

철강산업에 피스바우어 분광기법의 응용

오세진*

충북 청원군 내수읍 덕암리 산4번지 주성대학 음향공학과

(2006년 1월 19일 받음, 2006년 2월 2일 최종수정본 받음)

피스바우어 분광기법은 철강에 관련한 연구 및 개발을 위하여 중요한 분석방법이라고 할 수 있다. 피스바우어 분광기법의 가장 큰 장점은 철강의 특성을 정량적으로 분석할 수 있다는 것이다. 이러한 정량적 분석은 철강의 표면에 형성되는 부식생성물의 상들에 대한 구성비율을 비롯하여 노출환경, 철강의 종류, 합금성분, 입자의 크기, 형성 및 상변환등에 관련한 중요한 정보를 제공하게 된다. 그리고 철강의 종류와 합금성분에 따른 철강제품의 강도 및 상거동등에 관련한 특성들의 분석까지 정밀하게 활용할 수 있다.

주제어 : 피스바우어 분광기, 철강, 부식, 내후성강

I. 서 론

1958년 독일의 물리학자 피스바우어가 고체 내에서 감마선의 방출 및 흡수현상을 발견하였다. 이러한 효과는 원자핵 물리학, 고체물리학, 화학, 생물학, 지질학, 물리금속학 등에 이르기까지 널리 이용되고 있다[1-3]. 원자핵으로부터 방출되는 감마선의 공명효과(피스바우어 효과)를 이용한 공명 스펙트럼의 분석기법을 피스바우어 분광학이라 한다[2, 3]. 원자핵의 주변 환경이 달라지면 에너지 준위가 변하게 되고, 이로 인하여 변화된 피스바우어 스펙트럼을 분석하면 시료의 성질을 파악할 수 있게 된다.

피스바우어 효과를 나타낼 수 있는 원자핵의 종류는 80여 종이 되며, 약 100가지 종류의 전이가 보고되고 있다[3]. 이들 중에서 감마선원(gamma ray source)으로 가장 많이 사용되는 것은 ^{57}Co 을 모체로 한 ^{57}Fe 원자핵이다. 만약 ^{57}Fe 를 감마선원으로 사용하게 되면, 철을 함유하고 있는 모든 재료의 상분석, 결정구조분석, 자기분석을 비롯한 다양한 분석에 적용할 수 있게 된다. 피스바우어 분광학에 관련한 연구초기에는 핵물리, 고체물리, 화학등의 기초과학분야에서 주로 이루어졌으나, ^{57}Fe 를 사용하면서 재료 및 금속공학으로의 연구 및 응용이 활발하게 확산되고 있다[4-9].

1980년대부터 철강산업에 피스바우어 분광학을 본격적으로 활용하기 시작하였으며, US Steel의 Huffman과 Huggin 등이 선구적인 역할을 하였다[5, 7, 9]. 피스바우어 분광학을 이용한 철강연구는 부식, 제선, 제강, 표면처리, 스테인레스, 폐기물 분석등을 비롯한 매우 다양한 분야에서 이루어지고 있다[4-9].

본 논문에서는 철강산업에 피스바우어 분광기법이 어떻게

활용될 수 있는지에 대하여 조사하였다.

II. 피스바우어 분광기법의 기본원리

피스바우어 분광기법은 감마선원으로부터 감마선을 방사하는 드라이빙(driving) 장치와 흡수체를 통과한 감마선원을 포착하는 검출기(detector)장치로 크게 나눌 수 있다. 만약 감마선원과 측정시료(흡수체)가 모두 정지상태에 있게 되면, 감마선원으로부터 나오는 감마선의 에너지와 핵이 자기공명을 일으키는데 필요한 흡수체(absorber)의 에너지 값이 일치하지 않기 때문에 피스바우어 공명현상이 일반적으로 발생하지 않게 된다. 따라서 감마선원으로부터 나오는 감마선과 흡수체의 에너지들이 서로 일치할 수 있도록 감마선원을 흡수체에 대하여 상대적으로 운동을 시켜주게 된다(Doppler 효과). 감마선원의 에너지가 흡수체의 에너지와 일치되는 속도가 되었을 때, 피스바우어 공명으로 인한 에너지 흡수가 일어나게 된다. 그리고 감마선원의 속도가 다시 바뀌게 되면, 공명에 의해 흡수되는 에너지의 양이 크게 감소하게 된다. 이 때 흡수체에 흡수된 감마선은 들뜬상태(1st excited state)의 반감기가 지난 후에 임의의 각도로 에너지의 재방사가 발생하게 된다. 그 결과로써, 흡수체에 흡수된 감마선 중에서 검출기 방향이 아닌 다른 방향으로 재방사된 감마선의 양만큼 감소하여 검출기에서 검출될 것이다. 이와 같은 방법으로 검출기에서의 검출계수가 감마선원의 상대속도로 표시된 피스바우어 투과스펙트럼을 얻게 된다.

III. 철강산업으로의 응용

3.1. 철강의 부식

철은 목재와 더불어 인간이 가장 많이 사용하는 재료 중에

*Tel: (043) 219-1201, E-mail: seijin@jsc.ac.kr

하나이다. 이처럼 인간생활에 철이 많이 사용되는 것은 지구 상에 철의 매장량이 많아서 가격이 저렴한 재료이기도 하지만, 높은 강도를 가지기 때문일 것이다. 따라서 철은 구조물로 제작되기도 하고, 건축을 비롯한 많은 재료와 도구등으로 사용되고 있다. 그러나 철이 대기 속의 수분이나 비에 노출이 되면 철의 표면에 부식이 발생하게 된다. 이러한 부식은 철 구조물의 수명을 단축시킬 뿐만 아니라, 붕괴의 위험까지 가지게 될 것이다. 따라서 철강의 표면에서 발생하는 부식에 관련된 부식생성물의 종류 및 특성 그리고 부식의 생성에 관계된 메카니즘을 이해하는 것은 매우 중요할 것이다.

