

철근부식확률에 의한 국내 철근콘크리트조 아파트구조물의 잔여수명 검토에 관한 연구

A Study on the Investigation of Remaining Life for the Domestic
Reinforced-Concrete Apartment by the Corrosion Probability of
Reinforcing-steel

	○ 강 석 표 [*]	김 규 용 [*]	권 영 진 ^{**}
	Kang, Suk-Puo	Kim, Gyu-Yong	Kwon, Young-Jin
정 성 철 ^{***}	이 덕 찬 ^{****}	송 병 창 ^{****}	김 무 한 ^{*****}
Jung, Sung-Chul	Lee, Duck-Chan	Song, Byung-Chang	Kim, Moo-Han

ABSTRACT

This study is to investigate on the remaining life of reinforced concrete apartment by using the probability of a reinforcing-steel corrosion and the carbonation tendency of domestic reinforced concrete apartments by using the statistic method. The results are as follow.

- To compare with the carbonation velocity of Kishitani's formula ($x=3.727\sqrt{t}$) when water-cement ratio is $w=0.6$, $R=1$, it is founded out that the carbonation velocity is slow a little in all area investigated and inland area, and fast a bit in coastal area.
- In the influencing factors in regard to the probability of reinforcing-steel corrosion, It seems that the influence of elapsed time is more effective than that of region. Therefore, it is necessary that it makes sure of the cover depth under apartment construction in recent so far as the durability is considered.

1. 서론

콘크리트의 노후화 및 내력을 중심으로 콘크리트의 노후화 및 내력을 중심으로 콘크리트 구조물의 수명을 생각한 경우에는 다음 그림 1에서 보는 바와 같이 중성화수명설, 부식균열수명설, 내력한계수명설 등을 들 수 있다.¹⁾

그러나 중성화수명설은 너무 안전측이고, 내력한계수명설은 너무 위험측에 속하므로 t_2 의 시점을 수명으로 하는 것이 가장 합리적이라고 평가되고 있다. 그러나 부재 혹은 구조물의 수준을 생각하게 되면 철근의 수는 대단히 많고 환경조건에 의해 t_1 으로부터 t_2 에 달할 때까지 시간이 달라지고 있기 때문에 환경조건 및 부재중요소별로 나누어 통계적인 개념을 설정한 정량적인 판단이 필요할 것으로 판

* 정회원, 충남대학교 건축공학과 대학원

** 정회원, 쌍용엔지니어링, 진단보수팀과장·공박

*** 정회원, (주) 대우건설차장

**** 정회원, 주택연구소 선임연구원, 책임연구원

***** 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수·공박

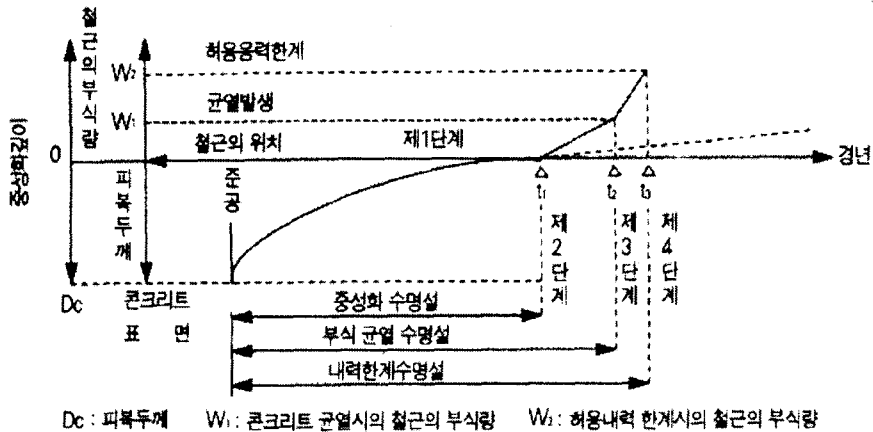


그림 1 콘크리트 구조물의 수명

단된다.

和泉은 환경조건, 부재, 철근의 종류별로 t_2 에 달하고 있는 비율에 의해 수명을 정량적으로 정의하는 방법을 제안함으로써 신뢰성 공학을 도입하여 정량적인 확률을 척도로 잔여수명 예측을 수치적으로 계산하는 것을 가능하게 하였다.

