MD-portal Materials Database: Effective Materials Property Information Management in Nuclear Energy Systems

Gyeong-Geun Lee^{*}, Soyeon Kil, Junhyun Kwon Nuclear Materials Division, Korea Atomic Energy Research Institute, 111, Daedeok-daero 989beon-gil, Yuseong-gu, Daejeon, 305-353, Korea ^{*}Corresponding author: gglee@kaeri.re.kr

1. Introduction

Nuclear structural materials are one of the important factors in manufacturing the components of nuclear power plants (NPP). The collective properties of the nuclear materials are defined as standard industrial codes such as ASME codes. While in service, the materials are aged and degraded, and the initial properties are changed according to the operating environments. These changes are a matter of substantial concern of the operators, regulators, and researchers in nuclear fields. Hence, the material property database considering the degradation is required, and the successful management and use of material property information must be responsive to the continuing changes and increasing complexity in nuclear engineering materials.

Recently, the nuclear materials division in the Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI) launched a comprehensive portal website for nuclear material information, which is known as the MD-portal. The MD-portal contains various technical documents on the degradation and development of nuclear materials. Additionally, the nuclear materials database (MatDB) is incorporated in it. The MatDB covers the mechanical properties of various nuclear structural materials used as the components: a reactor pressure vessel, steam generator, and primary and secondary piping. In this study, we introduced the MD-portal MatDB briefly, and showed an application of the MatDB to the real case of material degradations in NPPs.

2. An Example Application

In this section, we focused on the relationship between the mechanical properties of the reactor pressure vessel materials, which were degraded by the neutron irradiation.

2.1 Database

The Charpy impact test data and tensile data from surveillance test reports of Korean LWRs are input into the MatDB system. Fig. 1 shows a screenshot of the MatDB displaying a navigation tree and a property tab, which are containing the material information of the selected heat/batch of the RPV material. The data were organized according to "pedigree" (equal to the heat/batch of the metals) information to ensure the traceability. Fig. 2 shows collective Charpy properties of the Kori-1 unit base metals [1-3].

