

解 說

大韓熔接學會誌
第9卷第2號 1991年6月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 9, No. 2, Jun., 1991

原子力發電機器와 壓力容器的 安全 規制 및 熔接에 관한 製作基準에 대하여

鄭 鎬 信*

Safety Regulations and Welding Manufacturing Standards for Nuclear Power Plant and Pressure Vessel Element

H.S. Jeong*

1. 머리말

熔接對象으로서 가장 중요한 것은 原子爐의 構造材料이며 이것에는 原子力 容器, 重水 탱크, 液體燃料容器, 燃料棒 被覆, 制御棒 被覆, 冷却材 導管 및 출력 제동의 각종 도관, 열교환기, 펌프, 밸브 등의 構造材料 및 原子爐의 부대 설비로서의 燃料 化學處理 과정 등에 사용되는 각종 金屬材料가 있다.

原子爐 구조재료의 용접부에 대한 사용 성능상의 요구는 爐의 구조 및 출력에 따라 매우 달라지지만 일반적으로는 다음과 같은 사항이 요구되고 있다.

- 1) 보통의 기계구조용 재료와 동등한 기계적 성질.
- 2) 동력용 원자로에서는 고온에서의 기계적 성질 및 고온에 의한 脆化가 적을 것.
- 3) 燃料, 減速材 및 冷却材 등의 고체 및 액체금속에 대한 상온 및 고온에서의 耐蝕性和 耐侵蝕性이 양호할 것.
- 4) 爐心部에서의 熱中性子 흡수가 적을 것.
- 5) 유해한 誘導放射能이 적을 것.
- 6) 장시간의 中性子 照射에 의한 물리적 및 기계적

성질의 변화 즉 放射線 損傷(radiation damage)이 적을 것.

- 7) 엄중한 非破壞檢査에 의한 無缺陷의 최고급 용접부가 얻어질 것.

만약 용접부에 龜裂, 氣孔, 슬래그의 섞임과 같은 결함이 존재하면 고가의 연료나 減速材의 逸脫이나 유해한 방사성 물질의 漏洩이 생길 가능성이 있고 또 부식이 촉진되어 용접부가 파괴되게 된다. 파괴된 용접부의 수리는 강력한 방사선 때문에 인체에 유해하므로 용접부는 최초부터 모재와 동등한 정도로 결함이 없도록 하여 원자로의 수명 연한(20년) 이내에는 수리가 필요하지 않도록 하여야 한다.

용접부의 결함을 없애고 품질을 보증하기 위해서는 가능한 한 용접을 자동화하여야 한다. 그러나 원자로에는 대형이 주류를 이루고 있으므로 공장용접보다는 현장용접이 많아 용접의 自動化는 근원적으로 제약을 받는 모순이 있기 때문에 결함이 생기기 쉬운 현장용접을 여하히 하여 완전하게 하느냐가 큰 문제가 된다.

원자력 발전설비는 安全性的 확보 측면에서 다방면으로부터의 규제를 받는다. 최근, 각종 원자력 발전소

* 정회원, 부산수산대학교 공과대학 재료공학과

에서 안전 사고가 발생하여 안전대책의 확립이 시급히 요구되고 있다. 따라서 안전 확보 시스템이 발달하게 되었고 원자력 압력용기를 용접할 때에는 熔接施工에 엄격한 통제를 받게 된다.

따라서 실제의 원자력 압력용기의 용접시공시에 요구되는 미국 및 일본의 규제 사항에 대하여 살펴 보기로 한다.

2장에서는 原子力 發電所 및 設備의 安定性이 어떻게 규제되느냐에 대하여 주요한 法規 및 그 法規의 監督者에 대하여 설명한다.

2.1.에서는 미국의 안전 규제에 대하여 언급한다. 법적으로는 原子力法(Atomic Energy Act)이 가장 중요한 것으로 이 規則(Title 10 of Code of Federal Regulations) 및 規制 指針(Regulatory Guides)에 의하여 규제되고 있다. 이 경우, 원자력 시설의 法規 則에 대하여 유일한 책임을 갖는 정부의 행정기관은 原子力 規制委員會(Nuclear Regulatory Commission: NRC)이다. 이들 법규중에서 원자력 압력용기의 材料·設計·工作·檢査에 대해서는 ASME Code가 기초로 되어 있다.

2.2.에서는 일본의 안전규제에 대하여 언급한다. 일본에서는 電氣事業法(通産省 資源에너지廳 공익사업부 감독) 및 原子爐等 規制法(科學技術廳 감독)이 중요한 법규이다. 그 중에서도 전기사업법 중의 “發電用 原子力 設備에 관한 構造等の 技術基準” 및 “電氣工作物の 熔接에 관한 技術基準”은 원자력 압력용기의 材料·設計·工作·檢査에 대하여 상세하게 규정하고 있는 기술 기준이다.

이 기술기준은 ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section III을 기초로 한 것으로 역사가 오래 되어 새로운 기술기준에 대응하기 위하여 자원 에너지廳 내에 原子力 發電設備 技術基準 檢討會를 설치하여 심의하고 있다.

