

철근이 부식된 철근콘크리트 기둥의 구조성능 평가에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Evaluation of Structural Performance on Corroded Reinforced Concrete Columns

원 종 호* 한 남 희** 정 란***
Won, Jong Ho Han, Nam Hee Chung, Lan

ABSTRACT

This paper presents an experimental study on evaluation of structural performance on corroded reinforced concrete columns under only axial load, combined axial load and lateral load. This test was carried on the twenty-six reinforced concrete columns with $150 \times 150 \times 800$ mm size subjected to combined axial load and lateral load. Effects of key variables such as the corrosion level, the number of hoop, the corrosion of hoop are studied in this program. The results of this study show that the capacity of column axial force was decreased as corrosion level was increased, especially, rapid development was shown after 10% corrosion level and the maximum moment capacity of column was shown at corrosion level 1.2%, while rapid decrease was shown after 4.3% corrosion level. Also we found that influence of corrosion was decreased to number of tie bar was increased.

1. 서론

우리 나라의 경우 경제성장과 산업발달 단계에서 건설공사가 급격히 증가되고 대형화되면서 양질의 하천골재 부족으로 인하여 콘크리트용 골재로 상당량의 바다모래를 사용하게 되었으며, 염분을 충분히 제거하지 않은 해사를 그대로 사용함으로써 철근콘크리트 구조물의 내구성이 크게 저하되며, 철근 부식으로 인해 콘크리트 구조물의 성능이 저하되는 주요한 요인이 되고 있다. 신설 구조물의 건설비용이 엄청나며 구조물의 보수나 보강에 상당한 비용이 소요될 뿐만 아니라 만약 붕괴사태가 발생할 경우 그 파급효과는 경제적, 기술적 차원을 넘어 국가와 기술자에 대한 불안을 조장하며 국제사회에서 경쟁력의 약화와 신뢰성 상실로 이어지게 된다. 그러므로, 본 연구에서는 염화물에 의해 부식이 발생한 구조물의 내력저하 정도 및 구조적 거동 특성을 파악하여 그에 대한 보수 및 보강 설계 기준평가를 위한 기초자료를 제시 하고자 한다.

* 정회원, 단국대학교 대학원 석사과정

** 정회원, 단국대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 단국대학교 건축공학과 교수

2. 실험

2.1 실험 변수

본 연구는 철근이 부식된 철근콘크리트 압축부재의 구조성능을 파악하기 위하여 부재 내의 철근을 전위차 부식측진법을 사용하여 정량적으로 부식시켰으며 연구의 목적을 위하여 기둥의 부식정도, 띠근간격, 띠근의 부식 유·무를 변수로 두어 각각의 내구성을 측정하였다.

표 1. 시험체 변수

부식도(%)	띠근 개수	띠근의 부식 유·무
0, 2, 6, 10, 15, 20	5, 2, 0	부식유, 부식무

2.2 시험체의 제작

시험체는 실험실의 조건과 시험체의 구조적 거동을 적합하게 나타낼 수 있는 크기로 계획하였으며 연구의 목적을 위하여 그림 1.과 같이 시험체를 계획하여 휨 및 압축에 의해 최대내력에 도달하도록 설계하였다. 본 연구의 목적을 위하여 시험체는 총 26개에 대하여 각각의 변수에 대하여 하나씩 제작하였다. 시험체는 배합강도 180kgf/cm² 레미콘 타설하였으며 공시체의 28일 압축강도 실험결과 콘크리트의 평균 압축강도는 191kgf/cm²이었다. 타설 후 대기양생하였으며 완성된 시험체는 전원공급장치를 이용하여 부식시켰다.

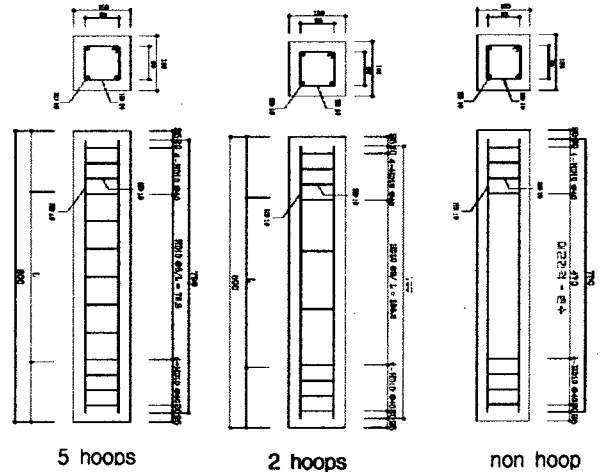


그림 1. 시험체 단면 상세

2.3 실험방법

기둥의 순수한 압축내력 성능을 평가를 위해서 실험체의 중심 축 하중을 가력하여 각 시험체에 대하여 응력-변형도, 최대하중을 비교하는 방법으로 실험을 수행하였다. (방법 1)

또한, 기둥의 구조적 성능을 평가를 위해서 축력과 모멘트가 동시에 작용하도록 가력하여야 한다. 특히 부식이 발생한 기둥의 경우, 모멘트에 의한 내력저하에 비하여 축력의 내력저하는 상대적으로 작으므로 축력과 휨하중을 분리하여 가력하는 보-기둥 방식으로 실험을 수행한다. 즉, 실험체에 축력(설계강도의 약 35%)을 가하고 다시 중앙부에서 휨력을 가력하여 모멘트를 발생시키는 방법으로 실험을 수행하였다. (방법 2)

측정위치와 가력은 그림 2.와 그림 3. 과 같으며, 시험체의 응력에 대한 변형을 측정은 변위측정기에 의해 얻어진 하중-변위값을 이용하여 응력과 변형률 값을 계산하여 그래프로 나타내었다.

