

영일만 매립지역에 장기매설된 강 파일의 부식도 측정

권 영 각 · 윤 병 현 · 장 래 응

산업과학기술연구소 용접연구센터

Corrosion Survey on Underground Steel Piles in Young-il Bay

Y. G. Kweon, B. H. Yoon, R. W. Chang

Welding Research Center

Research Institute of Industrial Science and Technology

Corrosion survey was performed on the underground piles buried for 19 years in the area of iron and steel making factory near Young-il bay. The result showed that the corrosion occurred more significantly on outer surface than on inner surface of steel piles. Variation of corrosion thickness with the burial depth was too irregular to find any relationship between them. In the area not-affected by the steel making processes, average corrosion thickness was 0.164mm, having the corrosion rate of 0.0086mm/yr. While, in the area of slag treatment, the corrosion rate was 0.03mm/yr. It was also found that the corrosion products on steel piles was mainly composed of Fe_3O_4 .

1. 서 론

토양중에서 사용되는 많은 철비나 구조물들, 즉 용수배관, 가스배관, 강 파일 등은 일반적으로 수년내지는 수십년을 사용기간으로 하고 있으므로 부식에 의한 손상은 가장 우선적으로 고려되어야 할 사항이다. 토양에 의한 철강재의 부식은 근본적으로는 물속의 부식과 같이 전기화학적 기구의 지배를 받고 있으나 토양의 입도, 통기성, 함수량, 함유 성분, 박테리아 등 부식기구에 대한 영향인자가 물속에서 보다 훨씬 복잡하게 된다. 따라서 토양의 성질과 부식성 사이에 어떤 명확한 관련성을 얻기 힘들며, 철비나 구조물의 설계시에 일반적으로 실

험적 사실에 기초를 둔 부식여유를 고려하고 또한 방지법을 적용하게 된다.

미국의 NBS(National Bureau of Standards)에서는 1922년 부터 약 23년에 걸쳐 128개소의 토양에 330종의 합금과 방식피복시편을 매설하여 부식시험을 수행하였으며, 이 결과¹⁾가 현재까지 금속재료의 토양부식에 관한 기본자료로 활용되고 있다. 국내에서는 장기간 매립된 철강재 또는 금속재료의 부식에 관한 자료가 거의 없는 실정이다.

때마침, 국내 동해안의 영일만 매립지역에 건설된 포항제철의 일부설비를 철거, 교체하는 과정에서 19년간 매설되어 있던 강 파일(piles)을 인발함에 따라 장기 매설철강재의 부식조사를 할 수 있는 좋은

기회를 갖게 되었다. 다양한 토양에서의 다양한 재질에 관한 부식 data가 못되는 아쉬움은 있으나, 유사한 지역의 철강재의 토양 부식 data로써 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 영일만 매립지역의 토양 성질

포항제철소가 건립되어 있는 영일만 매립지역은 토양성분이 대부분 모래가 많고 일부부위는 자갈, 이토 등이 혼합되어 있다. Fig. 1은 깊이에 따른 대략적인 토양성분을 나타낸다. 자갈이나 이토의 깊이별 위치는 지역에 따라 다르며 모래와의 구성비도 약간씩 차이가 있으나 대체로 구성비가 어느 곳이든 약 60% 이상을 점하고 있다.

지하수위는 지하 2.2m 정도이며, 지하수의 성분은 해수의 영향이 없는 일반지하수와 거의 유사하여 염소이온의 함유량도 241ppm으로써 일반지하수의 염분농도 150~500ppm의 범위에 속한다. 지하수의 pH는 7.7로써 약 알카리성이고 상온에서의 비전도도는 $0.001898\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ 이다.