3.1.1. 부식생성물의 피스바우어 특성[10]

철의 표면에서 물속의 산소와 철성분이 결합하여 생성시킬 수 있는 상(phase)의 종류는 여러 가지가 있다. 그들 중에서 철강의 대기부식에서 흔히 볼 수 있는 상들을 살펴보면, 부

식이 발생하기 시작할 때 형성되는 Green Rust 및 Fe(OH)₂를 비롯하여 α-FeOOH, β-FeOOH, γ-FeOOH, γ-Fe₂O₃ 그리고 Fe₃O₄ 등을 들 수 있다. 이들에 대한 피스바우어 특성을 아래의(Table 1)에 표시하였다. 이들에 대한 상온(300 K)에서의 특성을 살펴보면, 각각의 부식생성물 상들에 해당하는 이성질체이동(IS), 전기사중극자(QS), 초미세자기장(Hf) 값들이 서로 다른 것을 볼 수 있다. 이들 중에서 α-FeOOH, α-Fe₂O₃, γ-Fe₂O₃ 그리고 Fe₃O₄만이 자기적 성질을 가지며, 다른 상들은 자기적 성질을 갖지 않는 비자성 상들에 해당한다. 이처럼 γ-FeOOH와 β-FeOOH를 제외한 상들의 피스바우어 매개변수(이성질체이동, 전기사중극자, 초미세자기장) 값들이 다르다는 것은 이들의 상들이 서로 혼합되어 있다고 하여도 이들을 분리하여 상분석할 수 있다는 것을 의미한다. 여기서 β-FeOOH의 형성은 특별한 환경조건에서만 가능하다고 할

Table 1. Mössbauer parameters of iron oxides on steel surface.

Oxide	300 K			77 K		
	IS (mm/s)	QS (mm/s)	B _r (kOe)	IS (mm/s)	QS (mm/s)	B _r (kOe)
α-FeOOH(A)	0.35	-0.24	178-367	0.49	-0.24	507
α-FeOOH(B)				0.47	-0.24	492
β-FeOOH(A)	0.37	0.96	0	0.51	-0.15	445-474
β-FeOOH(B)	0.37	0.56	0	0.51	-0.30	160-448
γ-FeOOH(A)	0.37	0.94	0	0.51	0.92	0
γ-FeOOH(B)	0.37	0.57	0	0.51	0.56	0
α-Fe ₂ O ₃	0.37	-0.20	511	0.48	0.38	543
γ-Fe ₂ O ₃ (A)	0.30	0	503	0.48	0	529
γ-Fe ₂ O ₃ (B)	0.33	0	491	0.43	0	512
Fe ₃ O ₄ (A)	0.28	-0.02	491	0.47	-0.05	522
Fe ₃ O ₄ (B1)	0.66	0	460	0.81	-0.42	499
Fe ₃ O ₄ (B2)				0.34	0	513
Fe ₃ O ₄ (B3)				1.27	2.14	344
FeO(A)	0.95	0.44	0			
FeO(B)	0.90	0.79	0			
Fe(OH) ₂	1.18	2.92	0	1.21	-2.95	0
Fe(OH) ₃ (A)	0.37	0.62	0	0.42	0.63	0
Fe(OH) ₃ (B)	0.37	0.51	0	0.49	0	430
Fe(OH) ₃ (C)	0.37	0.85	0	0.49	-0.39	463
Fe(OH) ₃ ·0.9H ₂ O	0.35	0.72	0	0.47	0.81	0
FeSO ₄ ·7H ₂ O				1.36	6.90	
4Fe(OH) ₂ ·FeSO ₄ ·4H ₂ O(A)				1.217	5.39	
4Fe(OH) ₂ ·FeSO ₄ ·4H ₂ O(B)				1.36	6.56	
Green Rust I(A)				1.25	2.88	
Green Rust I(B)				1.25	2.60	
Green Rust I(C)				0.47	0.41	
Green Rust II(A)	1.13	2.62		1.26	2.96	
Green Rust II(B)	1.03	2.26		1.29	2.90	
Green Rust II(C)	0.36	0.49		1.16	2.59	
Green Rust II(D)				0.46	0.53	
Green Rust II(E)				0.47	0.37	

것이다. 다시 말하면, β -FeOOH가 형성되기 위해서는 Cl^- 이온이 필요한데, Cl^- 이온은 해변과 같은 지역에 많이 존재하게 된다. 따라서 β -FeOOH의 경우에는 주로 해안지역에서 형성되는 것을 볼 수 있으며, Cl^- 이온이 존재하지 않은 시골 지역이나 공업지역의 경우에는 거의 볼 수 없게 된다. 따라서 해안지역이 아닌 시골지역이나 공업지역에서 형성되는 부식생성물의 경우에는 β -FeOOH의 형성을 배제할 수도 있기 때문에 상온에서의 뫼스바우어 분석만으로 충분할 수 있

다. 그러나 이들 지역에서 β -FeOOH의 형성을 무조건 배제할 수는 없기 때문에 XRD 분석을 통하여 β -FeOOH가 형성되지 않았음을 확인하는 것이 바람직 할 것이다. 겨울에 눈이 많이 오는 북유럽과 같은 지역에서는 도로의 눈을 녹이기 위하여 염화칼슘을 많이 사용하는 경우가 있기 때문이다. 비록 이런 경우에 해안지역이 아니라고 하여도 β -FeOOH의 형성을 주의 깊게 확인하는 것이 좋을 것이다. 해안지역에서 β -FeOOH의 형성은 철강의 부식속도를 크게 높이는 결과를 가져오게 된다. 만약 β -FeOOH의 형성이 예상되는 부식생성물의 경우에는 상온의 뫼스바우어 분석만이 아니고 액체질소 온도에 해당하는 저온(77 K)의 분석이 필수적으로 요구된다. 왜냐하면, 상온에서 β -FeOOH의 뫼스바우어 특성과 γ -FeOOH의 특성이 거의 동일하여 이들에 대한 스펙트럼의 분리가 불가능하기 때문이다(Table I, Fig. 1). 그러나 측정온도를 상온에서 저온으로 낮추게 되면, β -FeOOH의 특성이 비자성에서 자성을 띠는 특성으로 자기적 성질이 바뀌게 된다. 따라서 저온에서의 β -FeOOH 스펙트럼은 상온에서와 같은 더블렛(doublet)이 아닌 식스텝(sextet)으로 여섯 개의 피크가 나타나기 때문이다(Fig. 1). 반면에, γ -FeOOH의 경우에는 저온에서도 비자성을 의미하는 더블렛의 특성을 그대로 유지하기 때문에 이들 사이의 분리가 매우 수월하게 된다(Fig. 1).