Ferrous Metal	Material	Pedigree	Tensile	Charpy	Detail	s		
	Name		ASME SA508 Grade 2					
	Material no		1					
	Other names		ASTM A508, Low Alloy Steel					
			일반정보					
			ASTM 규칙의 ASOS 제료를 ASME code에서 체택하면서 S자를 추가로 붙여 SASOG로 영향한 제공입니다. 정확한 ASME SASOS 제료규칙의 영향은, "Quenched and Tempered Vacuum-Treated Carbon and Alloy Skel Forgings for Pressure Vessel (입력용기용 변형 정보당한 진공처리 탄소광 및 입경관 단중함," 입니다.					
	Description		SAS08은 조설에 따라서 grade가 달리지고 가게적 특성에 따라서 data가 나뉘 게 됩니다. SAS08은 약 10가지의 grade를 가지고 있으며, 이용 압력용가감으로 날리 사용되는 제품는 과가에는 SAS08 Grade 2, 친제는 SAS08 Grade 2입니 다. 각 Grade IDT: 요구 조성 및 열취리 조건이 조금에 다릅니다. 각 grade 별 조 성과 열취진 조건은 ASTN AS08만 활성조입시고.					
			SA508 Grade 2 Class 1은 과거해 SA508 Class 2로 영향되었던 재료입니다. 한국해서는 고리 1호가의 압력하기 제료로 사용되었습니다. 항고자료 • 홍준화, 정자택제품, 한스하루스, 2012 • 45TM A508/4508M - 05					
			5A508 한국에/ 참고지	Grade 2 Cla 북는 고리 1호 로 홍준화, 원자태 ASTM, A508	ss 1은 과7 기의 압력용 4재료, 한스 /A508M - 0	(에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하무스, 2012 15	s 2로 명당 였습니다.	행되었던 재료입니다.
			SA508 한국에/ 참고지	Grade 2 Cla 북는 고리 1호 로 홍준화, 원자태 ASTM, A508	ss 1은 과7 기의 압력용: 4재료, 한스 /A508M - C	(에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하무스, 2012 15	s 2로 명당 였습니다.	행되었던 재료입니다.
	Material	info	SA508 한국에/ 참고지 	Grade 2 Cla 북는 고리 1호 로 홍준화, 원자태 ASTM, A508 Jard spec /	ss 1은 과7 기의 압력용: 4재료, 한스 /A508M - 0 .STM A508	(에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하우스, 2012 15 I/A508M-05b (s 2로 명당 였습니다. 2010)	행되었던 채료입니다.
	Material	info	SA508 한국에/ 참고지 · · · ·	Grade 2 Cla 북는 고리 1호 로 홍준화, 원자년 ASTM, A508 lard spec / +	ss 1은 과7 기의 압력용: 4재료, 한스 (A508M - 0 (STM A508 (12042	I에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하무스, 2012 IS I/A508M-05b (s 2로 명당 였습니다. 2010)	정되었던 재료입니다.
	Material	info	SA508 한국에/ 참고지 · · · · · · ·	Grade 2 Cla	ss 1은 과7 기의 압력용 4재료, 한스 (A508M - C (STM A508 (12042) Mr	(에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하무스, 2012 (/ 5 (/A508M-05b (0.50-1.00 0.40 m2)	s 2로 명당 였습니다. 2010) P	8되었던 채료입니다. 0.025 max 0.50 1 00
	Material	info	SA508 한국에/ 참고지 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Grade 2 Cla 북는 고리 1호 로 홍준화, 원자터 ASTM, A508 iard spec 4 0.27 max 0.25 max	ss 1은 과7 기의 압력용 제제료, 한스 (A508M - C (STM A508 (12042	(에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하무스, 2012 (5 (A508M-05b (0.50-1.00 0.40 max 0.55.70	s 2로 명당 었습니다. 2010) P Ni	8되었던 재료입니다. 0.025 max 0.50-1.00 0.05 max
	Material Chemicz	info	SA508 한국어 / 참고지 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Grade 2 Cla 북는 고리 1호 홍준화, 원자부 ASTM, A508 Iard spec / 0.27 max 0.25 max 0.25 max 0.01 max	ss 1은 과7 기의 압력용 (MLE, 한스 (A508M - C) (STM A508 (12042 Mr Si Mc	(에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하우스, 2012 (A508M-05b (0.50-1.00 0.40 max 0.55-0.70 0.20 max	s 2로 명5 였습니다. 2010) P Ni V	0.025 max 0.50-1.00 0.05 max 0.015 max