3.1.에서는 압력용기 기술수준의 기초가 되는 ASME Boiler and Pressure Vessel Code에 대하여 설명한다. ASME Code는 현재 ASME Boiler and Pressure Vessel Committee에 의하여 관리되고 있고 새로이 개정 또는 추가되는 규격은 Case 또는 Addenda의 형으로 발행되고 있다.

원자력 발전설비의 제작에 관한 부분은 Section II (材料), Section III(原子力 發電機器), Section V (非破壞檢査), Section VIII(壓力 容器), Section IX(熔接認證試驗) 및 Section XI(原子力 發電機器의 使用中 點檢·檢査) 등이다.

특히 압력용기의 용접과 밀접한 관련을 갖는

Section III의 Subsection NB에 대해서도 그 내용을 약술한다.

3.2, 3.3에서는 일본의 보일러 및 각종 압력용기에 관한 규격기준과 그 감독국을 해설하며 “電氣工作物の 熔接에 관한 技術基準”에 대해서도 설명한다.

2. 原子力 發電所의 安全 規則

원자력에서는 안전상 많은 문제가 따르기 때문에 평화적인 이용에 있어서 개발 당시부터 안전성에 최대한의 배려를 하였다.

이 원자력에 있어서 안전 확보를 위한 기본 개념은 “安全 問題를 하나의 시스템으로 생각하여 전체적으로 安全을 確保하는 것”이다.

이 “安全 確保 시스템”을 구체적으로 열거하면 다음과 같다.

- ① 安全基準의 設定
- ② 安全設計의 強化
- ③ 安全評價에 의한 確認
- ④ 제작중 및 건설중의 品質 保證
- ⑤ 사용기간중의 性能 確認
- ⑥ 안전 연구에 의한 實證

원자력 발전소의 이러한 安全 規則은 안전의 확보를 위하여 국가가 책임을 지고 수행하게 된다.

2.1. 美國 原子力 發電所의 安全 規則

미국의 원자력 행정은 1974년까지는 AEC(Atomic Energy Commission)가 개발 연구 및 안전 규제까지를 담당하였다. 그러나 1975년 1월부터 AEC가 연구 개발을 담당하는 EREA(Energy Research and Development Administration)와 안전 규제를 담당하는 NRC(Nuclear Regulatory Commission)로 분리되었다.

법적으로 原子力法(Atomic Energy Act)이 있고 이 법은 원자력의 군사적 이용, 평화적 이용 및 연구, 학문에 대해서도 규정하고 있다. 원자력법에 기초한 規則(Title 10 of Code of Federal Regulation)과 規制 指針(Regulatory Guides)에 의하여 원자력 발전소의 안전 규제가 이루어지고 있다.

따라서 원자력 시설의 안전 규제에 관한 법 규제에 대하여 책임을 지는 정부의 행정 기관은 NRC(原子力 規制 委員會)이다.

주요한 법규와 지침은 다음과 같다.

a) 原子力法(Atomic Energy Act)

Manhattan 계획에 의하여 원자폭탄이 1945년에

개발되었고, 제2차 세계대전 후 국회에서 이들 원자력의 개발과 규제에 대하여 심의하기에 이르러 1946년에 McMahan법이 제정되어, 이것이 1945년의 原子力法으로 되었다. 이 법은 다음의 3가지로 분류하여 원자력 설비의 사유화를 인정하고 있다.

- * 軍事的 目的으로 이용하기 위한 原子力 武器의 개발
- * 平和的 利用을 위한 原子力 發電의 개발
- * 科學으로서의 原子力 科學

b) Title 10 of Code of Federal Regulations(10 CFR)

원자력법 시행에 있어서의 더욱 상세하고 구체적인 규제이다. 이것은 미국 정부가 발행하는 “Federal Register” 중의 규칙이고, Code는 50개의 Title로 나뉘어져 있다. 그 중 Title 10은 에너지에 관한 규칙이다.

원자력 발전소의 허가 수속은 建設 許可 段階 (construction permit)와 運轉 許可 段階 (operating license)의 2단계로 분류할 수 있으며 이 때 건설 허가 단계에서는 일반 사항, 기술적 사항(豫備 安全 解析書, 環境 報告書, 放射性 物質의 安全 說明書등)을 기준으로 심사한다.

또 운전 허가 단계에서는 一般事項, 技術的 事項(最終 安全 解析書, 環境 報告書, 運轉者 資格 基準)등의 신청 사항을 기준으로 NRC가 심사한다.

c) 規制 指針 (Regulatory Guide)

개개의 신청을 NRC의 규제 staff이 인정할 수 있는 조건을 기준으로 case by case로 검토하였지만, 1970년 12월 AEC가 “輕水型 原子力 發電所에 대한 안전 지침 (Safety Guide)”을 발행하게 되어 指針化가 진행되었다. 규제 지침은 이 안전 지침을 발전시킨 것으로 1972년 12월 부터 순차적으로 발행되고 있다. 이렇게 하는 것은 AEC가 특정의 규제를 실시함에 있어서

- ① 규제 staff이 인정할 수 있는 방법을 公知하는 것
- ② 想定되는 事故나 특정의 문제에 대하여 규제 staff이 사용하는 평가 수법을 알리는 것
- ③ 신청자에게 안내서를 제공하는 것등이 주목적이다.