3.1.2. 부식생성물의 입도분석[11]

만약 부식생성물의 입도가 감소하게 되면 뫼스바우어 특성도 변하게 된다. 자기적 특성을 갖는 부식생성물(α -FeOOH, α -Fe₂O₃, γ -Fe₂O₃, Fe₃O₄)의 입자가 벌크(bulk)이면 여섯 개의 피크가 매우 예리하고 대칭적으로 그리고 3:2:1:1:2:3의 피크의 크기비율이 명확해진다. 그러나 부식생성물의 입도가 벌크보다 작아지게 되면 뫼스바우어 스펙트럼이 변하게 된다. 특히 입도가 어느 특정한 크기(일반적으로 약 8 nm 정도)보다도 작게 되면, 자기적 성질을 잃게 되어 초상자적(superparamagnetic) 특성을 가지게 된다. 이러한 초상자적 특성은 상자적(paramagnetic) 특성과 마찬가지로 두 개의 피크로 이루어진 더블렛으로 스펙트럼이 나타나게 된다. 하나의 예로써, γ -Fe₂O₃에 대해 벌크와 미세입자들에 대한 스펙트럼들을 (Fig. 2)에서 보여준다. 입자의 크기가 매우 작아서 (8 nm 이하) 상온에서는 초상자적 자기특성을 가진다고 하여도 온도가 액체질소 온도로 낮아지게 되면 초상자적 특성을 잃게 되어 자기적 특성이 다시 나타나게 된다(Fig. 2). 만약 부식생성물의 입도가 벌크에서 약 8 nm 사이에 존재할 경우에 대한 뫼스바우어 스펙트럼의 변화를 (Fig. 3)에서 보여준다. 만약 α -FeOOH의 입도가 7.21 nm인 경우에는 초상자적 특성을 보여주고 있으나, 입도가 증가함에 따라서 식스텝이 서서히 나타나기 시작한다. 그리고 지속적인 입도의 증가와 함께 식스텝의 비중이 증가하게 되고, 피크의 형상이 보다 뚜

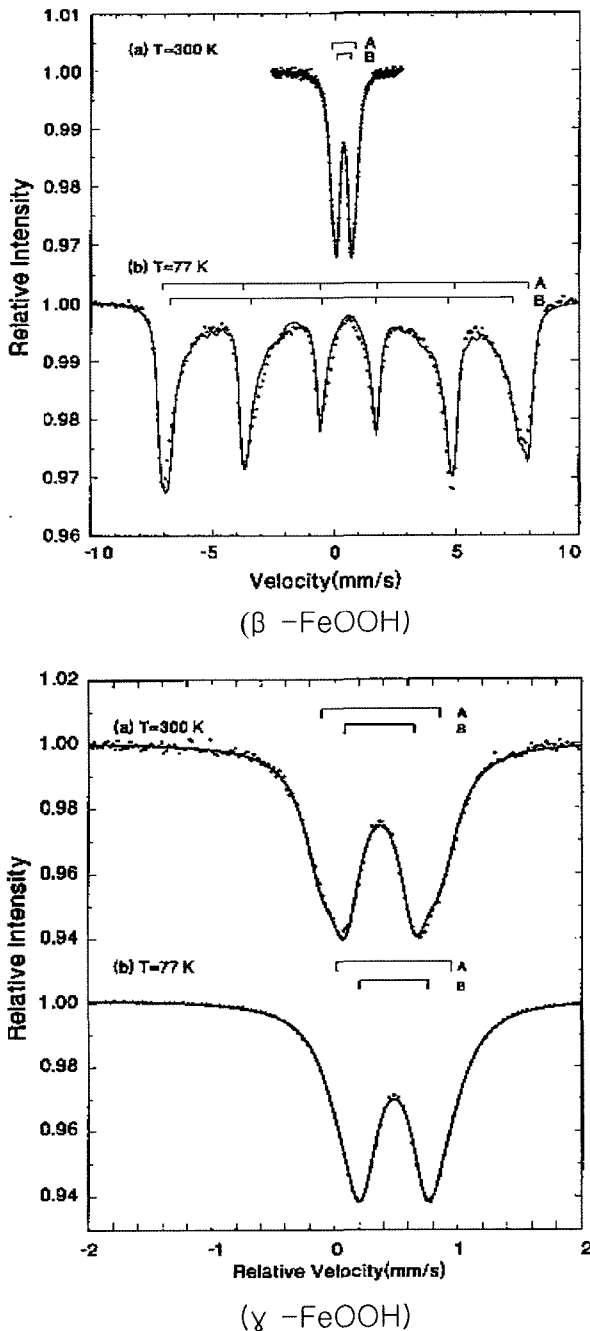


Fig. 1. Mössbauer spectra of β -FeOOH and γ -FeOOH.