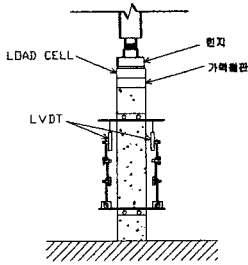


그림 2. TEST SET-UP 1

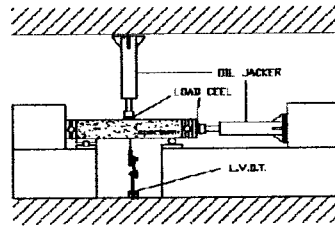


그림 3. TEST SET-UP 2

3. 실험결과 및 분석

3.1 실험 1

표 2. 실험결과 일람표

시험체명	주근의 실제부식도(%)	띠근의 실제부식도(%)	최대하중 (tf)	최대하중 시		
				용력(kg/cm ²)	변형률	
CO-IX-1	0	0	50.4	218.6	0.0014	
CO-IIIX-1			47.8	212.2	0.0014	
CO-IIIIX-1			41.8	185.7	0.0011	
C2-IX-1			40.8	181.1	0.0012	
C3-IX-1	1.8	0	42	186.6	0.0011	
C6-IX-1	5.4		46.5	206.6	0.0014	
C10-IX-1	10.2		38.9	172.8	0.0014	
C10-IIIX-1	9.2		32.7	145.2	0.0010	
C10-IIIIX-1	10.7		31.2	138.8	0.0008	
C10-IIIO-1	8.9		17.4	31.7	140.6	0.0009
C15-IX-1	12.3		0	24.6	106.6	0.0008
C15-IO-1*	14.6	20.1	45.7	203.2	0.0014	
C20-IO-1*	23.7	39	45.4	202	0.002	

3.1.1 부식도의 영향

용력-변형도 곡선이 직접적으로 강성의 크기를 나타내는 것은 아니지만, 기울기를 통해 상대적 강성을 비교할 수 있으며 이를 정리하면 그림5와 같다. 띠근 개수가 5개인 시험체는 부식량이 증가함에 따라 시험체의 강성 및 최대하중은 감소되었으며, 부식도 0, 1.7, 2.1%의 시험체는 미소한 차이의 용력-변형도 곡선의 기울기를 가지고 있는 반면, 실제 부식도 10.2, 12.3%의 시험체는 상당한 강성의 차이를 보였으며 취성적 파괴양상을 나타내었다.

실험에서 나타난 최대하중을 비교, 분석하였으며 그림 4와 같다. 부식도가 증가함에 따라 띠근 개수가 5개인 시험체의 압축내력은 부식도의 증가량에 따라 감소의 경향을 보였으며 특히, 부식도 2%정도에서 기준시험체 최대내력에 비하여 20%의 내력감소를 나타내었다. 그리고 부식도 10%정도까지 서서히 내력이 감소하다가 부식도 10% 이후에는 급격한 감소를 나타내었다. 부식도 10%의 시험체는 부식도 0%의 기준시험체

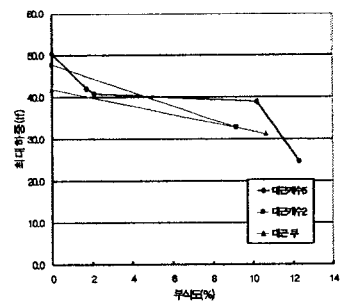


그림 4. 실제 부식도에 따른 최대하중 비교

에 비해 최대하중이 23% 감소하였다. 또한, 띠근이 2개 또는 없는 부식도 10%의 시험체는 부식도 0%의 기준 시험체에 비해 최대하중이 각각 31, 25% 감소하였다. 결국, 띠근 개수는 철근이 부식된 철근콘크리트 기둥의 중심축 하중에 대한 내력에 큰 영향을 주지 못하는 것으로 판단되어 진다. 다만 연성의 증진에는 다소 기여하는 것으로 보여진다.

