRC, "Technical Bases for Estimating Fission Product Behavior During LWR Accidents", NUREG-0772, June 1981.
- 7) J.A. Gieseke *et al.*, "Radionuclide Release under Specific LWR Accident Conditions", Battelle Columbus Laboratories, BMI-2104, July 1983-February 1985.
- 8) R. Wilson *et al.*, "Radionuclide Release from Severe Accidents at Nuclear Power Plants", Report to the American Physical Society, Draft, February 1985.
- 9) U.S. NRC, "Reassessment of the Technical Bases for Estimating Source Terms", NUREG-0956, Draft, July 1985.
- 10) American Nuclear Society, "Report of the Special Committee on Source Terms", September 1984.
- 11) IDCOR, "Industry Degraded Core Rulemaking Study", Draft Reports, Atomic Industrial Forum and Technology for Energy Corp., 1983, 1984.
- 12) P.J. Morris *et al.*, "A Designer's View of Source Term Changes", Westinghouse Electric Corp., The 5th PBNC, May 1985.
- 13) CFR-Code of Federal Regulations, Title 10, Part 50 Appendix E, "Emergency Planning and Preparedness for Production and Utilization Facilities."

- 14) U.S. NRC, "Criteria for Preparation and Evaluation of Radiological Emergency Response plans and Preparedness in Support of Nuclear Power Plants", NUREG-0654, November 1980.
- 15) Science Applications Inc., "Value/Impact Analysis of Selected Safety Modifications to NPP", March 1984.
- 16) U.S. NRC, "SARRP-Risk Rebaselining and Risk Reduction Analysis", NUREG/CP-0048, January 1984.
- 17) 김삼곤等, "방사선원 재평가 현황분석(I)", KOPEC/85-T-31, 한국전력기술 주식회사, 1985년 12월.
- 18) 석수동等, "原子力發電所 核分裂生成物 放出量 評價", KAERI/RR-500/85, 韓國에너지 研究所, 1985년 2월.