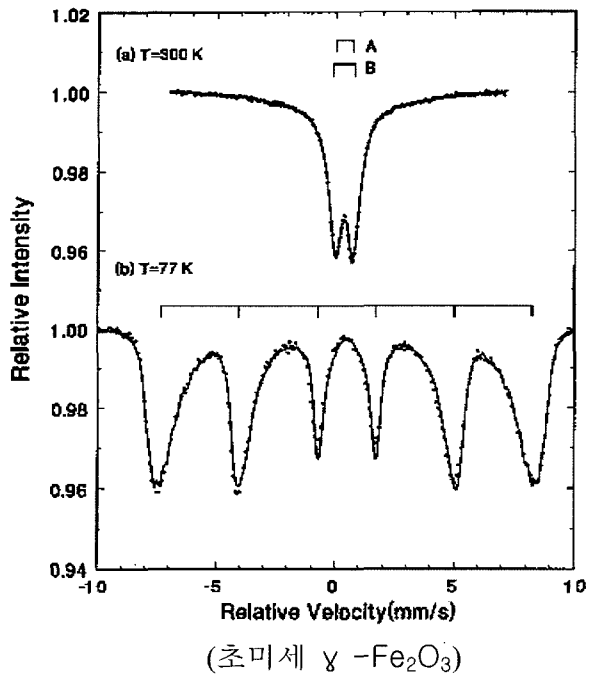
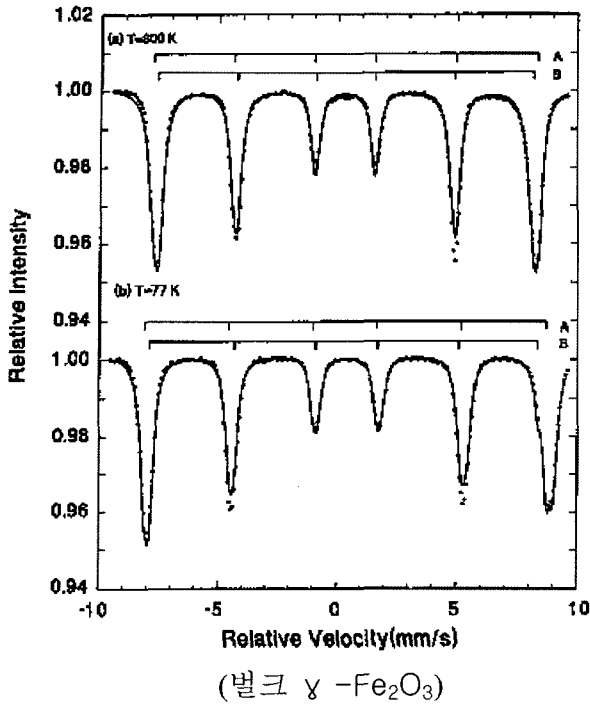


Fig. 2. Mössbauer spectra for bulk and fine γ - Fe_2O_3 .

렷해지는 것을 볼 수 있다. 만약 벌크이하의 α - FeOOH 입자가 일정한 크기를 갖지 않고 여러 가지의 크기를 갖는 입자들로 구성되어 있다면, 각 피크의 좌측과 우측이 서로 대칭적으로 나타나지 않는 것을 (Fig. 3)에서 볼 수 있다.

3.1.3 입도와 초미세자기장 사이의 관계[12]

앞에서 설명한 바와 같이, 평균입도에 따라서 초미세자기장의 평균값이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 이들 사이에 대한

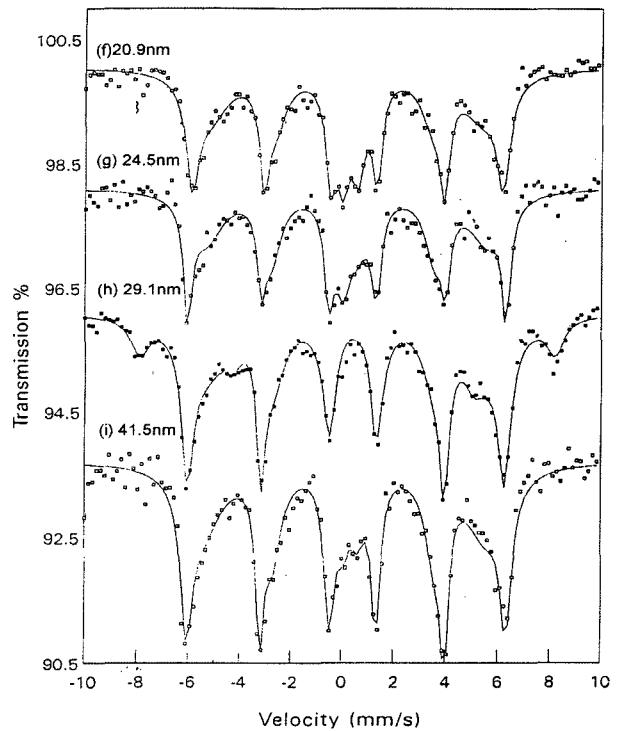
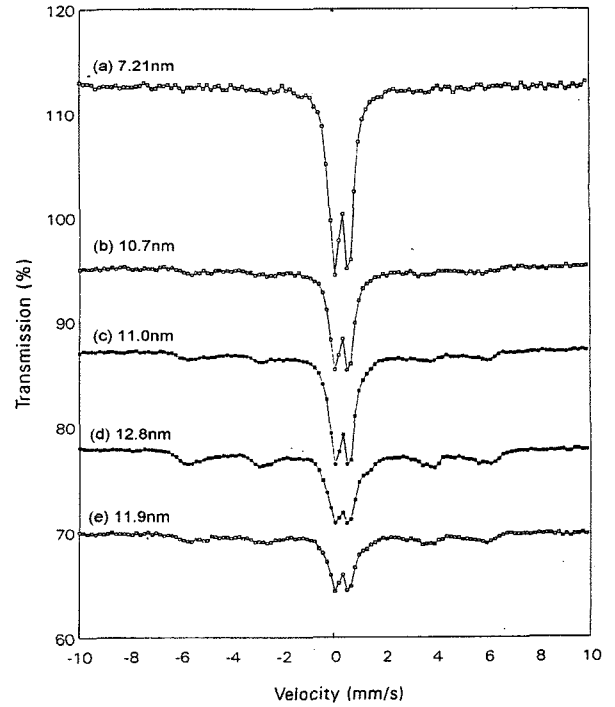


Fig. 3. Mössbauer spectrum of α - FeOOH as a function of particle size.