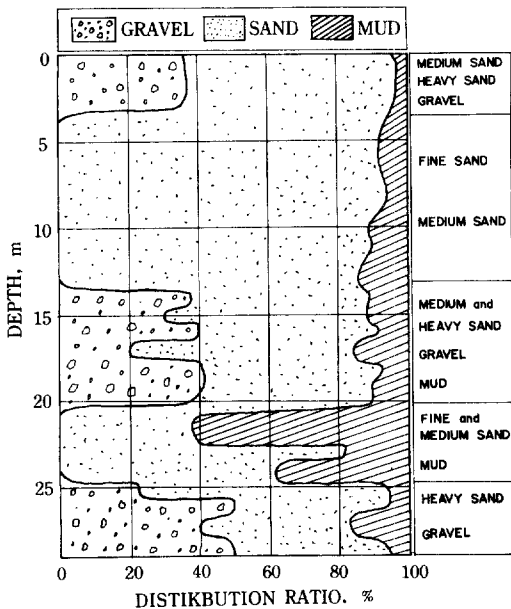


Fig. 1. Soil map of the corrosion survey area in Young-il bay

3. 시편채취 및 부식두께 측정방법

지하매설된 강 파일은 깊이 28m 정도까지 매설되어 있었으며 외경 406.4mm, 두께 7.9mm의 파이프 형태이다. 부식두께 측정을 위해 인발된 강 파일중 2개를 선정하였으며 하나는 전체 매립지역의 대표적인 부식상태를 나타낼 수 있는 지역의 파일(K pile)이며, 또 하나는 제철소지역의 특성상 부식이 많이 진행될 수 있는 지역의 것으로서 고로 slag를 수재처리(고온의 slag에 물을 분사하여 냉각, 파쇄함)하므로써 slag성분을 함유한 물이 땅속으로 유입하여 부식이 촉진될 수 있는 지역의 파일(A pile)이다.

파일의 재질은 일반구조용 탄소강관 STK 41(JIS 규격)에 해당되며, 부식조사용 파일의 화학성분 및 기계적 성질을 각각 Table 1, Table 2에 나타내었다. Table 3은 고로 slag의 성분을 나타내며, 이들 각 성분들은 물속에 용해되어 부식촉진제로 작용하게 된다.

두께측정용 강 파일의 매 2m마다에서 적당한 크기의 시편을 절단하였으며, 절단된 각 시편의 세부위에서 강 파일의 두께를 측정후 산술평균으로 부식두께를 산출하였다. 각 부위에서의 두께측정은 부식생성물을 사포(sand paper)로 벗겨낸후 마이크로미터(micrometer)로 5~6회 측정하여 가장 낮은 값을 취하였다. 강 파일의 사용특성상 최대침식량보다는 평균두께감소가 더 중요한 인자이므로 깊이별 평균두께의 산출에 초점을 맞추어 측정을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 부식면의 Macro관찰

Fig. 2, Fig. 3은 각각 K-pile 및 A-pile의 매설깊이별 안쪽과 바깥쪽의 부식상태를 나타낸 것이다. K-pile의 경우 대체적으로 부식정도는 경미하게 보였으나 그림에서 보인 깊이 0m, 8m지점의 바깥쪽에서는 다른 부위에 비해 많은 부식이 진행되어 있