이 규제 지침에 포함되는 내용은

- ① 動力爐에 대한 지침 ② 研究爐 및 試驗爐에 대한 지침 ③ 燃料 및 材料 施設에 대한 지침 ④ 환경 및 입자에 대한 지침 ⑤ 재료 및 플랜트 보호 지침 ⑥ 제품

의 지침 ⑦ 수송 지침 ⑧ 종업원의 건강에 대한 지침 ⑨ 反 트러스트 검토에 관한 지침 ⑩ 일반이다.

이 중 원자력 용기의 설계, 공작, 검사등의 지침은 ASME Boiler and Pressure Vessel Code에 기초하고 있다.

2.2. 日本에서의 安全 規制

2.2.1. 原子力 發電에 관한 主要 法規

원자력 발전에 관한 주요 법규는 電氣事業法 및 原子爐等 規制法이다. 특히 전기 사업법 중의 “발전용 원자력 설비에 관한 기술 기준을 정하는 省令(通產省 省 告示 제26호)”, “발전용 원자력 설비에 관한 구조 등의 기술 기준(通產省 省 告示 제501호)” 및 “전기 공작물의 용접에 관한 기술 기준을 정하는 省令(通產省 省 告示 제81호)”은 용접 관계자와 깊은 관계를 갖는다.

2.2.2. 電氣事業法에 의한 規制의 主要 內容

전기 사업법에서는 계획단계에서의 규제, 설치 허가 시의 규제, 공사계획 단계에서의 규제, 건설 단계에서의 규제, 운전 개시후의 규제로 분류된다.

이들 각 단계에서의 규제에는 여러 사항이 포함된다. 그러나 지면 관계상 공사 계획 단계, 건설단계 및 운전개시후의 규제사항중 공사 계획 인가, 용접 방법 인가, 용접 검사 및 정기 검사 조항에 대하여 설명한다.

공사 계획 인가 조항은 “通產大臣은 공사 계획인가 신청에 관계되는 공사가 ① 전기공작물의 변경 허가의 내용에 따르는 것이고 ② 通產省令으로 정한 기술 수준에 적합한 것으로 ③ 전기의 원활한 공급 확보를 위하여 적절한 것일 때에는 이 공사 계획을 인가하지 않으면 안된다.”(同法 41조 3항)는 것이다.

또 熔接 方法 認可에 대해서는 “발전용의 보일러, 터어빈 및 원자로 격납 용기등으로서 국내에서 용접하는 것은 우선 통산 대신에게 그 용접방법의 인가를 받지 않으면 안된다.”(同法 46조) 이것은 용접의 성질상 熔接材, 被熔接材, 熔接 設備 등의 종류, 재질, 용접 부위, 용접자의 기술등 각종의 사항을 종합하여 구체적인 용접 방법에 따라 그 방법의 적부를 판단하여 그 방법에 따라 용접되어 있는 지의 여부를 검사하는 것이 아니면 보안 확보가 불충분하다는 이유 때문이다.

건설 단계에 있어서의 규제는 燃料體 檢査, 熔接 檢査, 사용전 검사 및 보안 규정의 제출과 주입 기술자의 선임등의 항목으로 이루어지며 이 중 용접 검사는

표 1. 原子力 發電에 관한 法規等

-
- * 電氣 事業法(通産省 감독)-전기사업법 시행령, 전기사업법 시행 규칙, 전기 관제 보고 규칙
發電用 原子力 設備에 관한 構造 등의 技術 基準-1970년 通産省令 고시 제501호
발전용 핵연료 물질에 관한 기술 기준을 정하는 성령
電氣工作物의 熔接에 관한 기술 기준을 정하는 省令-1970년 통산성령 고시 제81호
發電用 原子力 設備에 관한 기술 기준을 정하는 省令-1965년 통산성령 고시 제62호
발전용 원자력 설비에 관한 방사선에 의한 生體 實効線量 등의 기술 기준
 - * 原子力 基本法(科學技術廳 감독)
 - * 核原料 物質, 核燃料 物質 및 원자로의 규제에 관한 법률(科學技術廳 감독)
原子爐의 設置, 운전 등에 관한 규칙
原子爐의 設置, 운전 등에 관한 규칙 등의 규정에 근거하여 許容 被曝線量등을 규제하는 것
核燃料 物質의 사용 등에 관한 규칙
核原料 物質의 사용 등에 관한 규칙
發電用 原子爐 입지 심사 지침
 - * 原子爐 손해의 배상에 관한 법률
 - * 原子爐 손해 배상 보상 계약에 관한 법률
 - * 電離 放射線 장애 방지 규칙
 - * 電源 개발 촉진법
 - * 發電用 施設 주변 지역 정비법
 - * 電源 개발 촉진세법
 - * 電源 개발 촉진 대책 특별회계법
-

“발전용 보일러등 耐壓 部分에 대하여 용접하는 것과 격납 용기등으로서 용접되는 것은 용접시 通産省令으로 정한 매 용접 공정에 대하여 통산대신의 검사를 받아 합격된 후가 아니면 사용할 수 없다”고 규정되어 있다.

운전 개시후의 규제 사항은 定期 檢査, 電氣工作物의 유지, 보고 및 현장 검사로 구성되며, 정기 검사는 발전용 원자로와 그 부속 설비 및 발전용 보일러, 터어빈등의 전기 공작물은 정기 검사 신청서를 제출하여 정기 검사를 받아야 한다고 규정하고 있다(전기 사업법 47조).