관계를 얻을 수 있다면, 뫼스바우어 분석에 의한 초미세자기장 값을 통해 부식생성물의 평균입도를 예측할 수 있게 될 것이다. 따라서 α - FeOOH 에 대해 7가지의 평균입도를 갖는 시료들을 통하여 이들의 관계를 얻을 수 있었다(Table II). 우

Table II. Hyperfine parameters of α -FeOOH as a function of particle size.

시료	입도(nm)	초미세자기장(kOe)
시료1	15.8	333
시료2	16.7	340
시료3	19.3	348
시료4	25.8	361
시료5	32.3	364
시료6	47.8	370
시료7	54.7	370

선 초미세자기장(H_{obs})과 입도 사이의 관계를 아래의 식으로부터 구할 수 있다.

$$H_{obs} = H_o(1 - kT/2KV)$$

여기서 H_o , k , T , K , V 는 포화초미세자기장값(saturation magnetic field), 볼츠만 상수($=1.380656 \times 10^{-23}$ J/K), 온도, 자기이방상수(magnetic anisotropy constant)과 입자의 체적을 의미한다. (Fig. 4)에서 초미세자기장값과 입자의 지름(입자를 원형으로 가정) 또는 체적 사이의 관계를 보여주고 있다. (Fig. 4)에서 보면, 입자의 지름이 30 nm 정도에 도달할 때까

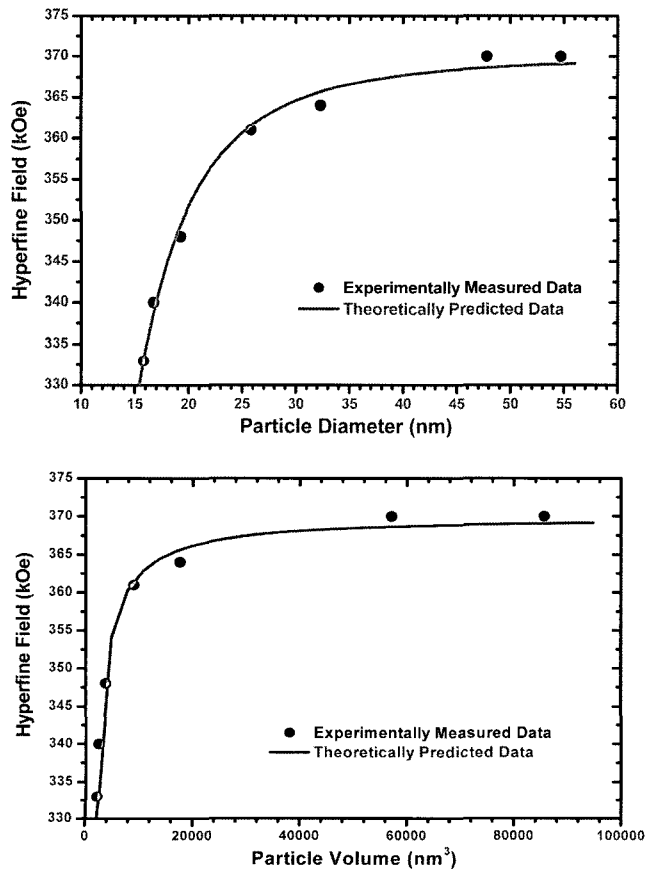


Fig. 4. Hyperfine fields of α -FeOOH as a function of particle size.

지 초미세자기장 값은 지수함수적으로 크게 증가하게 된다. 그러나 입도가 30 nm 이상이 되면, 입도의 증가에 따라서 초미세자기장 값이 증가하기 보다는 포화값에 이르는 것을 볼 수 있다. 다시 말하면, 벌크입자가 가지는 초미세자기장 값을 가지게 되며, 벌크의 크기 이상에서는 입도에 관계없이 (Table I)에 나타나는 초미세자기장 값을 가지게 되는 것이다.

3.1.4. 노출환경에 따른 부식특성[13]

동일한 철강의 종류라 하더라도 노출환경에 따라서 부식생성물의 특성이 달라지게 된다. 예를 들어, 미국의 시골지역과 해안지역에서 16년 동안 노출된 철강의 표면에 형성된 부식생성물을 조사하였던 결과를 (Fig. 5)에 나타내었다. 이들 지역에 대한 대기환경 조건을 살펴보면, 시골지역에서는 Cl⁻ 이온의 존재가 기대되지 않는 반면에 SO₂가 높았고, 해안지역에서는 Cl⁻ 이온이 많이 존재하고 있음을 (Table III)에서 볼 수 있다. (Fig. 5)에서 보여지는 (m)과 (s)는 자기적 성질을 갖는 입자와 초상자적 특성을 갖는 입자를 각각 의미한다. 시골지역에서의 특성을 살펴보면, α -FeOOH와 γ -FeOOH로 구성되어 있으며 α -FeOOH는 자기적 성질을 갖는 입자와 초상자적 특성을 가지는 미세입자들이 함께 존재하고 있음을 볼 수 있다. 그러나 해변지역에서는 시골지역과 마찬가지로 α -FeOOH와 γ -FeOOH의 생성물이 존재하고 γ -Fe₂O₃가 추가적으로 존재하고 있음을 알 수 있다. 그리고 각 상들에 대한 구성비율을 (Table IV)에 나타내었다. 부식속도와 부식생성물 사이의 관계를 (Fig. 6)에서 볼 수 있는데, 이들 모두의 지역에서 초상자적 특성을 보이는 α -FeOOH(s)의 양에 따라서 부식속도가 의존하는 것을 볼 수 있었다. 다시 말하면, α -FeOOH(s)의 양이 증가하게 되면 부식속도가 감소하게 되는데, 이는 매우 미세한 α -FeOOH(s) 형성이 부식을 감소시키는데 큰 역할을 할 수 있음을 보여주는 것이다.