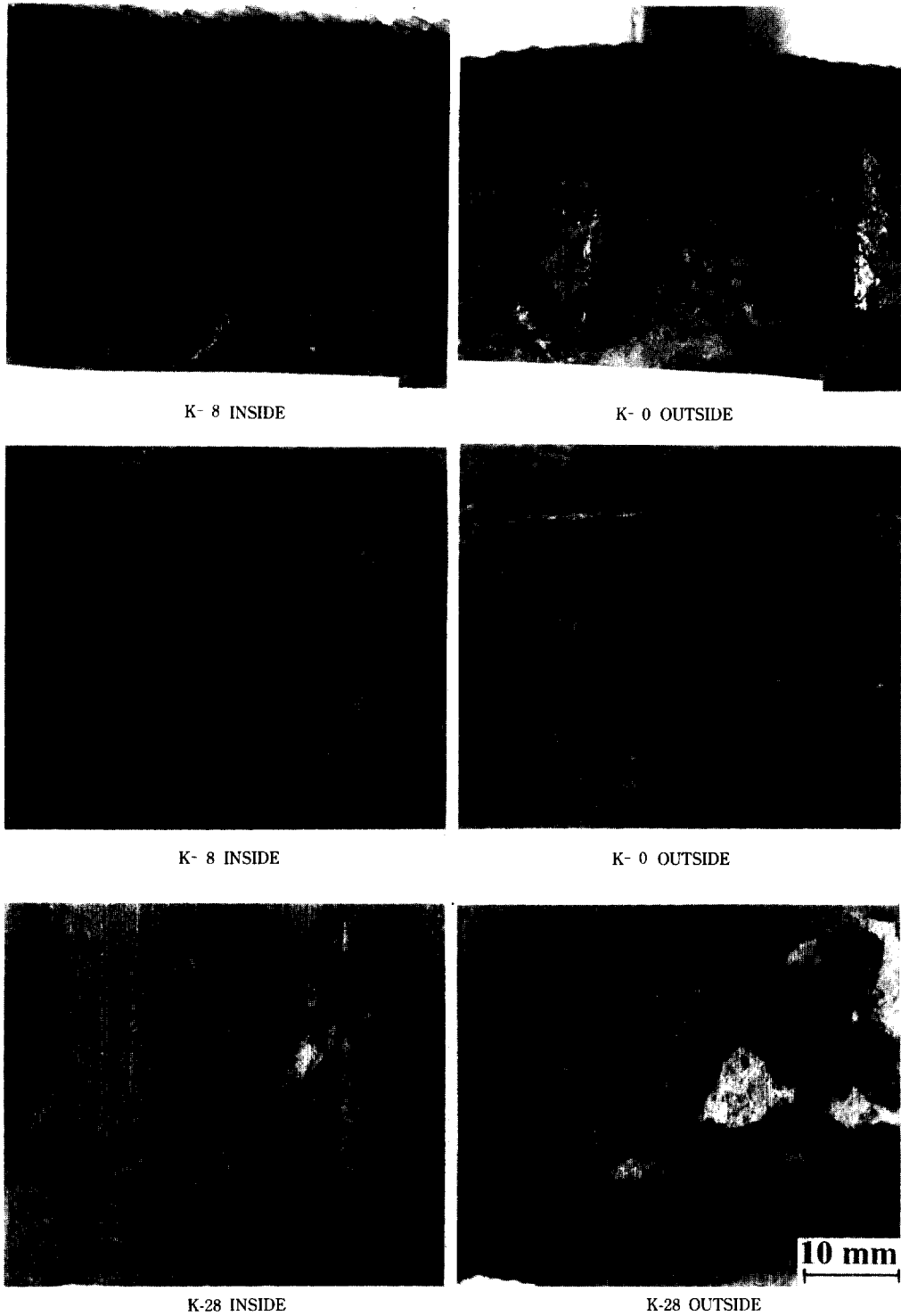


Fig. 2. Appearance of corroded surface of K-pile (Numbers indicate the depth in meter)

Table 1. Chemical composition of studied steel piles

(wt.%)

| | C | Si | Mn | P | S | Cu | Al | Ni | Cr | Mo |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| K-pile | 0.191 | 0.006 | 0.638 | 0.010 | 0.011 | 0.026 | 0.001 | 0.021 | 0.013 | 0.005 |
| A-pile | 0.220 | 0.015 | 0.830 | 0.010 | 0.010 | 0.015 | 0.001 | 0.025 | 0.016 | 0.006 |

Table 2. Mechanical properties of studied steel piles

| | Tensile strength (kgf/mm ²) | Yield strength (kgf/mm ²) | Elongation (%) |
|--------|--|--|-------------------|
| K-pile | 46.06 | 37.15 | 32.21 |
| A-pile | 44.16 | 35.92 | 31.16 |

있으며 28m지점의 안쪽과 같은 거의 원상태를 유지하고 있는 부위도 많았다. 대부분의 시편에서 파일의 안쪽보다는 바깥쪽에서 부식이 심한 것으로 관찰되었으며 이는 파일의 안쪽과 바깥쪽의 토양에 산소농도의 차이가 있기 때문으로 생각된다.