정기 검사의 취지는 금속 재료의 고온 고압 증기 또는 가스에 의한 손상, 부식 또는 크리이프 현상에 의한 강도의 저하, 방사선에 의한 손상, 부식 및 기기의 운전에 의한 마모등에 의하여 위험도가 높은 것에 대하여 안전성이 저하하지 않도록 정기적으로 검사하는 것으로 원자력 발전소의 경우에는 안전성 확보의 중요성으로 부터 검사 범위도 넓고, 증기 터어빈을 제외하면 매년 1회 발전소를 정지하여 정기 검사를 수행한다. 또 증기 터어빈에 대해서는 2년에 1회만 실시해도 좋은 것으로 되어 있다.

3. 보일러 및 壓力容器에 관한 規格

원자력 압력용기의 공작시에는 그 재료, 설계, 공작

및 검사, 품질 관리 등에 관한 규격과 기준에 따르지 않으면 안된다. ASME 압력용기에 관한 규격과 일본의 각종 압력용기에 관한 규격과 기준에 대하여 간단히 설명한다.

3.1. ASME 壓力容器 規格(ASME Boiler and Pressure Vessel Code)

세계 각국의 압력용기 규격은 미국의 ASME Code를 기초로 한 것이 많기 때문에 이 Code를 이해하는 것이 매우 중요하다.

ASME Code의 성립 과정은 1887년 The American Boiler Manufacturers의 창립과 1990년대 초기에 미국에서 발생한 각종 보일러의 안전 규제를 위하여 보일러 규격이 제정되기에 이르렀다.

1907년 Massachusetts주에서, 1908년에는 Ohio주에서 보일러 규격을 제정하였고, 1916년 National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspector가 편성되었다.

한편 1911년 ASME 규격위원회가 발족되어, 1941년에 Section I (Power Boiler)이 발행되었다. 그후 각종 규격이 제정되었으나 용접관계로서는 1937년 Sec. IX Welding Qualification을 발행하게 되었다. 이 규격은 발행 초기에는 Sec. VIII의 부록이었지만, 1940년 독립된 규격이 되었다.

a) 規格委員會(ASME Boiler and Pressure Vessel

Committee)

이 위원회에 의해 ASME Code가 운용되며, 이 위원회는 本委員會, 評議會, 實行委員會, 12개의 subcommittee, subgroup 및 working group으로 구성되며 위원회의 수는 약 550명이다.

委員會가 수리한 규격에 관한 질문은 secretary를 통하여 관련 subcommittee의 위원장에 송부되며, 즉시 회답할 수 없는 질문은 subcommittee에서 command를 작성하여 공개회의에서 토론하게 된다. 이들 command는 본 위원회에서 체결되며 인정이 된 경우에는 무기명 투표후에 유효하게 된다.

이들 결과는 Mechanical Engineering誌에 게재되며 30일 이내에 이의를 제기할 수 있다. 이 때 Command가 없으면 평의회에 의해 허가되고, Code Interpretation Case 또는 규격 개정의 형태로 발행된다.

매년 2회 Code Case를 통합하여 규격에 대한 Addenda를 발행하고 있으며 또 3년 마다 규격을 개정하고 있다.

Welding Research Council중의 Pressure Vessel

Research Committee는 다수 기업의 대표자, 기술자 및 규격위원회위원으로 구성되며 재료, 설계, 공작에 관한 연구활동을 수행하고 있다.

b) ASME Code의 內容

ASME Code의 규제 내용을 표2에 나타낸다. 원자력 발전기기에 관계되는 Code는 ※로 표시하였다.

c) ASME Code Section III의 subsection NB

이 Subsection NB는 NB-1000(總則), NB-2000(材料), NB-3000(設計), NB-4000(工作), NB-5000(檢査), NB-6000(試驗), NB-7000(過大壓力 防止), NB-8000(name plates, stamping, reports)로 구성된다.

1) NB-2100은 재료 일반에 대한 것으로 재료의 적용 범위, 재료의 확인, 재료의 同定, 사용중의 材料劣化, 충격특성을 개선하는 熱處理등에 대해 규정하고 있다. 또 NB-2300은 耐壓材料에 요구되는 破壞靱性, V-노치 샤르피 시험과 落重試驗 등을 규정한다.

NB-2331은 압력용기에 대한 재료의 합격 기준의 규정으로서 RT_{NDT} 설정에 관한 것이다. 즉

- 1) 落重試驗에 의하여 T_{NDT}를 결정하며, 2)

표 2. ASME Code의 規制 內容

Section	Subsection	規制 內容
I		發電用 보일러
※ II	Part A Part B Part C	재료규격 鐵系 材料 재료규격 非鐵 材料 재료규격 熔接棒, 熔接材料
※ III	Subsection NA NB NC ND NE NF NG	원자력 발전기기 一般規格 원자력 발전기기 第1種 機器 원자력 발전기기 第2種 機器 원자력 발전기기 第3種 機器 원자력 발전기기 MC중 機器 원자력 발전기기 機器 支持部 원자력 발전기기 Core支持構造物
IV		加熱 보일러
※ V		非破壞 檢査
VI		加熱 보일러 取扱 規格
VII		發電用 보일러 取扱 規格
※ VIII	Division 1 Division 2	壓力容器 壓力容器, Alternative Rules
※ IX	熔接 및 브레이징 認定 試驗	
X		Fiberglass, RFP製 壓力 容器
※ XI		原子力 發電機器의 사용중 점검에 관한 基準