	Material Chemicz	info al requirement	SA508 한국어 / 참고지 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Grade 2 Cla 낮는 고리 1호 로 홍준화, 원자부 ASTM, A508 ard spec 2 0.27 max 0.255 max 0.25 max 0.01 max 0.003 max	ss 1은 과7 기의 압력용 (제료, 한스 (A508M - C (12042 Mr Si Mc Cu Ti	(에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하우스, 2012 5 (A508M-05b (0.50-1.00 0.40 max 0.55-0.70 0.20 max 0.015 max	s 2로 명5 였습니다. 2010) P Ni V Ca	0.025 max 0.50-1.00 0.05 max 0.05 max 0.015 max
	Material Chemicz	info al requirement	SA508 한국어 3 고지 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Grade 2 Cla 북는 고리 1호 로 홍준화, 원자부, A508 lard spec 0.27 max 0.025 max 0.025 max 0.025 max 0.01 max 0.003 max wt%	ss 1은 과7 기의 압력용: 4재료, 한스 (A508M - C (STM A508 (12042 (12042 SI (12042 SI (12042 SI (12042 SI (12042 SI (12042 SI (12042)	(에 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하루스, 2012 (5 (A508M-05b (0.40 max 0.55-0.70 0.20 max 0.015 max	s 2로 명5 였습니다. 2010) P Ni V Ca Al	0.025 max 0.50-1.00 0.05 max 0.015 max 0.025 max
	Material Chemicz	info Il requirement	SA508 한국어/ 참고지 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Grade 2 Cla 북는 고리 1호 로 활준화, 원자부, ASTM, A508 and spec 1 0.27 max 0.25 max 0.25 max 0.25 max 0.25 max 0.01 max 0.01 max 0.01 max	ss 1은 과7 기의 압력용: 4재료, 한스 (A508M - 0 (STM A508 (12042 (12042 Mr Si Si Cu Ti	(에 SAS08 Clas) 개료로 사용되 하우스, 2012)5 (AS08M-05b (0.55-1.00 0.40 max 0.55-0.70 0.20 max 0.015 max	s 2로 명5 있습니다. 2010) P Ni V Ca Al	0.025 max 0.50-1.00 0.015 max 0.015 max 0.025 max
	Material Chemicz	info al requirement	SA508 한국어가 Stand UNS C S Cr Nb B UNIT	Grade 2 Cla 생는 고리 1호 로 홍준화, 원자부 ASTM, A508 Iard spec 2 0.25 max 0.25 max 0.025 max 0.025 max 0.025 max 0.03 max 0.03 max wt%	ss 1은 과7 기의 압력용 4지급, 한스 (A508M - 0 (STM A508 (12042 Mr SI SI SI Cus Cus	(에 SA508 Clas) 재료로 사용되 하루스, 2012 5 (AS08M-05b (0.50-1.00 0.40 max 0.55-0.70 0.20 max 0.015 max s 1	s 2로 명5 있습니다. 2010) P Ni V Ca Al	0.025 max 0.50-1.00 0.05 max 0.05 max 0.025 max 0.025 max 9.025 max
	Material Chemicz	info al requirement	SA508 한국어가 Stand UNS C S Cr Nb B UNIT Tensi Tensi	Grade 2 Cle 석는 고리 1호 로 활준화, 원자부 ASTM, A508 dard spec / 0.27 max 0.25 max 0.25 max 0.25 max 0.025 max 0.01 max wt% le test le strength	ss 1은 과7 기의 압력용 4 Ala, 한스 (A508M - C (12042 (12042 (12042 (12042) (12	(예 SA508 Clas 기 재료로 사용되 하루스, 2012 (A508M-05b (0.50-1.00 0.40 max 0.55-0.70 0.20 max 0.015 max s 1 -725 MPa	s 2로 명5 었습니다. 2010) P Ni V Ca Al Cla 620	0.025 max 0.50-1.00 0.05 max 0.05 max 0.015 max 0.025 max 0.025 max
	Material Chemicz	info al requirement	SA508 한국에 / Stand UNS C Stand UNS C C S C C Nb B UNIT Tensi Yield	Grade 2 Cle 석는 고리 1호 로 활준화, 원자사 ASTM, A508 dard spec / b 0.27 max 0.25 0.45 0.01 max 0.003 max wt% le test le strength strength, r	ss 1은 과7 기익 압력용 (A508M - 0 (A508M - 0 (A508	(에 SA508 Clas) 재료로 사용되 하루스, 2012 (5 (A508M-05b (0.50-1.00 0.40 max 0.55-0.70 0.20 max 0.015 max s 1 (725 MPa MPa, min	2010) 2010) P Ni V Ca Al Cla 620 450	0.025 max 0.50-1.00 0.025 max 0.50-1.00 0.05 max 0.015 max 0.025