A-pile은 전반적으로 K-pile보다 심한 부식상태를

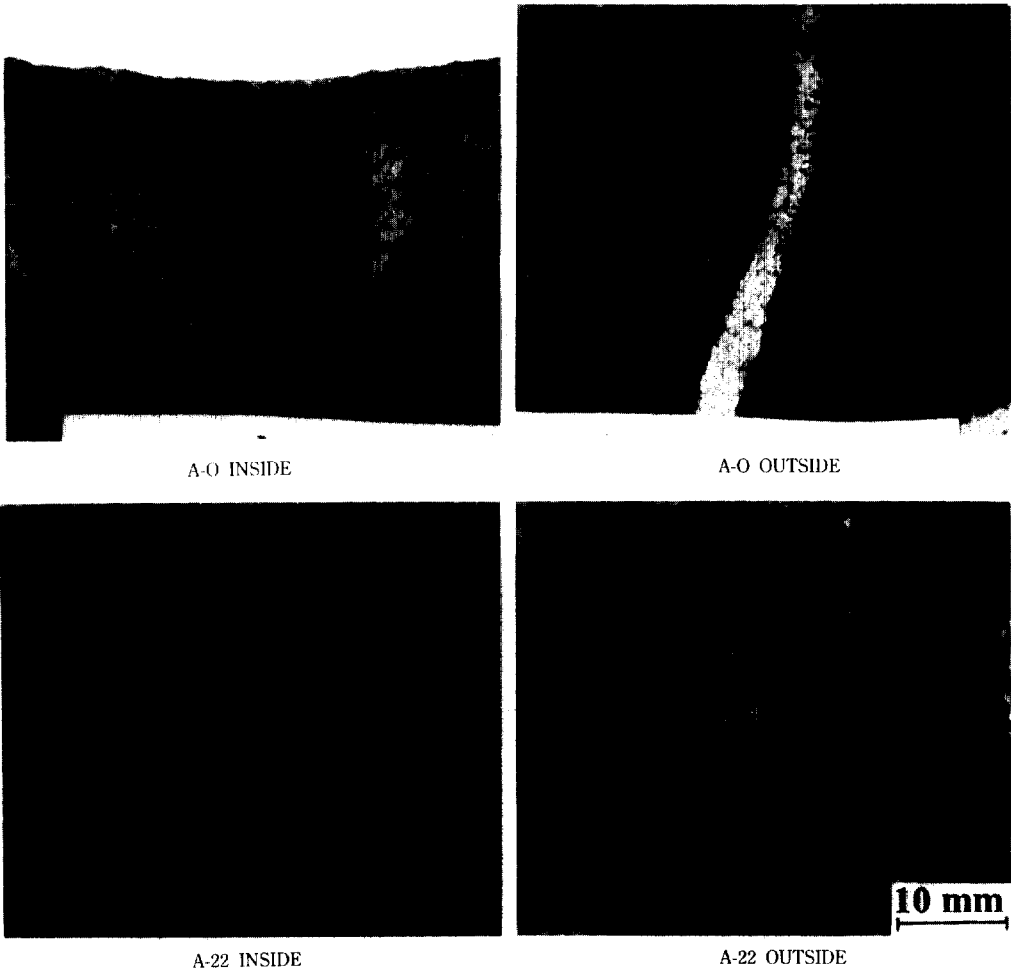


Fig. 3. Appearance of corroded surface of A-pile(Numbers indicate the depth in meter)

Table 3. Chemical composition of slag from blast furnace

(wt.%)

| SiO ₂ | CaO | Al ₂ O ₃ | MgO | TiO ₂ | FeO | MnO | S | P ₂ O ₅ |
|------------------|-------|--------------------------------|------|------------------|------|------|------|-------------------------------|
| 35.41 | 42.05 | 12.85 | 8.92 | 0.31 | 0.32 | 0.15 | 0.89 | 0.007 |

Table 4. Result of thickness measurement of K-pile

| Depth (m) | Thickness(mm) | | | Average | Average corrosion thickness (mm) |
|--------------|---------------|-------|-------|---------|-------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | |
| 0 | 7.485 | 7.667 | 7.604 | 7.585 | 0.315 |
| 2 | 7.802 | 7.703 | 7.747 | 7.751 | 0.149 |
| 4 | 7.815 | 7.751 | 7.742 | 7.769 | 0.131 |
| 6 | 7.605 | 7.636 | 7.697 | 7.646 | 0.254 |
| 8 | 7.620 | 7.673 | 7.658 | 7.650 | 0.250 |
| 10 | 7.647 | 7.820 | 7.675 | 7.714 | 0.186 |
| 12 | 7.740 | 7.665 | 7.733 | 7.713 | 0.187 |
| 14 | 7.776 | 7.798 | 7.809 | 7.794 | 0.106 |
| 16 | 7.774 | 7.789 | 7.792 | 7.785 | 0.115 |
| 18 | 7.798 | 7.774 | 7.797 | 7.790 | 0.110 |
| 20 | 7.803 | 7.784 | 7.815 | 7.801 | 0.099 |
| 22 | 7.807 | 7.822 | 7.820 | 7.816 | 0.084 |
| 24 | 7.824 | 7.842 | 7.855 | 7.840 | 0.060 |
| 26 | 7.646 | 7.763 | 7.720 | 7.710 | 0.190 |
| 28 | 7.646 | 7.555 | 7.842 | 7.681 | 0.219 |
| | Average | | | | 0.164 |