따라서 본 연구는 실태조사를 통하여 국내 철근콘크리트조 아파트의 중성화 경향 및 철근부식확률을 이용한 잔존수명을 예측 및 검토함으로써 향후 철근콘크리트조 아파트의 유지·관리 및 보수 시스템확립의 기초자료를 확보하고자 한 것이다.

2 연구의 개요 및 범위

2.1 연구의 개요

국내 철근콘크리트조 아파트의 잔여수명을 검토하기 위한 본 연구는 연구의 프로세스를 나타낸 그림 2에서 알 수 있는 바와 같이 전국 8개지역 42개단지 85개동 아파트의 중성화 실태조사 데이터 및 철근 피복두께 데이터를 이용하여 통계적 수법의 적용에 의한 지역별 중성화 속도를 산정하고, 일본의 和泉등에 의해서 제안된 잔존 수명예측기법을 적용하여 경과년수 및 지역별에 따른 철근 부식확률로써 잔여수명을 검토함으로써 향후 철근콘크리트조 아파트의 유지·관리 및 보수 시스템확립의 기초자료를 확보하고자 한다.

2.2 연구의 범위 및 실태조사 방법

본 연구를 위한 실태조사는 예비실태조사를 3개지역(부산, 전주, 서울) 8개 아파트단지에서 행한 후 이를 바탕으로 본 실태조사의 측정항목 및 방법을 설정한 후 전국 8개지역(대전, 군산, 강릉, 서울, 포항, 부산, 여수, 대구)에서 총 42개단지 85개동의 철근 콘크리트조 아파트를 대상으로 97년 8월 26일부터 11월 6일까지의 기간동안 중성화 및 피복두께에 대한 실태조사를 행하였다.

중성화 실태조사시 조사개소는 철근콘크리트조 아파트의 외벽중 축벽의 구조부재 콘크리트부위에서 노후화 부위 및 건전부위를 분류하여 각각 5점씩을 선정하였으며, 측정방법으로서는 직경 15mm의 구멍을 뚫은 후 페놀프탈레인 1% 용액을 분무하여 변색된 부위까지의 깊이를 측정하는 알콜용액법을 이용하였다. 또한 피복두께는 거주하고 있는 아파트를 대상으로 하였기 때문에 비파괴적인 조사방법으로서 철근탐사기(PROFOMETER3)를 이용하여 철근콘크리트조 아파트의 구조 외벽 피복두께를 50회 측정하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 중성화 속도식의 결과 및 분석

1) 데이터 선별

중성화 깊이와 경과년수와와의 관계에 대하여 검토한 연구^{2),3)}는 많이 있으며, 이 중 浜田박사가 1928년에 발표한 것⁴⁾과 岸谷교수에 의해 제안된 추정식⁶⁾이 일반적으로 많이 이용되고 있다.

이러한 중성화 속도식($t = A \cdot x^2$)에서 시간을 독립변수로 하고 중성화 깊이를 종속변수로 하면, 중성화 깊이는 시간의 제곱근에 비례하는 식으로 변환된다. 즉, $x = A^{-1} \sqrt{t}$ 가 된다.

실태조사에서 나타난 경과년수별 중성화 깊이 자료를 다음과 같은 식으로 회귀시켜 계수 A를 구하였다.

$$x = A \sqrt{t}$$

또한, 본 연구에서는 계수 A를 구하는데 있어서 골재나 혼화제의 종류에 따른 적용값이 확립되지 않은 상태에서 실태조사 결과만을 대상으로 하므로 세부적으로 기존의 식을 이용하기가 어렵기 때문에 역으로 중성화 속도정수라는 이름으로 실태조사 자료를 이용하여 구한 것이며, 당연히 이 계수는 콘크리트의 중성화에 영향을 미치는 여러 요인들 즉, 콘크리트, 마감재, 환경조건 등에 의해 정해될 것이다.

본 연구에서의 중성화 속도식은 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 중성화 깊이가 경과년수의 제곱근에 비례한다는 기본 가정을 그대로 받아들이고, 회귀분석에서 잔차가 큰 데이터를 제거하였다. 제거기준은 표준화 잔차가 1.5이상인 것으로 하였으며 2회에 걸친 제거작업으로 전체 85개동 중에서 60개동의 아파트를 선정하였다.