($T_{NDT} + 60^{\circ}F$)이하의 온도에서의 샤르피 시험 결과 橫膨出量은 최소 35mils, 흡수 에너지는 50 ft-lb이상 이어야 하며 만약 2)가 만족되지 않을 경우에는 다시 3개의 샤르피 시험을 하며 그 결과 2)를 만족하는 온도 T_{cv} 를 결정한다. 이 경우 RT_{NDT} 는 T_{NDT} 와 ($T_{cv} - 60^{\circ}F$)중 큰 값을 취한다.

NB-2400은 용접 및 브레이징 재료에 관한 것으로, NB-2430은 용접금속의 시험 항목이다. 이 때 P-Number(재료번호) 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11의 재료의 접합시에 사용되는 용접재료에는 인장시험과 충격시험이 필요하다.

단, 오스테나이트계와 非鐵材料, 소모식 인서트材는 제외한다.

NB-2431.1은 “全熔着金屬의 인장시험과 이 시험 결과 모재의 규격치를 만족하여야 한다”고 규정하고 있다.

또 NB 2432.1은 화학 분석에 대한 요구 사항으로서 溶加材 및 용접 금속의 분석 대상 원소를 규정하고 있다.

즉 탄소강과 저합금강은 C, Si, Mn, P, S의 5대 원소와 Cr, Mo, Ni, V, Cu를, 크롬강과 크롬-니켈 스테인리스강은 5대 원소와 Cr, Mo, Ni, Mn, V, CbTa, Ti, Cu를, 니켈 및 니켈 합금강은 5대원소와 Cr, Mo, Ni, Mn, Cb+Ta, Cu, Fe, Co를 분석 대상 원소로 규정한다.

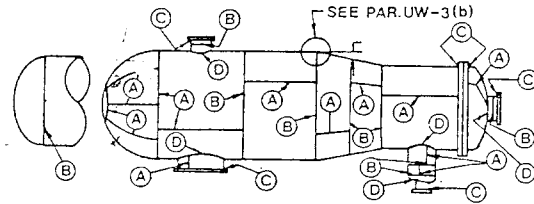
NB-2433에는 델타 페라이트량에 대한 기준으로 熔接時的 凝固龜裂을 방지하기 위하여 최저 5%로 규정하고 있으나, 클래드강은 예외이다.

3) NB-3000은 NB-3100(設計一般), NB-3200(解析에 의한 設計), NB-3300(壓力容器的 設計)으로 대별할 수 있다.

이 중 NB-3350은 용접구조물의 설계, NB-3351은 용접 이음부의 분류를 나타내며 한 예로 NB-3351-1에 분류된 압력 용기의 이음부를 그림 1에 나타낸다.

또 NB-3355에는 용접의 치수와 형상을 규정하며 완전 용입이 얻어져야 한다고 규정되어 있으며, NB-3356은 필렛 이음부에 대한 것으로 그림 1의 A, B, C 또는 D 이음부에 대해서는 필렛 용접할 수 없고, 容器에 attachment를 부착할 경우에만 필렛 용접할 수 있다고 규정되어 있다.

4) NB-4000은 工作(Fabrication & Installation Requirements)에 관한 것으로 NB-4100(工作一般), NB-4200(成形, fitting 및 aligning), NB-



- A joint : 길이 방향의 맞대기 이음
- B joint : 원주 방향의 맞대기 이음
- C joint : 돌출저부의 필렛 이음 또는 맞대기 이음
- D joint : 容器와 管子의 필렛 이음

그림 1. NB-3351-1에 分類되어 있는 이음의 전형적인 位置.

4300(熔接施工), NB-4400(熔接部의 marking, 檢査, 保守), NB-4500(브레이징), NB-4600(熱處理)으로 구성된다.

NB-4220은 성형시의 허용 오차에 관한 것으로 NB-4221.1에는 각 용기 직경의 최대편차가 $(D+50)/200$ 과 $D/100$ 중 작은 값 이하이어야 한다고 규정(D: 내경)되어 있다.

또 NB-4232은 alignment에 관한 요구 조건으로서 mismatch는 11/16 in 또는 1/32 in 또는 3/32 이하이어야 한다(그림 2 참조)고 규정하고 있다.

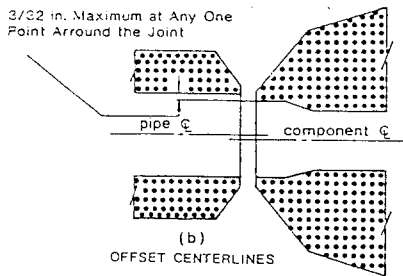
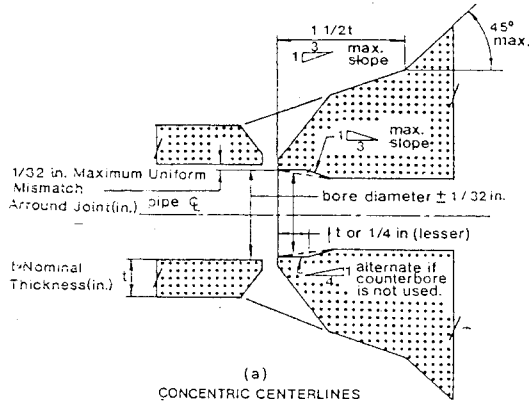
NB-4240은 용접이음에 대한 요구 조건으로서 NB-4241은 A이음 및 기타 부분의 이음에 있어서는 완전 용입이어야 하며, 또 양면 용접하거나 gas back up 또는 뒷담판(backing 재)을 사용하여 편면용접할 수 있다고 규정하고 있다.