나타내고 있으며 K-pile과는 달리 파일의 안쪽과 바깥쪽 모두에서 부식이 많이 진행되었고, 깊이에 따른 부식정도의 차이는 K-pile보다 적은 편이었다. A-pile의 상부로 부터 각종 유해한 화학성분들을 함유한 용액의 계속적인 유입에 의해 파일의 안쪽과 바깥쪽 모두에서 지하수의 성분이 변화되고 pH도 산성쪽으로 변화되었을 것이므로 부식촉진은 당연한 결과로 사료된다.

4.2 부식두께

Table 4, 5는 각각 K-pile 및 A-pile의 깊이별 두께측정결과를 나타낸 것이며, Fig. 4는 파일의 원두께를 7.9mm로 취하였을때의 부식된 두께를 K-pile과 A-pile을 서로 비교한 것이다.

K-pile의 부식정도는 깊이에 따라 차이는 있으나 0.06~0.32mm의 범위이며 전체적인 평균부식두께

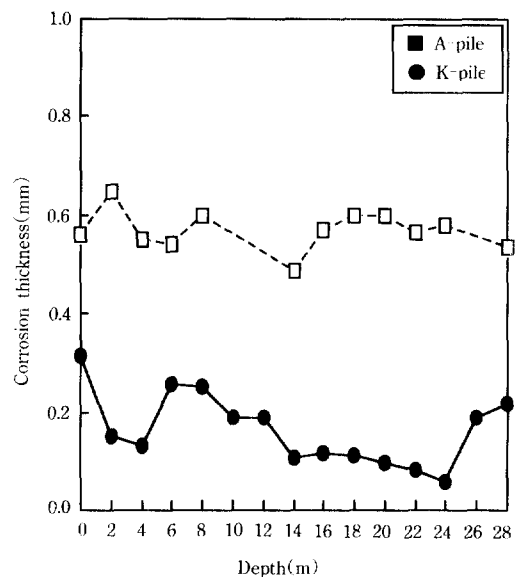


Fig. 4. Corrosion thickness of steel piles as a function of burial depth

Table 5. Result of thickness measurement of A-pile

| Depth (m) | Thickness(mm) | | | | Average corrosion thickness (mm) |
|--------------|---------------|-------|-------|---------|-------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | Average | |
| 0 | 7.322 | 7.314 | 7.382 | 7.339 | 0.561 |
| 2 | 7.315 | 7.309 | 7.130 | 7.251 | 0.649 |
| 4 | 7.288 | 7.346 | 7.406 | 7.347 | 0.553 |
| 6 | 7.352 | 7.349 | 7.383 | 7.361 | 0.539 |
| 8 | 7.329 | 7.286 | 7.284 | 7.300 | 0.600 |
| 10 | 8.756 | 7.040 | 8.549 | 8.115 | -(원두께 다름) |
| 12 | 10.787 | 7.672 | 7.739 | 9.399 | -(원두께 다름) |
| 14 | 7.428 | 7.415 | 7.394 | 7.412 | 0.488 |
| 16 | 7.330 | 7.324 | 7.330 | 7.328 | 0.572 |
| 18 | 7.173 | 7.266 | 7.461 | 7.300 | 0.600 |
| 20 | 7.251 | 7.330 | 7.319 | 7.300 | 0.600 |
| 22 | 7.369 | 7.358 | 7.279 | 7.335 | 0.565 |
| 24 | 7.147 | 7.366 | 7.443 | 7.319 | 0.581 |
| 28 | 7.364 | 7.349 | 7.379 | 7.364 | 0.536 |
| Average | | | | | 0.570 |