3.1.5. 철강의 종류에 따른 부식특성[13]

동일한 환경에서 철강의 종류가 다른 경우에도 철강의 부식특성이 달라지게 된다. 한 해안지역에 탄소강(A37, Cabon Steel)과 내후성강(A45, Weathering Steel)을 동일한 대기환경 조건에서 부식시켜 그 특성을 조사하였다. 그 결과를 (Table V)에 나타내었는데, 탄소강의 경우에 초상자적 특성을 갖는 미세크기의 α -FeOOH(s) 형성이 적게 나타나고, γ -Fe₂O₃의 비중이 큰 것으로 나타나고 있다. 반면에 내후성강의 경우에는 초상자적 α -FeOOH(s)를 비롯한 자기적 성질을 갖는 α -

Table III. Environmental condition of atmospheric corrosion.

노출환경	노출기간	노출위치	Cl ⁻ (g/m ² .yr.)	SO ₂ (g/m ² .yr.)
해안지역	16년	Kure Beach, NC U.S.A.	39	4.1
시골지역	16년	Saylorsburg, PA, U.S.A.	No data	6.2

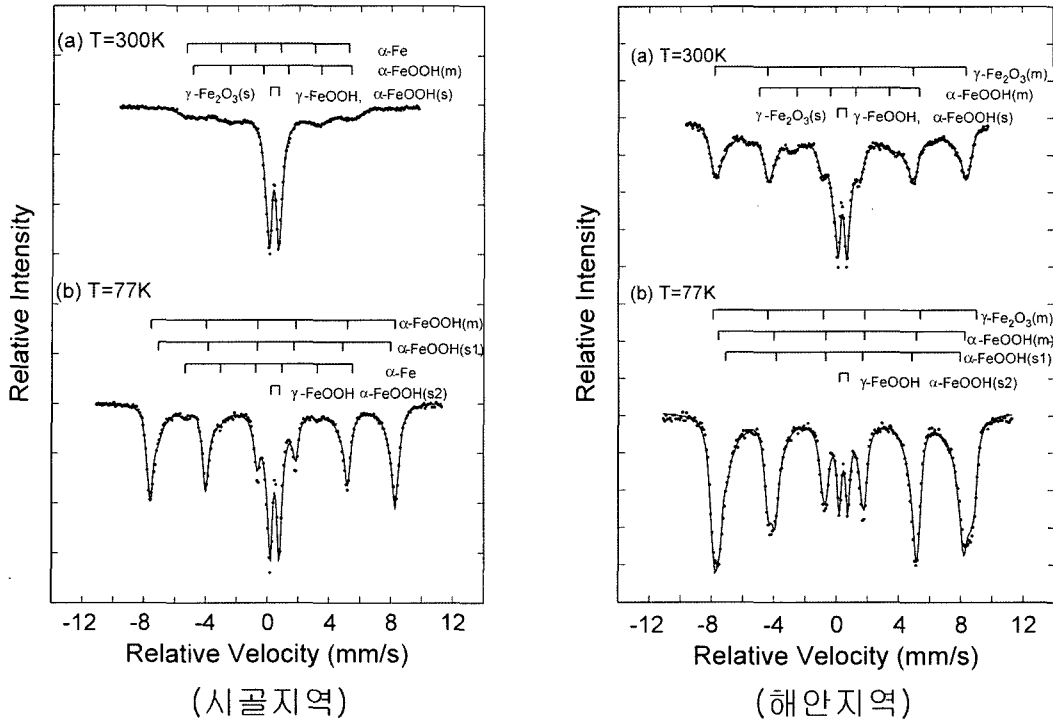


Fig. 5. Mössbauer spectrum of atmospheric corrosion.

Table IV. Phase fraction of atmospheric corrosion products.

노출지역	시편	구성비율 (오차 : ±2%)					Corro. rate (µm/yr)
		α-FeOOH(m)	α-FeOOH(s)	α-FeOOH(m+s)	γ-FeOOH	γ-Fe ₂ O ₃	
해안지역	A37(CS)	29	29	58	3	39	19.17
	A38(WS)	41	38	79	16	5	10.11
	A45(WS)	25	55	80	15	5	5.57
	A52(WS)	20	61	81	14	5	
시골지역	A38(WS)	47	31	78	17	5	6.48
	A45(WS)	37	39	76	19	5	2.62

FeOOH(m)의 형성량이 80%에 이르고, 나머지는 γ-FeOOH와 약간의 γ-Fe₂O₃로 구성되어 있음을 볼 수 있다(Table V). 위에서 설명한 바와 같이, 초상자적 α-FeOOH(s)의 형성량이 부식속도를 변화시키는데, 이는 철강에 따라서 부식특성이 다르다는 것을 의미하는 것이다.

3.1.6. 합금성분에 따른 특성[14]

철강의 종류와 노출환경이 동일하다고 하여도 합금성분의 작은 차이에 의해서도 부식특성이 달라질 수 있다. (Table VI)에서 보여주는 바와 같이, 두 개의 시편(A45, A52)은 동일한 내후성강(A588)이지만 실리콘의 함유량에서 차이를 보여주고 있다. A52의 경우에 A45에 비하여 실리콘의 양이 약 6배 정도가 높다. 그 결과를 (Fig. 7)에서 보게 되면, 실리콘의 첨가량과 초상자적 특성을 갖는 미세크기의 α-FeOOH(s) 형성과 밀접한 관계가 있음을 볼 수 있다. 다시 말하면, 실리

콘의 양이 증가할수록 미세크기의 α-FeOOH(s) 형성량이 증가하고 있음을 보여준다. 이러한 결과는 실리콘이 미세크기의 α-FeOOH(s)의 형성과 깊은 관계가 있음을 말해주는 것이다.