또 NB-4242는 B이음에 대한 것으로 NB-4241에 따라 수행하며, C 이음에 관한 NB-4243은 완전 용입이어야 하며 맞대기 또는 그림 3에 나타낸 모서리 이음을 사용하여야 한다는 규정이다.

NB-4244는 압력용기중의 D 이음 및 기타 부분의 banch, piping 이음에 관한 것으로 완전 용입 또는 부분용입 이음을 사용하며 그림 4중의 하나를 채용한다.

노즐, 브랜취 및 파이프의 맞대기 이음부와 모서리 이음은 그림 4와 같이 완전 용입이어야 하며, 육성하는 용접 이음은 먼저 육성한 후 완전 용입하여 접합한다(그림 5참조).

또 노즐, 브랜취 및 파이프의 부분 용입 이음부는 NB-3000에 의하여 부분 용입이 허용될 때에만 부분 용입할 수 있다.



Note: The combined internal and external transition of thickness shall not exceed an included angle of 30° at any point within 1 1/2 t of the land.

그림 2. 맞대기 용접시의 눈틀림 허용도(NB-4233-1).

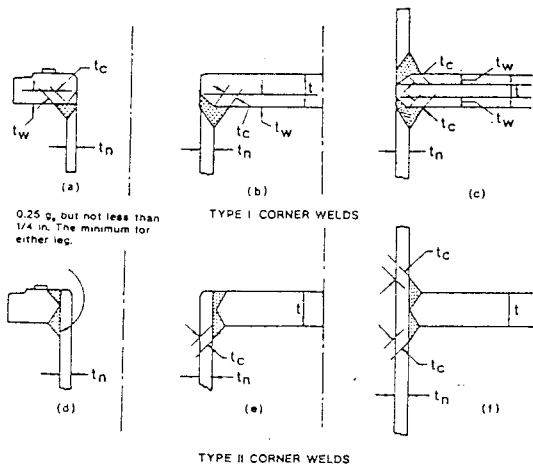


그림 3. C 이음에 대한 완전용입 모서리 이음의 예 (NB-4243-1).

NB-4300은 용접시공에 관한 규정으로 NB-4311은 허용 가능한 용접법으로 Section IX의 용접 시공 시험의 요구에 따라 비드를 형성할 수 있는 용접법이 耐壓

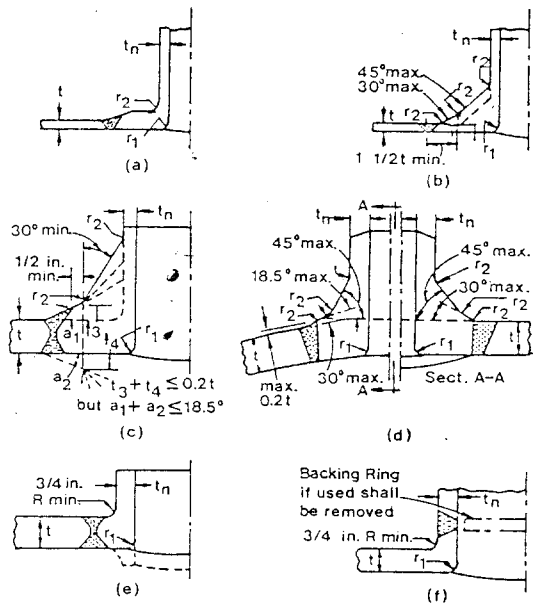


그림 4. 노즐, 브랜취 및 파이프의 맞대기 용접 이음부(NB-4244(a)-1).

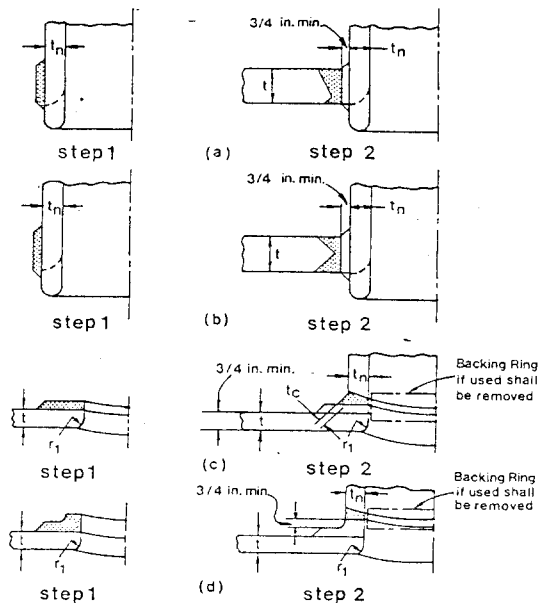


그림 5. 노즐, 브랜취 및 파이프 開口部 補強을 위하여 肉盛하는 용접 이음(NB-4244(C)-1).

