

초음파검사시 ASME와 RCC-M CODE에 따른 결함 크기측정 및 허용기준 비교평가

김병철*·임형택*·이종포*·주영상*

The Comparison of Acceptance Criteria and Flaw Size Measurement between ASME and RCC-M Code in Ultrasonic Examination

B.C.KIM, H.T.LIM, J.P.LEE, Y.S.JOO

Abstract The comparison and analysis of flaw detectability, flaw sizing methods and allowable criteria in accordance with the applicable codes, ASME and RCC-M Code, in ultrasonic examination of pressure vessel in nuclear power plants were studied. According to the codes, calibration blocks were made. The artificial flaws such as disc and band types in test specimens were machined. They were detected and evaluated with each code requirements and measured values were compared with the actual flaws.

1. 序 論

原子力發電所의 안전성 문제는 무엇보다도 중요한 사항으로써 原電의 주요 압력용기 및 배관 용접부에 대하여 부품의 제작단계에서 부터 原電의 건설시와 가동중에 그 건전성을 확인코자 규정된 規格에 의거 原電에 대한 가동전·중검사(Preservice and Inservice Inspection)를 수행하여 품질을 보증하고 있다.⁽¹⁾ 국내에 건설 또는 운전중인 原電은 월성 원자력의 중수로형을 제외하고 모두 가압경수로형 발전방식을 채택하고 있으며 이들의 모델은 미국, 캐나다 및 프랑스로부터 설계 및 제작 공급됨으로써 제조국가에 따라서 설계구조, 운전특성 등

이 약간 상이하고 原電의 가동전·중검사에 대한 適用規格이 상이하게 규정하고 있다. 따라서 本研究에서는 국내 原電의 압력용기에 대한 제작 검사 및 가동전·중검사에 적용하는 미국의 ASME Code (2, 3, 4)와 프랑스의 RCC-M Code (5)에 대하여 각 相關規格의 제반 요구조건들을 비파괴검사 측면에서 검토하고 原電의 핵증기 공급계통(NSSS)의 압력용기(RPV, S/G, PRZ)에 대한 超音波검사시 각 規格에서 규정하고 있는 缺陷의 크기測定방법과 검출된 缺陷의 合否 판정에 대한 허용기준을 比較 評價함으로써 실제 原電의 압력용기 超音波검사에 미치는 영향을 조사 하였다.

* 한국에너지연구소 비파괴시험연구실

2. ASME CODE와 RCC-M CODE의 요구 사항

2-1, 超音波보정 시험편

구 분	ASME	RCC-M
관련규격	<ul style="list-style-type: none"> Section V. Article 4, 5 Section IX. App. III 	<ul style="list-style-type: none"> Section III. MC2134. 1, MC 2134. 2
재료의 선택	<ul style="list-style-type: none"> 실제부품의 Nozzle drop out 실제부품의 연장부분 同一재질 사양서, 제조형태 및 同一열처리 	ASME와 同一
시험편 형상	<ul style="list-style-type: none"> 검사체곡률지름 > 20%: 同一곡률 or 평평한 형상 검사체곡률지름 < 20%: 검사체곡률의 0.9-1.5배 	<ul style="list-style-type: none"> 검사체와 同一 곡률 지름 or 25%이내의 곡률지름
인공 결함	<ul style="list-style-type: none"> Hole의 종류 Side drilled holes, Notch. Hole크기: 검사체의 두께에 따라 상이함. 	<ul style="list-style-type: none"> Hole의 종류 Side drilled holes, Flat bottomed holes, Notch. Hole크기: ϕ 2mm

2-2, 缺陷크기 測定方法

구 분	ASME	RCC-M
측정방법	Amplitude Drop Method (50% DAC or 6 dB)	Amplitude Drop Method (6 dB)
결함 길이	<ul style="list-style-type: none"> 50% DAC $L=L_1 - L_2$ (50% DAC까지의 탐촉자 이동거리) 	<ul style="list-style-type: none"> 6 dB Drop (Max. Amplitude로부터 1/2 Max. Amplitude까지의 탐촉자 이동거리)

결함 높이	<ul style="list-style-type: none"> 결함의 반사신호: 100% DAC미만: 50% DAC 100% DAC이상: 1/2 Max $2d = (MP2 - MP1) \times \cos Q$ 2d: 결함의 높이 MP1: 결함상단부까지 거리 MP2: 결함 하단부까지 거리 θ: 탐촉자 굴절각 	<ul style="list-style-type: none"> 결함의 높이는 무시, 결함의 신호크기를 측정
-------	--	--