2) 중성화 속도식의 종합적 검토

각 지역별 중성화 속도를 살펴보면 표 1 및 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 조사대상 전체 지역의 중성화 속도정수는 3.500, 내륙지역의

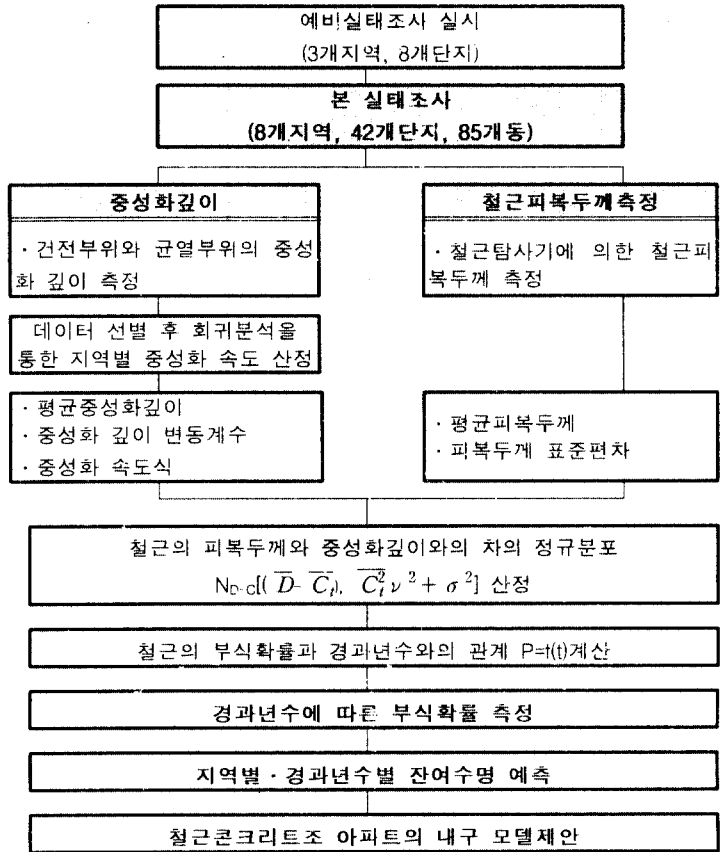


그림 2 본 연구의 프로세스

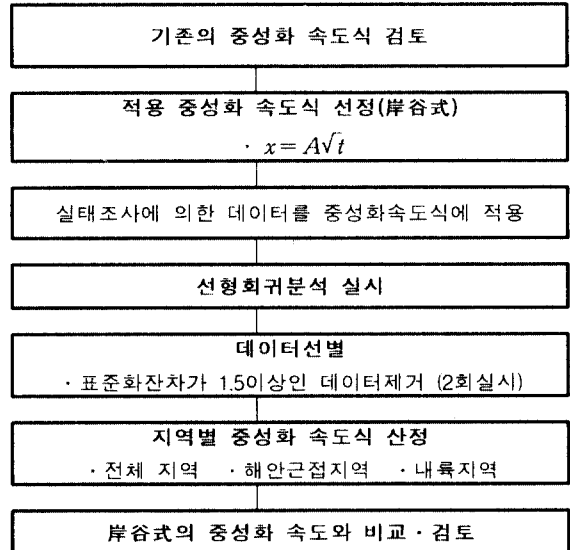


그림 3 중성화 속도식 선정 프로세스

중성화 속도정수는 3.088, 해안지역의 중성화 속도정수는 4.026으로써 $w=0.6$, $R=1$ 일 때의 岸谷式 중성화 속도 정수 3.727과 비교하면, 조사대상 전체 지역 및 내륙지역에서는 약간 느리게 해안지역에서는 약간 빠르게 평가되며, 해안지역이 내륙지역보다 약 1.3배 빠르게 중성화되는 것으로 나타났다.

이는 내륙지역에 비하여 해안지역에서의 풍속, 대기중 염분량, 비발염분 등 환경적인 요인들이 도장면 및 콘크리트 표면의 열화를 가져왔기 때문에 나타나는 현상으로 사료되며, 향후 이에 따른 구체적인 연구가 시행되어야 할 것으로 판단된다.