3.1.7. 보호막 특성[15]

철강이 대기 중에 노출이 되면 부식이 발생한다고 하는 것은 이미 앞에서 지적한 바 있다. 그러나 어느 시점부터는 부식에 의해 형성된 부식생성물이 지속적인 부식 자체를 방지하고 억제하는 기능을 가질 수도 있다. 이러한 부식생성물의 층(layer)을 보호막(passive file)이라고 부른다. 부식생성물이 보호막의 역할을 하기 위해서는 두 가지 조건이 있다. 첫 번째는 부식생성물이 매우 작은 미세한 입자들로 구성되어야 하고, 두 번째는 철의 표면에 강하게 접촉되어 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키는 것이 바로 미세크기의 α-FeOOH(s)와 γ-Fe₂O₃(s)라고 할 수 있다. 왜냐 하면, α-FeOOH(s)와

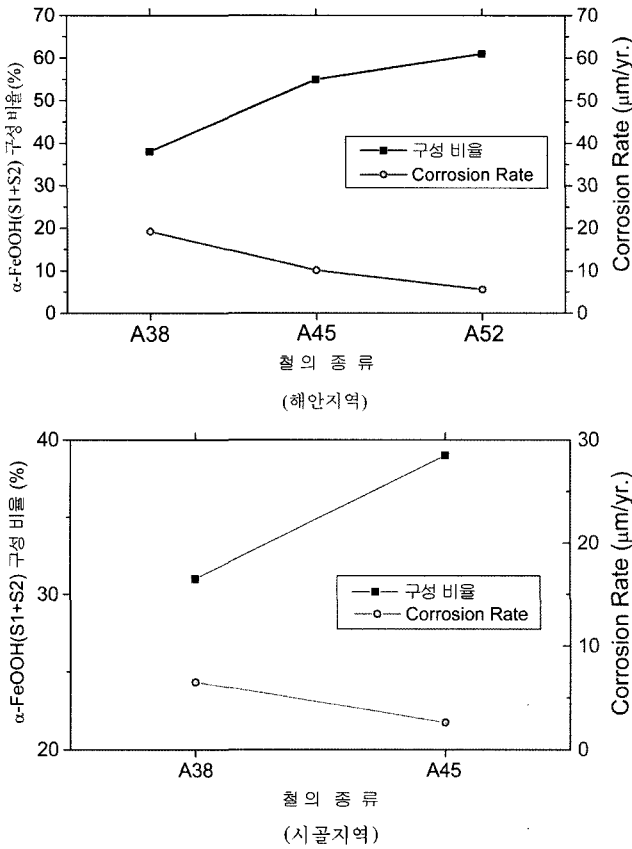


Fig. 6. Correlation between the corrosion rate and fine α -FeOOH.

γ -Fe₂O₃(s)에서 매우 미세한 형태의 입자가 가지는 초상자적 특성이 나타나고 있고, 라만분석기에 의해 촬영되고 분석된 부식생성물의 형성층을 살펴보면 철의 표면에 강력하게 접촉된 부식생성물의 층이라는 것을 알 수 있었기 때문이다(Fig. 8). 따라서 매우 미세한 크기를 갖는 α -FeOOH(s)와 γ -Fe₂O₃(s)로 형성된 보호막을 물이 통과할 수 없게 됨으로써, 철의 표면에 물의 공급을 중단시켜 지속적인 부식을 방지 또

Table V. Atmospheric corrosion as a function of steel.

노출지역	시편	구성비율(오차 : ± 2%)				
		α -FeOOH(m)	α -FeOOH(s)	α -FeOOH(m+s)	γ -FeOOH	γ -Fe ₂ O ₃
해안지역	A37(CS)	29	29	58	3	39
	A45(WS)	25	55	80	15	5

Table VI. Atmospheric corrosion as a function of foreign elements in steel.

시편	ASTM Steel Type	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Cu	Al
A45	Weathering Steel(A588)	0.14	0.97	0.012	0.016	0.12	0.31	0.59	0.36	0.037
452	Weathering Steel(A588)	0.14	1.00	0.009	0.018	0.75	0.31	0.57	0.35	0.052

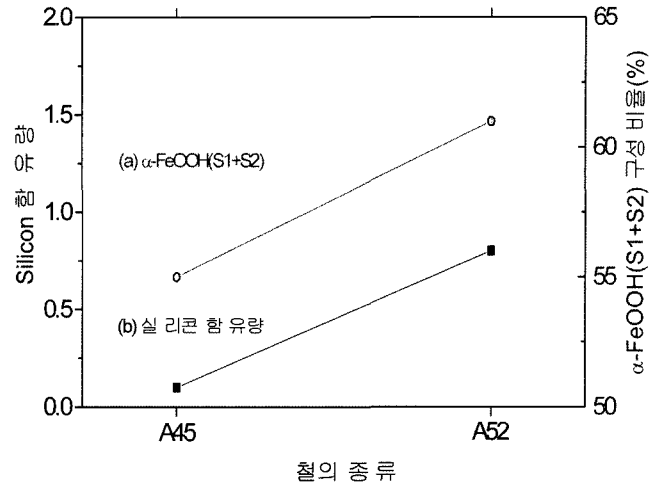


Fig. 7. Correlation between the Si content and fine α -FeOOH.

는 억제할 수 있게 되는 것이다.

3.2. 철강에 대한 뫼스바우어 분광기법의 응용

뫼스바우어 분광기법은 철강의 원료를 선별하거나, 소결광의 품질을 평가하고, 원료탄의 성분을 분석하며, 각종 철강공정에서의 제선 및 제강분야에까지 활발하게 이용될 수 있다 [1-9]. 그리고 철강이 만들어지는 과정에서의 최대 폐기물인 슬래그의 분석등에도 활용되고 있다. 그리고 철강제품에는 열연, 냉연, 표면처리등 다양한 제품이 있는데, 철강의 각종 상의 변화에 따른 물성특성과 분율을 뫼스바우어 분광기법을 이용하여 평가할 수 있다[4]. 예를 들어, 철강내에 잔류하고 있는 γ -Fe(오스테나이트)의 양은 철강의 특성에 큰 영향을 줄 수 있다. 따라서 철강이 가지는 각종 상들과 시멘타이트에 대한 뫼스바우어 특성을 (Table VII)에 나타내었다. 그리고 이들의 특성을 활용하여 철강에 관련한 응용분야를 (Table VIII)에 나타내었다.