2-3, Acceptance Criteria

구 분	ASME	RCC-M
결함의 특성 구분	<ul style="list-style-type: none"> Section XI. IWA 3 000. - Surface flaw 0.4d/s, a=2d+s - Subsurface flaw 0.4d/s, a=d 	<ul style="list-style-type: none"> Section III. MC 2637 - Volumetric flaw Slag inclusion Porosity Non-volumetric flaw Crack Lack of fusion
허용기준 비교평가	<ul style="list-style-type: none"> Section III. NB5300 Section XI. IWB3000 결함높이: a 결함길이: l 검사체두께: t - a/l, a/t (%) 비교 	<ul style="list-style-type: none"> Section IV. S7714 결함길이: l 결함신호크기: %DAC - 1, % DAC 비교

2-4, 超音波탐촉자

구 분	ASME	RCC-M
주 파 수	<ul style="list-style-type: none"> 1MHz - 5 MHz Nominal: 2.25MHz 	<ul style="list-style-type: none"> 횡파: 2 - 5 MHz 종파: 1 - 6 MHz
검 사 각	<ul style="list-style-type: none"> 45 and/or 60 Deg. 	<ul style="list-style-type: none"> 35 - 70 Deg.
탐촉자 크기	<ul style="list-style-type: none"> 특별한 규정없음. 	<ul style="list-style-type: none"> 10 - 30mm 탐촉자의 폭과 길이 비: 1.2이하 일것.

3. 實驗

3-1. 試驗片 및 實驗方法

本 研究에 사용한 시험편의 材料는 原電 압력 용기용 재료인 SA533, Gr-B와 기계적 성질과 화학적 조성이 비슷한 SCM-4 鋼을 이용하여 ASME Sec. V, Art.4 및 RCC-M Sec. III MC-2134. 1,2의 요구사항에 의거 Calibration block을 제작하였으며(Fig. 1) 시험편에는 ASME Code Sec. XI- IWB 3511-1의 허용기준치를 초과 또는 미만인 缺陷과 허용기준치의 合否 영역 부근의 크기를 갖는 人工 缺陷들을 검사표면으로부터 50도의 기울기를 갖도록 3/4t 깊이에 EDM 또는 End mill로 가공(Fig. 2) 한 후 Sonic Mark- I 초음파장비에 서로 다른 크기(1/2"

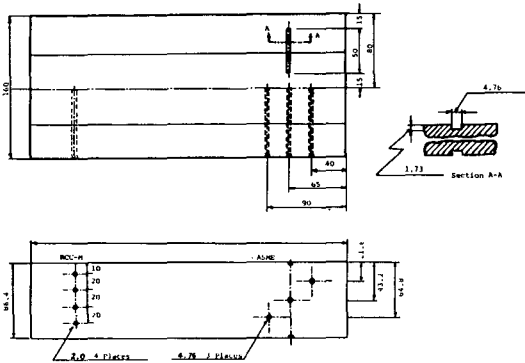


Fig.1. Calibration block

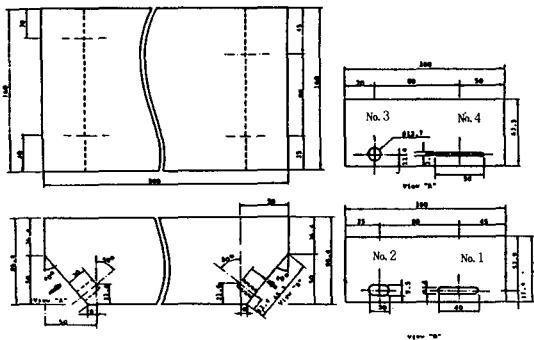


Fig.2. Test specimen (I)

R, 1/2"×1", 1"R) 의 탐촉자와 주파수(2.25

MHz, 3.5MHz, 5.0MHz) 및 굴절각(45도, 60도)을 각각 사용하여 각 規格의 요구조건에 의거 缺陷의 반사신호 크기, 缺陷길이 및 높이를 測定하였다.

4. 實驗結果 및 考察

4-1. 缺陷 신호크기 및 檢출능력

공칭 벽두께가 2"이상의 압력용기(RPV, S/G PRZ) Ferritic material에 대한 超音波 檢査시 사용하는 Calibration block의 Side drilled hole의 크기 차이로 DAC작성시 RCC-M에 따른 檢査 기준감도가 약 5 dB 높게 설정되어 실제 缺陷으로부터 반사신호 크기 역시 5 dB정도 높게 측정 되었다.