3.2 잔여수명의 검토 및 분석

1) 철근부식 확률의 산정

97년 8월 26일부터 11월 6일까지 실시한 실태조사 대상 아파트 8개지역 42개단지 85개동 중에서 선별된 60개동의 아파트를 대상으로 철근 부식확률을 산정하기 위하여 중성화 깊이, 피복두께의 평균, 표준편차 및 변동계수를 구하였다. 또한 중성화 깊이는 경과년수의 제곱근에 비례한다는 일반적인 중성화 속도식인 $\bar{C}_t = A\sqrt{t}$ 에서 평균 중성화깊이와 조사 당시의 경과년수를 대입한 후 각 조사대상 아파트의 중성화 속도 정수 A를 구하였다.

철근부식 확률 P(%)는 그림 5에서 알수 있는 바와 같이 피복두께 및 중성화 깊이 분포의 공통된 부분으로서 정규분포표를 이용하여 각 조사대상 아파트 경과년수 t년에서의 중성화 깊이 \bar{C}_t , $(D-C_t)$, $\sqrt{C_t^2 \nu^2 + \sigma^2}$, $|\bar{D} - \bar{C}_t| / \sqrt{C_t^2 \nu^2 + \sigma^2}$ 를 계산함으로써 산정하고 이를 바탕으로 잔여수명을 검토 및 분석하였다.

2) 경과년수에 따른 잔여수명 검토

선별된 60개동 아파트의 평균 철근부식확률은 경과년수 60년에 22.5%로서 상한 철근부식확률을 30%로 보았을 경우⁴⁾ 조사대상 아파트의 평균 잔여수명은 60년 이상인 것으로 나타났다.

또한 경과년수에 따른 철근 부식확률을 살

표 1 각 지역별 중성화 속도식의 비교

대상	중성화 속도식	비고
岸谷式	$X = 3.727\sqrt{t}$	W=0.6, R=1일 경우
전지역	$X = 3.500\sqrt{t}$	대상 : 60개동
내륙지역	$X = 3.088\sqrt{t}$	대상 : 30개동
해안지역	$X = 4.026\sqrt{t}$	대상 : 30개동

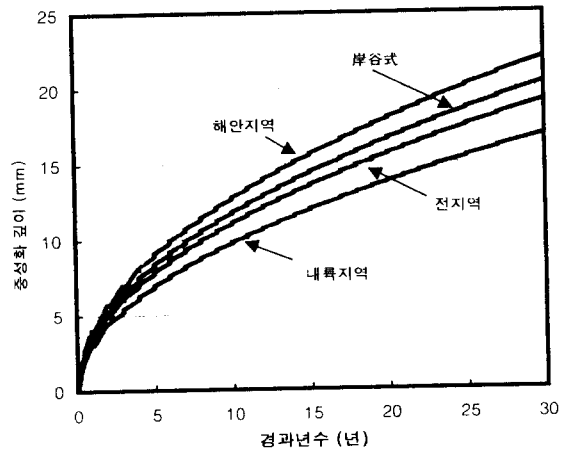


그림 4 각 지역의 중성화 속도식

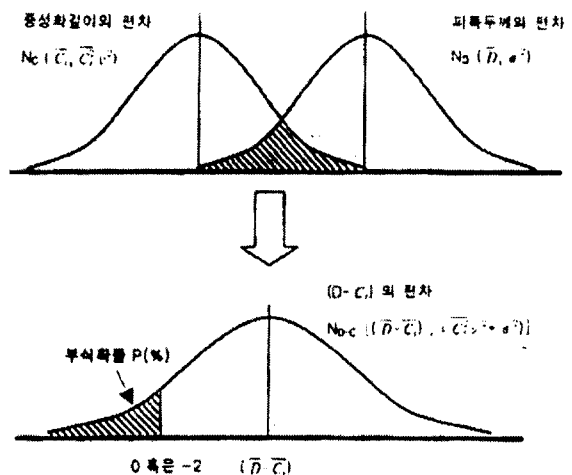


그림 5 철근 피복두께와 중성화 깊이 차의 분포

피보면 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 조사 당시 경과년수가 짧을수록 중성화 속도식과 유사하게 철근 부식확률이 높게 나타났으며, 특히 경과년수 10년 이내의 아파트에서 철근 부식확률이 특히 높은 것으로 나타났다.