材 및 attachment를 용접할 때 사용된다.

NB-4320은 용접 시공, 기록 및 확인용 스탬프에 관한 것으로 NB-4321에 의하면 제조자는 용접에 대하여 책임을 지게 되므로 용접 수순을 확립하고 시공

표 3. 熔接部の 後熱處理 條件(NB-4622, 1-1)

P-Number Table QW-420 Sect. IX	熱處理 溫度 範圍 (°F)	最小 維持 時間			
		0.5 in. 이하	0.5-2 in.	2-5 in.	5 in. 이상
1, 3	1100-1250	30분	1시간/in.	2시간+15분/in. (2in. 초과분)	2시간+15분/in. (2in. 초과분)
4	1100-1250	30분	1시간/in.	1시간/in. (2in. 초과분)	5시간+15분/in. (4in. 초과분)
5, 6	1250-1400	30분	1시간/in.	1시간/in.	5시간+15분/in. (5in. 초과분)
7	1300-1400	30분	1시간/in.	1시간/in.	5시간+15분/in. (5in. 초과분)
11 & 11A	1100-1250	30분	1시간/in.	1시간/in.	1시간/in.
8, 34, 42, 43, 45, 탄소함유량 0.30% 이 하인 모재에의 硬化 肉省	後熱處理 不必要				

법을 표준화하기 위하여 Section IX 및 여기서 요구되는 시험을 실시하여야 한다.

또 용접사 및 용접 작업자의 기능을 시험하여야 한다.

NB-4322, 1은 용접기사에게 요구되는 조건으로, NB-4122-1의 마킹법에 따라 용접 길이 3피트마다 제조자로부터 부여된 기호를 마킹하여야 하며 제조자는 이 기록을 보존하여야 한다.

NB-4610은 예열에 관한 규정으로 예열의 필요성과 예열온도는 각종의 인자를 고려하여 결정되며 이 예열 지침은 부록에 실리게 된다.

NB-4620은 후열처리에 관한 조항으로 NB-4622, 4(C) 및 NB-4622, 7에 의해 면제되는 경우 이외에는 모든 용접부는 규정된 최소 유지시간과 온도 범위 내에서 열처리하여야 하며, 그 熱履歷은 기록, 보존하여야 한다.

표 3의 온도에서의 후열처리가 실제적이 아닐 경우에는 표 4(Table NB-4622.4(c)-1, 2, 3)에 의해 저온

표 4. 後熱處理 溫度 및 時間에 대한 별도 규정(NB-4622, 4(c)-1)

材料의 P Number	後熱處理 溫度範圍(°F)	最小 維持 時間
1, 3	1050-1200	두께 1 in. 당 2시간
1, 3	1000-1150	두께 1 in. 당 3시간
1	950-1100	두께 1 in. 당 5시간
1	900-1050	두께 1 in. 당 10시간

에서 장시간 후열처리할 수 있다.

NB-4622, 5는 異種材의 후열처리 기준으로, 두 모재의 열처리 온도중 높은 온도로 열처리하여야 한다.

NB-4622, 7은 후열 처리를 생략할 수 있는 경우로서, 비철재료, NB-4622, 3-1에 의거 생략할 수 있는 용접부 및 표 3에서 규정되는 온도 범위 이상으로 가열되는 용접부가 그 대상이 된다.

또한 NB-4623은 후열 처리시의 가열 및 냉각 속도를 규정하며, 800°F 이상에서는 가열 및 냉각 속도를 400°F/시간 이하로 하여야 한다.

5) NB-5000에는 검사에 관한 항목으로, NB-5110에 비파괴 검사의 수준, 표준화 및 평가를 규정하며 비파괴 검사는 Section V의 검사법에 의해 수행되어야 하고, X선 검사는 Section V의 Article 2에 따라야 한다.

NB-5120은 용접부의 검사시기를 규정하며, 검사는 NB-5200 및 NB-5400에 규정된 경우 이외에는 i)-iii)에 규정된 시기로 한다.

i) 두께 6 in. 이상의 파이프, 펌프, 밸브 및 용기의 전 용접부에 X선 검사가 요구될 때 중간 소둔이나 최종 소둔 종료후에 검사를 실시한다. 그러나 두께 6 in. 이하일 경우에는 후열처리하기 전에 검사한다.

ii) 磁粉探傷이나 염료 체크는 후열처리 후에 실시하지만 P-number인 것은 열처리 전, 후 어느 때라도 좋다.

iii) 모든 異種材 이음은 최종 소둔후에 검사한다.