시험편에 가공된 人工 缺陷들에 대해 檢査를 수행한 결과 Calibration block의 Side drilled hole 크기보다 작은 缺陷은 Recording level 인 50% DAC미만으로 나타나게 되어 缺陷으로 檢출되지 못하였다. (Fig. 4) 이는 超音波의 指向특성에 따른 Off-angle(굴절각과 缺陷의 방향성 및 기울기의 차이)의 영향(Fig. 5)으로 缺陷으로부터 반사신호 크기가 감소되기 때문이며 (6,7) 실제 超音波 檢査시 이러한 영향들을 고려해볼때 檢査의 기준감도가 높게 설정되는 RCC M Code에 따른 檢査조건이 보다 작은 缺陷을 檢출하는데 유용하였다.

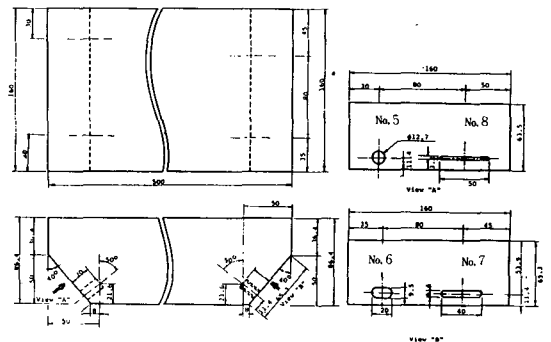


Fig.3. Test specimen (II)

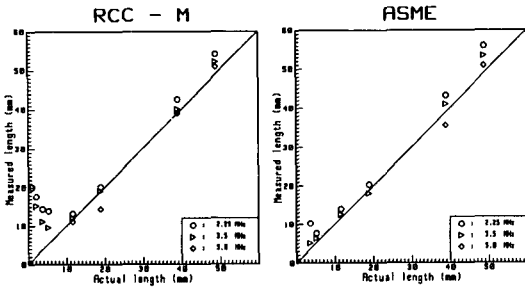


Fig. 4. Comparison of Flaw Detectability to Frequency (Transducer : 1/2"R, 45°)

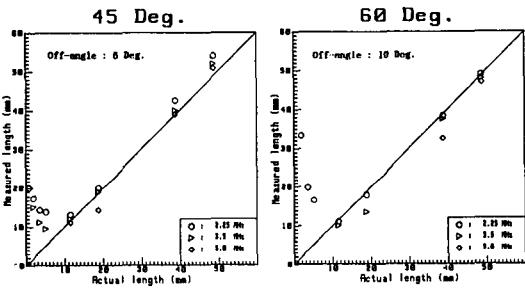


Fig. 5. Effect of "Off Angle" with Refracted Angle and Frequency (Transducer: 1/2"R, Applicable Code:RCC-M)

4-2. 缺陷크기 측정치 比較

缺陷의 길이를 50% DAC를 기준으로 측정하는 ASME Code와 缺陷으로부터의 Max. Amplitude에 대한 1/2 Max. Amplitude 까지를 기준으로 하는 RCC-M Code의 측정치를 실제크기와 比較한 결과 ASME와 RCC-M Code에 따른 측정치는 서로 비슷하게 나타났으나(Fig. 6) 測定기준을 고려해 볼때 ASME에 따라 측정된 缺陷의 반사신호 크기가 100% DAC 미만에서는 RCC-M Code에 따른 측정치가, 100%DAC 이상에서는 ASME Code에 따른 缺陷길이 측정치가 크게 나타났다.

사용탐촉자의 형태 및 크기에 따른 측정치 比較은 Round type (1/2"R, 1"R)의 탐촉자는 측정

치가 서로 비슷하나 Rectangular type (1/2"×1")의 탐촉자를 사용하였을 경우 Round type보다 크게 測定되었다. (Fig. 7)

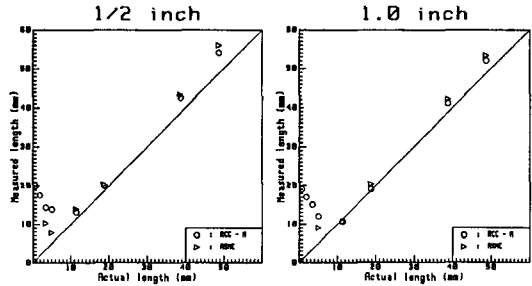


Fig. 6. Comparison of Measured Side to Actual Side per Applicable Codes (2.25MHz, Refracted Angle 45°)

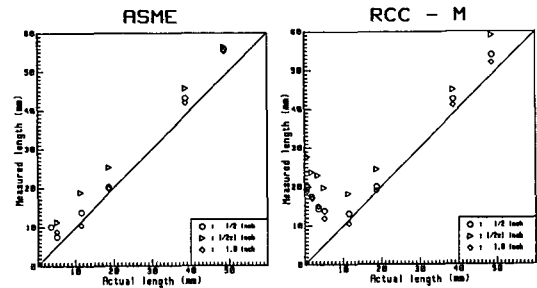


Fig. 7. Comparison of Measured Size to Actual Size for Different Transducer Size. (2.25MHz, Refracted 45°)