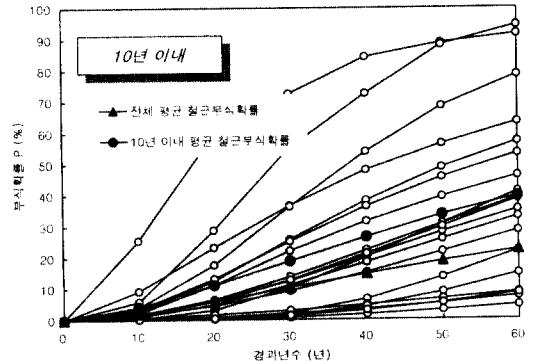
경과년수 10년 이내의 대상 아파트 경우 20개동 중 7개동의 아파트에서는 전체 평균 철근부식확률 보다 높게 나타나고 있으며, 더욱이 경과년수 50년에 철근부식확률은 33.6%를 보이고 있어 전체 대상 아파트의 평균 잔여수명보다 약 20년 정도 짧아 질 것으로 예상된다. 이는 10년 이내의 최근 아파트 경우 콘크리트 표면에 도장 마감하였기 때문에 상대적으로 피복두께가 작고 중성화 속도가 빠르기 때문에 철근부식확률이 높게 나타난 것으로 사료된다.

경과년수 10~19년 대상 아파트의 경우 경과년수 10년 이내의 아파트에서 보다 상대적으로 낮은 철근부식확률을 보이고 있으며, 경과년수 60년에서의 평균 철근부식확률은 18.51%로서 상한 철근부식확률 미만인 것으로 나타났다. 그러나 22개동 중 5개동의 아파트는 경과년수 60년에 상한 철근부식확률 30%를 초과하고 있는데 이들 아파트는 주로 여수, 포항등 해안근접지역에 위치하고 있으며 중성화속도 정수 A는 0.47이상으로 중성화가 빠르게 진행하고 있다.

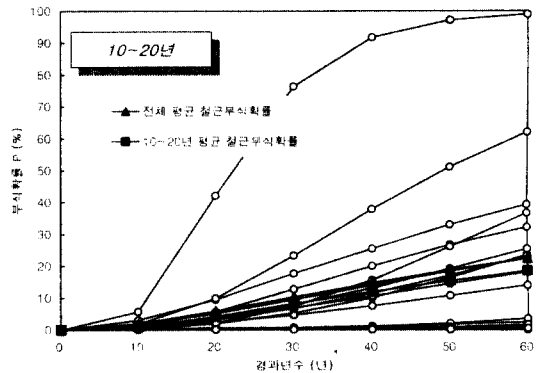
경과년수 20년 이상의 대상 아파트의 경우 상대적으로 경과년수 20년 미만인 아파트에 비하여 낮은 철근부식확률을 보이고 있는데 이는 외벽 콘크리트에 모르타와 도장으로 마감하여 상대적으로 피복두께가 증가함과 아울러 중성화 속도를 억제시키는 효과가 있었기 때문으로 사료된다.⁶⁾

3) 지역에 따른 잔여수명 검토

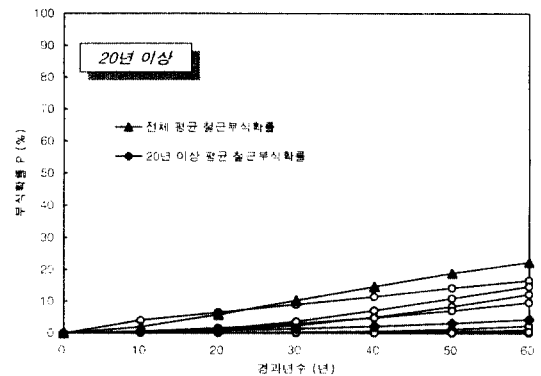
해안 근접지역 및 내륙지역에서의 철근 부식확률은 그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 중성화 속도 결과와 마찬가지로 해안근접지역이 내륙지역에 비하여 상대적으로 높게 나타나고 있지만 경과년수 60년의 평균 철근부식확률은 해안 근접지역에서 26.52%이지만 내륙지역에서는 18.10%로서 상한 철근부식확률 30% 미만이었다. 이는 해안 근접지역 및 내륙지역에서의 평균 피복두께는 각각 4.91cm, 5.06cm로서 거의 차이를 보이고 있지 않으나, 중성화 속도 정수 A는 각각 4.03, 3.09로서 해안근접지역의 중성화 속도가 내륙지역에 비하여