는 0.164mm 정도이다. 약 19년의 매설기간에 의한 이런 정도의 부식은 NBS(National Bureau of Standards)의 장기간 매설시험에 의한 각지역(44종류의 토양)에서의 평균부식속도 0.021mm/yr보다 훨씬 낮은 0.0086mm/yr의 속도를 나타내고 있다. 그러나 NBS 시험중 부식성이 낮은 모래질 토양의 부식속도 0.005mm/yr에 비해서는 다소 높은 값을 나타내고 있으며, 이러한 사실은 영일만 매립지역의 토양이 깊이에 따라 변화는 있지만 모래질의 이토를 약 10% 함유하고 있기 때문으로 사료된다. 일반적으로 점토의 경우는 비저항이 낮고 부식성이 크며 모래 또는 자갈로 이루어진 토양일수록 비저항이 커져 부식성이 적기 때문에 영일만 매립지역의 부식속도가 일반적 토양에서 보다는 낮고 순 모래질에서 보다는 약간 높은 것은 매우 타당한 결과로 사료된다. 매설깊이에 따른 부식정도의 변화에 대한 명확한 관계는 정립하지 못하나, 일반적으로 모래질 토양의 경우는 깊이가 깊을수록 부식량이 감소하고 점토질의 경우는 부식량이 많아진다는 시험결과가 보고되고 있다.¹⁾ K-pile의 경우에도 매설깊이에 따라 부식정도의 증가 또는 감소를 단적으로 나타낼 수 없는

상태이나, 모래질의 토양이 많기 때문에 깊이가 깊을수록 부식정도가 적은 것이 타당할 것이며 실제로 깊이가 14m~24m에서는 매우 작은 부식량을 나타내고 있다.

A-pile의 부식두께는 전체 평균 약 0.57mm이며 부식속도는 0.03mm/yr로서 일반적인 토양의 평균 부식속도보다 크다. 평균부식두께에 비해 깊이별 편차는 그다지 크지 않으며 최대부식두께는 깊이 2m에서 0.640mm, 최소부식두께는 깊이 14m에서 0.488mm이었다. 이러한 경향은 깊이에 따른 토양의 성분변화보다는 지표로부터 유입되는 각종 유해물질, 즉 slag에 포함되어 있던 유해가스, 산화물, 무기산, 중금속성분 등에 의해 부식속도가 큰 영향을 받게됨을 나타내준다.²⁾

4.3 부식물 분석

부식된 파일 표면의 부식생성물 분석을 위해 K-pile 및 A-pile의 지표부근과 깊이 16mm지점의 시편에서 파일의 안쪽과 바깥쪽면으로 부터 부식생성물을 채취하여 XRD(X-ray diffraction)방법으로 성분조사를 하였다. Fig. 5는 K-pile의 지표부근에서의