Fig. 1. Navigation tree and property tab of MD-portal MatDB. The basic material information is shown.

DZII호기 weld	1					
🔲 🗋 고리1호기 HAZ	No	Name	T ₄₁₃ (°C)	Δ1 ₄₁₃ (°C)	USE (J) 🔅	AUSE (J)
🔲 🗋 ASME SA533 Type B	1	고리1호기 base (LT) 조사전 충격특성	-37.5	0	231.8	0
ASME SA508 Grade 3	2	고리1호기 base (TL) 조사전 출격특성	-59.1	0	225.6	0
Ceramic	5	끄리1호기 base (LT) 1차 감시시험 출격특성	-42.7	-5.2	211	-20.8
	6	고리1호기 base (TL) 1차 감시시험 출격특성	-41.7	17.4	167.2	-58.4
	9	고리1호기 base (LT) 2차 감시시험 출격특성	-43.6	-6.1	206.3	-25.5
	10	고리1호기 base (TL) 2차 감시시험 충격특성	-35	24.1	197.7	-27.9
	13	고리1호기 base (LT) 3차 감시시험 축격특성	-35,8	1.7	221.9	-9.9
	14	고리1호기 base (TL) 3차 감시시험 충격특성	-27.3	31.8	227.9	2.3
	17	고리1호기 base (LT) 4차 감시시험 충격특성	-30.4	7.1	211.8	-20
	18	고리1호기 base (TL) 4차 감시시험 총객특성	-9.6	49,5	188	-37.6
	21	고리1호기 base (LT) 5차 감시시험 총격특성	-24.2	13.3	202.5	-29.3
	22	고리1호기 base (TL) 5차 감시시험 총객특성	-6.7	52.4	189.8	-35.8
	-	Search				
		2 (5 (5 (5) (8)))				
	Shov	ring 1 to 12 of 12 entries			Previou	is Next 🕽

Fig. 2. Charpy impact test results of the Kori-1 unit base metals.

2.2 TTS vs. yield strength change

Fig. 3 shows the Δ YS with neutron fluence for the base metals and weld metals retrieved from MatDB. In the case of the base metals, Δ YS increase with neutron irradiation was clear. Some samples show a decrease in yield strength in a low neutron fluence region; however, it is believed to be a deviation of the test samples. In

contrast, the weld data do not show a clear correlation between the neutron fluence and ΔYS . The variety of preparation process conditions seems to have caused a significant deviation in the weld data.



Fig. 3. Changes in yield strength of the base metal and weld metal of Korean surveillance data with neutron irradiation

Fig. 4 shows the relation plot between the Δ YS and TTS in the weld metals of the LWR data in Korea. As shown in figure, the points with large Δ YS over 100 MPa are originated from Kori-1 unit, which had a higher Δ YS and TTS because of the higher Cu content of about 0.22 wt% in Linde 80. We determined the proportional coefficients from the Δ YS for the data, which were 0.58, and it was rather higher than the proportional coefficient of the base metals of the same pedigrees, 0.49.



Fig. 4. Plots of Δ YS versus TTS: weld metal. Kori-1 data points are included (TTS > 100°C).

3. Summary

The data from MatDB were successfully applied to estimate the relevance of the Charpy-V notch impact test results and tensile strengths of Korean RPV steels in surveillance tests. The yield strength change caused by irradiation showed a rough linear relationship with the transition temperature shift change, and the proportional coefficient was determined. The MatDB includes the tensile and Charpy data at present, and the data and other properties such as fatigue, creep, fracture toughness, and SCC degradations are going to be added consistently. Such development will have a significant impact on the progress of nuclear materials and system engineering because of its usefulness of easy access.

REFERENCES

[1] IAEA, "Integrity of Reactor Pressure Vessels in Nuclear Power Plants: Assessment of Irradiation Embrittlement Effects in Reactor Pressure Vessel Steels," IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.11, International Atomic Energy Agency (2009).

[2] KAERI, "Final report for the 5th surveillance test of the reactor pressure vessel material of Kori nuclear power plant unit 1", KAERI/CR-93/20002000.

[3] J. Kwon, G.-G. Lee, and C. Shin, "Multiscale Modeling of Radiation Effects on Materials: Pressure Vessel Embrittlement," Nucl. Eng. Technol., vol. 41, pp.1-20, (2009).