(a) 경과년수 10년 이내

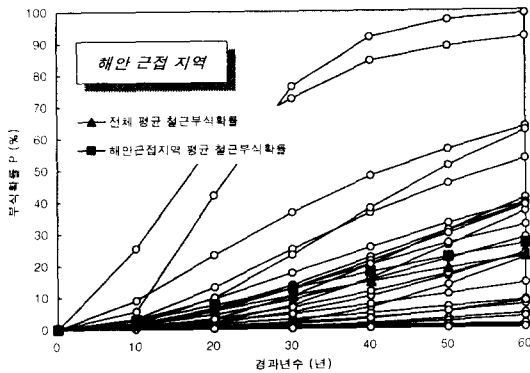


(b) 경과년수 10~20년

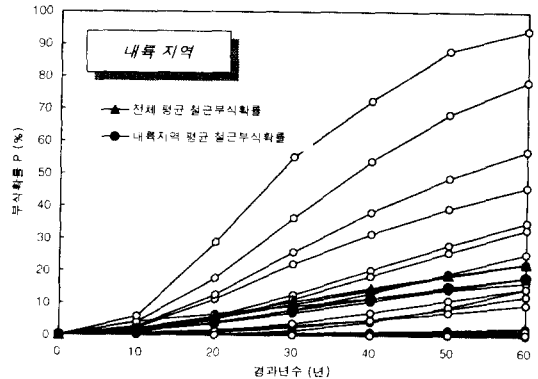


(c) 경과년수 20년 이상

그림 6 경과년수에 따른 철근부식확률



(a) 해안근접지역



(b) 내륙지역

그림 7 지역별 철근 부식확률

상대적으로 빠르게 진행되었기 때문에 사료된다.

4. 결 론

국내 철근콘크리트조 아파트의 실태조사를 바탕으로 중성화 속도 및 철근부식확률에 의한 잔여수명을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 1) 물시멘트비 $w=0.6$, $R=1$ 일 때의岸谷式($x = 3.727 \sqrt{t}$)과 비교한 각 지역별 중성화 속도는 조사대상 전체 지역 및 내륙지역에서는 약간 느리게 해안지역에서는 약간 빠르게 평가되며, 해안지역이 내륙지역보다 약 1.3배 빠르게 중성화되는 것으로 나타났다.
- 2) 조사 당시 경과연수가 짧을수록 중성화 속도식과 유사하게 철근 부식확률이 높게 나타났으며, 특히 경과연수 10년 이내의 아파트에서 철근 부식확률이 특히 높은 것으로 나타났다. 이는 10년 이내의 최근 아파트 경우 콘크리트 표면에 도장 마감하였기 때문에 상대적으로 피복두께가 작고 중성화 속도가 빠르기 때문에 철근부식확률이 높게 나타난 것으로 사료된다.
- 3) 해안 근접지역 및 내륙지역에서의 철근 부식확률은 내륙지역에 비하여 해안 근접지역에서 상대적으로 높게 나타나고 있다.

감사의 글

본 연구는 1997년 충남대학교, 대한 주택공사 주택연구소, (주) 대우건설, 쌍용엔지니어링(주)의 공동연구에 의해 수행된 연구내용 중 일부임을 밝히며, 본 연구를 위하여 협조해 주신 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

<참고 문헌>

1. 伊部 博, 덴리트·리프리트工法と土木構造物への応用, 橋梁, 1986. 10
2. 耐用性研究會, 構築物の耐用性診断とその對策, 彰國社, pp. 49~67, 1976
3. 建設工業開發センター, 建物の損傷と對策, pp. 121~142, 1984
4. 建設大臣官房技術調査室監修, 打放しコンクリート外壁の補修·改修技術, 建築保全センター, pp. 53~67, 1992
5. 福島敏夫, 鐵筋コンクリート造建築物の寿命, 技報堂出版社, 1990.
6. 和泉意登志·喜多達夫·前田照信, 콘크리트構造物의 耐久性 시리즈 -中性化-, 1988. 3