표 5. 보일러 및 壓力容器的 監督局 및 基準

構造物	主要 監督局	規格 및 基準
一般産業用 보일러 (陸上用)	勞動省 勞動基準局	1. 보일러의 構造 規格 2. 壓力容器的 構造 規格
發電用 보일러	通産省 公益事業部	發電用 보일러 技術 基準
舶用 보일러	運輸省 船舶局	1. 船舶安全法 船舶機關 規定
原子力機器	通産省 民間規定	1. 發電用 原子力 設備에 관한 技術 기준 2. 發電用 原子力 設備에 관한 구조동의 技術 기준 3. 電氣工作物의 용접에 관한 技術 기준(이들 기준은 ASME Code Section III 및 VIII-2, XI에 기초하고 있다.) 일본 전기협회의 火力發電原子力編 技術規定 및 技術 指針(JAC-4206)
일부의 기기	通産省 工業技術院	1. JISB 8243 壓力容器的 構造 規格 2. ISO-TC XI (pressure vessel)
高壓가스 貯藏槽	高壓가스 保安協會 (자체 기준)	고압가스의 球形貯藏槽에 관한 기준
기타의 壓力容器		1. JIS B 8240 2. ASME Code Section VIII-1, VII-2등

3.2. 日本의 보일러 및 各種 壓力容器에 관한 規格과 基準

일본의 각종 압력 용기의 주요 규격과 기준 및 감독 국을 표 5에 나타낸다. 이들 원자력 압력용기의 용접에 관하여 규제하고 있는 주된 기준은 “電氣 工作物의 熔接에 관한 技術 基準”이다.

3.3. 電氣工作物의 熔接에 관한 技術基準을 정하는 省令

이 규정은 3장 64조로, 제1장 총칙, 제2장 발전용 화력 기기, 제3장 발전용 원자력 기기 및 부칙으로 이루어져 있다.

이 중 주요한 것을 살펴보면, 제3조는 재료의 탄소 함유량에 대한 기준으로 탄소 함유량 0.35% 이상의 모재는 용접할 수 없다고 규정되어 있다.

또 제4조에서는 용접부의 강도는 모재와 동등 이상의 강도를 가져야 하며, 용접부는 용입이 충분하고 균열, 언더컷, 오버랩, 크래터, 슬래그, 기공등이 존재하면 안된다고 규정하고 있다.

제26조는 판의 눈틀림에 대한 규정으로, 맞대기 용접에 의한 눈틀림은 표 6의 값 이하이어야 한다.

표 6. 각종 용접 이음부의 눈틀림 허용량

이음의 종류	판의 두께(mm)	눈틀림 값(mm)
平板 熔接	20 이하	1
	20-60	두께의 5 %
	60 이상	3
圓周 熔接	15 이하	1.5
	15-60	두께의 10 %
	60 이상	6

제28조는 응력 제거 열처리에 대한 규정으로, 압력 용기, 가압기, 증기발생기의 경우에는 후열처리하여야 한다. 단 탄소강으로서 두께 19mm 이하인 판의 원주 용접부, 용기의 耐壓部에 非耐壓部를 용접할 때 목 두께가 13mm 이하인 필렛 이음부, 저합금강의 두께 13mm 이하인 판의 원주 용접부, 오스테나이트계 스테인리스강 및 페라이트계 스테인리스강이더라도 오스테나이트계 용착금속을 사용할 경우에는 응력제거 열처리는 생략한다.

열처리 방법은 i) 전체를 爐에 장입하거나 2분하여 장입할 것, ii) 爐內에 넣을 경우와 꺼집어 낼 때 爐의 온도가 300°C 이하일 것, iii) 300°C 이상에서의 가열속도와 냉각속도는 각각 220×25/T, 275×25/T 이하일 것(T: 두께), iv) 650°C 이상에서는 페라이트

계 스테인리스강을 냉각할 경우 1시간당의 온도차가 55°C 이하일 것, v) 被加熱物의 표면상의 온도차가 140°C/4500mm 이하일 것, vi) 용접부는 별도로 정한 모재의 종류에 따른 온도 이상으로 두께 25mm당 1시간으로 계산한 시간 이상 유지할 것 등이다.

이 밖에도 여러 가지 규정이 있지만 일반적인 사항이므로 생략한다.

4. 맺음말

원자력 발전설비에 사용되는 압력용기가 설계 및 제작 불량, 운전 부주의 또는 재료의 劣化등의 원인에 의하여 파괴된다면 그 피해는 막심할 것이다.

최근의 조사 결과에 의하면 1990년 한해 동안 미국 내에서 가동중인 111기의 상업용 원자로에서 NRC에 보고하게 되어 있는 안전 관련 사고가 1921건이나 발

생하였다고 한다. 특히 이 사고중 177건은 즉각 원자로를 폐쇄하여야하는 경우에 해당하는 사고이었으며, 894건은 연방 안전 규정 위반, 404건은 안전 장치 이상이었다고 한다.

체르노빌 원자력 발전소의 대형 사고 이래 세계 각지에서 각종 사고가 빈발하고 있다. 이러한 사고의 발생을 미연에 방지하기 위해서는 안전 진단의 철저는 물론이고 철저한 시공법이 뒷받침되어야 할 것이다.

압력용기의 설계 및 제작시에는 어느 경우나 마찬가지로 많은 인자가 고려되어야 하지만 본고에서는 주로 미국과 일본의 원자력 발전에 관한 주요 지침중에서 용접에 관련되는 부분을 간단히 언급하였다.

작금 빈발하는 원자력 압력용기의 사고에 대한 반성과 개선책을 논의하기에 앞서 현재의 주요 기준에 대한 해설이 거의 없기 때문에 조금이나마 이 분야의 이해에 도움이 되었으면 한다.