4-3. 허용기준에 따른 缺陷의 크기 合否評價

검출된 缺陷에 대한 合否評價 결과 실제 缺陷의 크기가 ASME Code의 허용기준치를 훨씬 초과하거나 미달하는 缺陷은 그 측정치에 대한 合否評價 결과가 ASME와 RCC-M Code에서 동일한 결과로 나타났으나 合否영역 부근의 缺陷(Flaw No. 5, 8)은 탐촉자의 주파수와 크기, 검사 굴절각등에 따라 Code allowable or Rejec-

table로 평가 되었다. 즉 낮은주파수의 탐촉자 사용시 Code rejectable로 판명된 缺陷이 주파수의 증가에 따라 Code allowable한 缺陷으로 평가될 수 있으므로 실제 검사시 높은 주파수의 탐촉자 사용에는 신중을 기하여야 한다.

또한 이러한 缺陷의 경우 ASME Code 에서 allowable한 缺陷이 RCC-M Code의 적용에 따라 rejectable로 나타났다. 이는 同一한 검사조건에서 RCC-M Code가 ASME Code보다 缺陷에 대한 허용기준치가 더 Conservative 하다는 것을 의미한다. (Fig. 7, 8)

따라서 原電 사용부품의 제작검사 및 가동전검사시 검출된 缺陷들에 대한 허용기준은 原電의 안전성 측면에서 보다 엄격하게 설정토록하여 운전중에 야기될 수 있는 문제점들을 사전에 예방하는것이 바람직하다.

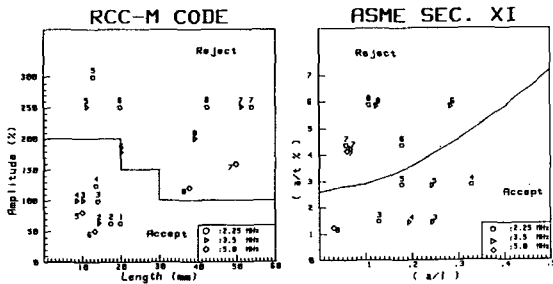


Fig. 8. Acceptability of Flaws to Applicable Codes. (Transducer Size 1/2"R, Refracted Angle 45°)

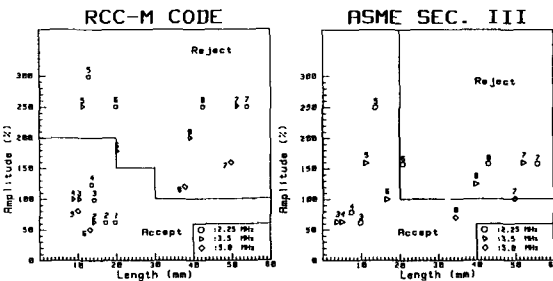


Fig. 9. Acceptability of Flaws to the Applicable Codes. (Transducer Size 1/2" R, Refracted Angle 45°)

5. 結 論

1. 原電의 압력용기에 대한 超音波검사시 RCC-M Code에 따른 검사조건이 ASME Code에 비해 보다 작은 缺陷의 검출이 용이하였다.

2. 缺陷길이 측정값은 同一한 검사조건에서 ASME Code에 따른 반사신호 크기가 100% DAC 미만에서는 RCC-M Code가 100% DAC 이상에서는 ASME Code가 크게 測定되었다.

3. 실제 缺陷의 크기가 ASME Code의 허용영역 부근인 缺陷들은 ASME Sec. III 및 XI 보다 RCC-M Sec. IV의 허용기준이 더 Conservative 하였다.

참 고 문 헌

1. "Code of Federal Regulations, 10 part 50.55" The National Archives of the United States, Washington, 1981.
2. "Rules for Construction of Nuclear Power Plant Component" Sec. III of ASME Boiler and Pressure Vessel Code, the American Society of Mechanical Engineers, New York(83)
3. "Nondestructive Examination" Sec. V of ASME Boiler and Pressure Vessel Code, the American Society of Mechanical Engineers, New York, (83)
4. "Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Component" Sec. XI of ASME Boiler and Pressure Vessel Code, the American Society of Mechanical Engineers, New York(83)
5. "Design and Construction Rules for Mechanical Components of PWR Nuclear Islands" RCC-M Section I-V, French Society for Design and Construction Rules for Nuclear Island Components, Paris, Jan. 1981

6. S. Serabian "Ultrasonic Probability of Detection of Subsurface Flaws" Material Evaluation 40 pp 294. 1982
7. S. Serabian "Assessment of Detection Ability of Angle Beam Interrogation" Material Evaluation 39, pp 1243. 1981