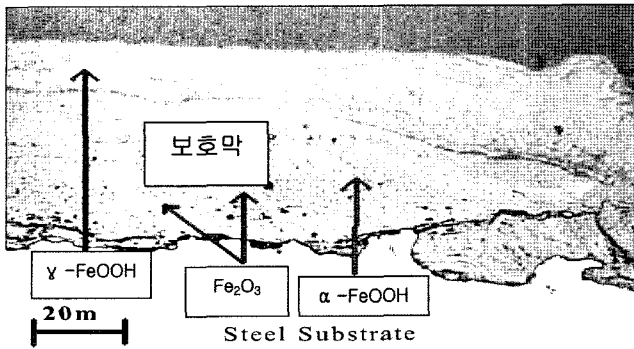


Fig. 8. Protective layer formed on weathering steel.

Table VII. Mössbauer parameters of steel phases.

Phase	Site	IS (mm/s) ^b	QS (mm/s)	H _f (T)
Fe ₃ C	(A)	0.19	0.32	20.5
	(B)	0.21	-0.06	19.7
Fe ₃ C ₂	(A)			184
	(B)			222
	(C)			110
γ-Fe(ferrite)		0.00	0.00	33.0
bct-Fe (martensite)	(A)	0.08	0.28	26.5
	(B)	-0.05	0.20	34.3
	(C)	0.06	-0.18	33.3
γ-Fe(austenite)		-0.05	0.00	0.00
Fe-M system	(A)	0.11	0.02	27.4
	(B)	0.07	-0.04	30.7

δ : Isomer Shift relative to α-Fe

IV. 결 론

뫼스바우어 분광기법은 철강에 관련한 연구 및 개발에 중요한 분석방법이라고 할 수 있다. 철강에 관련한 특성을 뫼스바우어 분광기법만이 아닌 여러 가지 다른 분석기법(XRD,

TEM, SEM)으로 연구할 수 있으나, 이들은 정성적이거나 아니면 준정량적 분석에 그치게 된다. 그러나 뫼스바우어 분광기법을 활용하게 되면, 철강에 관련한 특성을 정량적인 방법으로 분석할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이 될 것이다.

이러한 정량적 분석의 예가 철강의 표면에 형성되는 부식 생성물의 상분율을 비롯하여 노출환경, 철강의 종류, 합금성분, 입자의 크기, 형성 및 상변환등에 관련한 중요한 정보를 얻을 수 있게 된다. 그리고 철강의 종류 및 합금성분에 따른 철강제품의 강도 및 상거동등에 관련한 특성들의 분석까지 정밀하게 응용할 수 있다.

참고문헌

- [1] R. L. Mössbauer, Z. Physik **151**, 124(1958).
- [2] Leopard May, An Introduction to Mössbauer spectroscopy, Plenum Press, 1(1971).
- [3] 옥항남, 뫼스바우어 분광학, 민음사, 서울(1983) p7.
- [4] K. R. P. M Rao Industrial Applications of the Mössbauer Effect, Ed. Gary J. Long, Plenum Press (1986) p153.
- [5] G. P. Huffman and F. E. Huggins, Mössbauer Spectroscopy and its Chemical Application, Eds. J. G. Stevens, Advances in Chemistry Series (1981) p265.
- [6] L. M. Levinson and I. S. Jacobs, Fuel **56**, 453(1977).
- [7] F. E. Huggin and G. P. Huffman, Analytical Method for Coal and Coal Product, Ed. Clarence Karr, Jr. Accademic Press, Vol. 3 (1979) p371.
- [8] N. K. Jaggi and K. R. P. H. Rao, Fuel **58**, 688(1979).
- [9] F. E. Huggins and J. P. Huffman, J. Apple. Phy. **55**, 1404(1984).
- [10] S. J. Oh, D. C. Cook, and H. E. Townsend, Hyperfine Interactions **112**, 59(1998).
- [11] S. J. Oh, Ph. D Thesis (1997).
- [12] J.-Y. Lee, S. J. Oh, J. G. Sohn, and S.-J. Kwon, Corrosion Science **43**(5), 803(2001).

Table VIII. Application of Mössbauer analysis in steel industry.

대분야	소분야	내용
제철공정	원료	철광석 예비처리
	제선/제강	소결광의 품질평가/철강공정분석
	열연	Fe-Cu 시료 산화기구
	설비	부식생성물 분석
	환경	철강슬라그 분석[9]/원료탄 황분석
철강제품	열연/생연제품	철강재료 잔류응력 측정
	철강제품	페라이트강의 잔류 오스테나이트 측정
	표면처리제품	아연 및 알루미늄 도금강판 부식
	표면방식법	내후성강(COR-TEN, weather coat) 개발
표면경화처리	질화처리강의 두께측정	
특수강 (스테인레스강)	합금설계	상분율 측정, 상변태 측정
	석출물, 상분석	석출물 및 복합상 정량분석
	파단면분석	파단면 분석을 통한 파괴인성

[13] S. J. Oh, D. C. Cook, and H. E. Townsend, *Corrosion Science* **41**(9), 1687(1999).

[15] S. J. Oh, R. Balasubramanian, and M. Yamashita, *Hyperfine Interactions* **122**, 59(1999).

[14] S.-J. Oh and S.-J. Kwon, *한국자기학회지* **15**(2), 85(2005).

Application of Mössbauer Spectroscopy for Steel Industry

Sei-Jin Oh*

Dept. of Acoustical Eng. JuSeng College NaeSoo-Ub ChengWon-Kun ChungBuk 363-794, Korea

(Received 19 January 2006, in final form 2 February 2006)

Mössbauer spectroscopy is one of the very powerful analytical methods for studying the steel properties. It is the most important advantage that the steel properties can be quantitatively analyzed by Mössbauer analysis. The quantitative analysis could provide various information about corrosion products, environmental condition, kind of steel, foreign element, particle size, etc. It can be also applied for the study of strength and phase of steel, as functions of the kind of steel and foreign elements.

Key words : Mössbauer spectroscopy, steel, corrosion, weathering steel