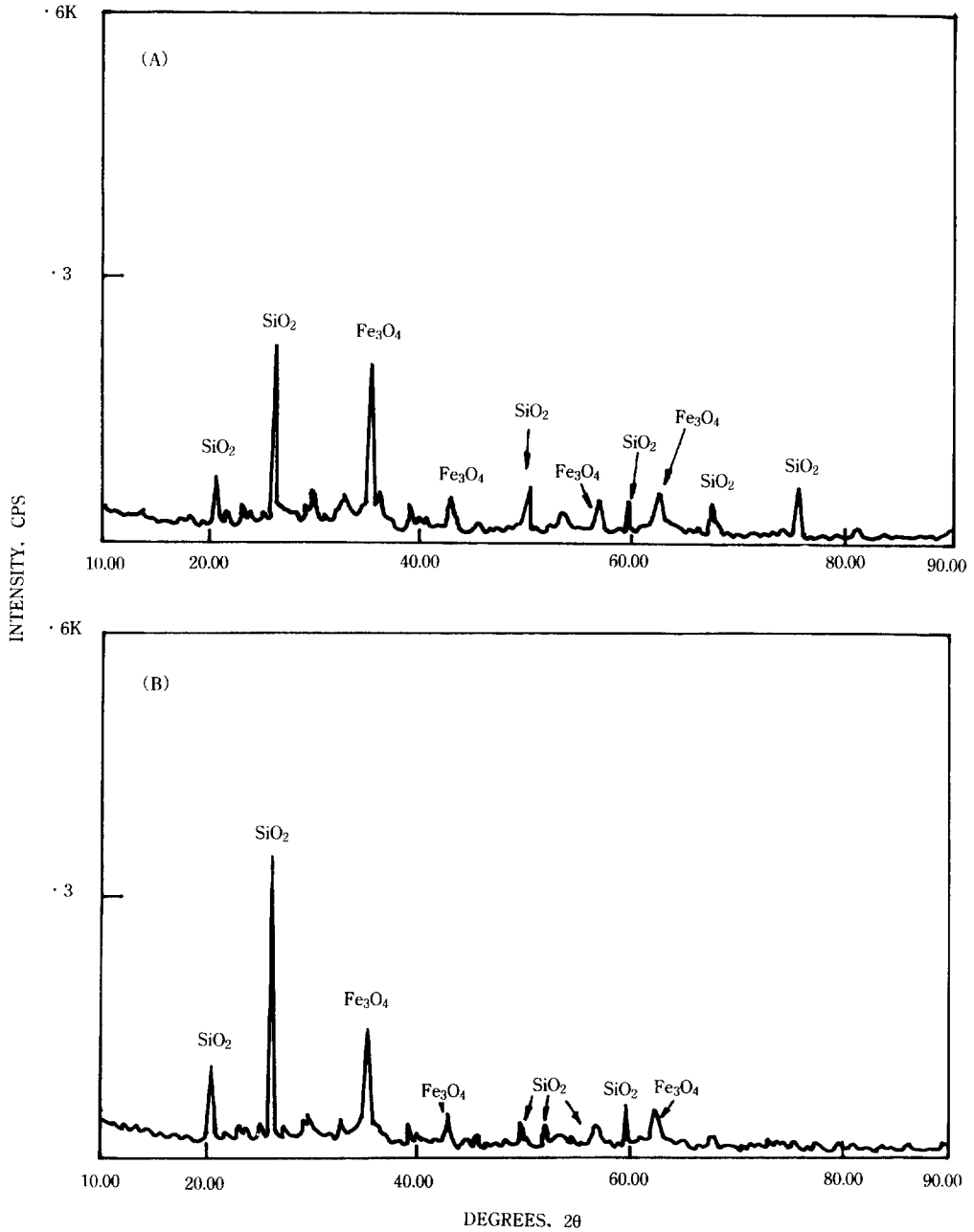


Fig. 5. XRD analysis of corrosion product on K-pile(0m)
 (a) Inside (b) Outside

부식생성물 분석결과이며 Fig. 6은 16m지점에서의 분석결과이다.

모든 시료에서 부식물의 주성분은 Fe₃O₄로 나타나고 이러한 경향은 A-pile의 경우도 마찬가지이었

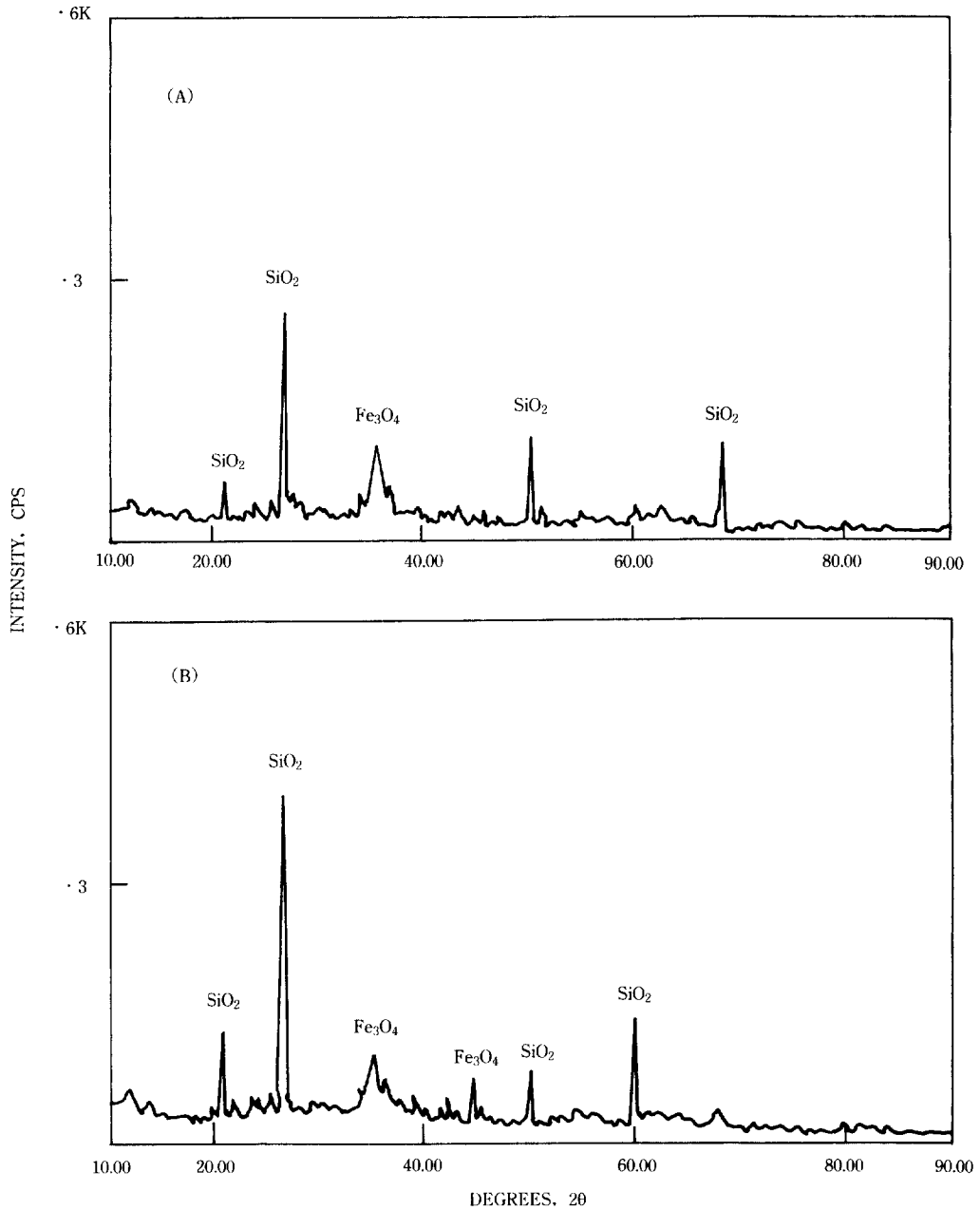


Fig. 6. XRD analysis of corrosion product on K-pile(16m)
(a) Inside (b) Outside

다. 분석결과에 SiO_2 는 부식물 시료의 채취시에 토양성분인 모래가 함께 혼합되어 있었기 때문으로 보인다.

5. 결 론

영일만 매립지역에 19년간 매설되어 있던 일반

구조용 탄소강관으로된 강 파일의 부식조사결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 모래질이 주성분으로 되어 있는 영일만 매립지역에서의 강 파일 부식정도는 대체적으로 경미한 상태이었고, 파일의 안쪽보다는 바깥쪽에서 부식이 더 진행되었으며, 매설깊이에 따른 부식정도의 변화는 불규칙적이어서 깊이와 부식속도사이에 명확한 상관관계가 나타나지 않았다.

2) 영일만 매립지역에서 강 파일의 19년간 부식 두께는 0.06~0.32mm, 평균 0.164mm 정도이었으며 부식속도는 0.0086mm/yr로써 NBS의 장기간 매설 시험의 평균부식속도 0.021mm/yr보다 낮은 수준이었다. 그러나 제철 slag성분이 유입되는 지역에서는

부식속도가 0.03mm/yr로써 일반토양의 평균부식속도 보다 높은 것으로 나타났다.

3) 강 파일 표면에 생성된 부식물은 매립깊이, 지역에 관계없이 Fe_3O_4 가 주성분이었다.

참 고 문 헌

1. M. Romanoff : "Underground Corrosion", Issued by National bureau of standard, published by National Association of Corrosion Engineer, 1989
2. 日本腐蝕防蝕協會編 : "金屬防蝕技術便覽", 機電研究社, 1980