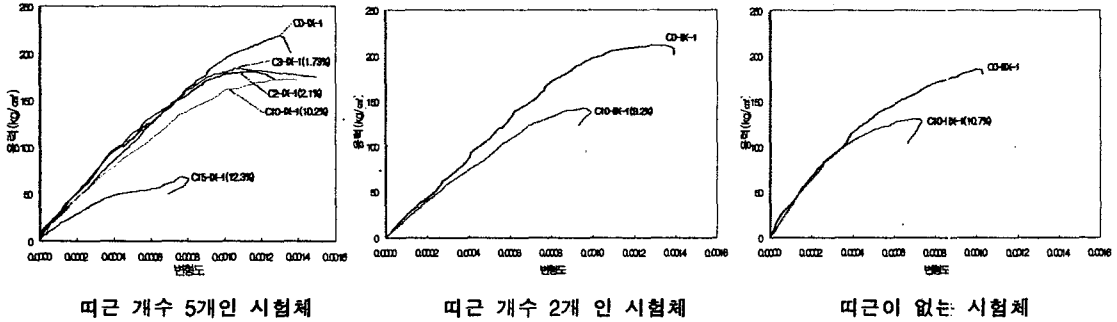
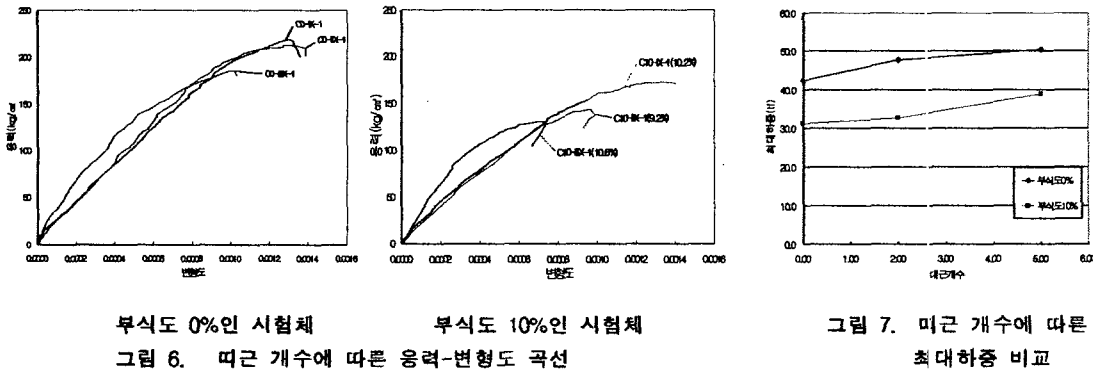


그림 5. 부식도에 따른 응력-변형도 곡선

3.1.2 띠철근 개수의 영향

그림 6., 그림 7.은 부식도 0%, 10%의 시험체 중 띠근 개수가 5개, 2개, 띠근이 없는 각 시험체의 하중-변위 곡선을 비교하였다. 부식도 0%의 경우 띠근 개수 5개인 시험체와 2개인 시험체는 거의 동일한 강성과 최대하중을 보이는 반면, 띠근이 없는 시험체는 취성적인 파괴현상 뿐 아니라 최대하중도 다소 차이가 있었다. 부식도 10%의 시험체는 띠근 개수가 감소함에 따라 부식도 0% 시험체의 경우보다 다소 큰 내력감소를 보였다. 부식도 0%의 경우, 띠근 2개 또는 띠근이 없는 시험체는 띠근 5개인 시험체에 비하여 최대하중이 5, 16% 감소하였으며 부식도 10%인 경우 띠근 2개 또는 띠근이 없는 시험체는 띠근 5개인 시험체에 비해 최대하중이 각각 16, 20% 감소하였다.



3.1.3 띠철근 부식의 영향

C10-II-1 시험체는 주근의 부식도가 9.2%이며 C10-II-1 시험체는 주근 및 띠근의 부식도가 각각 8.9, 17.4%이다. 주근의 부식도와 띠근 개수가 동일하고 다만 띠근의 부식 유·무에서 차이가 있다. 띠근을 부식시키지 않은 기준시험체와 띠근의 부식도 17.4%의 시험체를 동일한 변수에 따라 비교하였다. 최대하중 및 최대응력은 띠근의 부식 유·무에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되어지며, 거의 동일한 내력을 가지고 있는 것으로 나타났다.

3.2 실험 2

본 연구에서 축하중이 일정한 상태에서 횡력의 크기에 따른 보-기둥 시험체의 거동을 파악하기 위한 연구로 실험에서 나타난 최대하중과 최대응력을 정리하면 다음 표 3과 같다. 파괴 양상은 시험체 모두 휨과 축력에 의한 압축파괴를 나타내었다. 이를 통해 각 시험체의 부식도, 띠근간격, 띠근의 부식 유·무 등에 따른 최대횡하중 및 최대응력을 파악하고자 하였다.

표 3. 최대하중과 최대압축응력 비교

시험체명	주근의 실제부식도(%)	띠근의 실제부식도(%)	최대횡하중 (tf)	최대횡하중시 치짐(mm)	최대압축응력 (tf/cm ²)
CO-IX-2	0	0	8.09	6.23	0.31
CO-IIIX-2			8.12	4.86	0.31
CO-IIIIX-2			7.66	4.2	0.30
C2-IX-2			8.99	6.18	0.34
C6-IX-2			7.6	8.99	0.29
C10-IX-2			6.56	4.73	0.27
C15-IX-2			6.34	2.57	0.25
C15-IIIX-2			6.26	3.82	0.26
C15-IIIIX-2			5.9	7.95	0.25
C15-IO-2			19.1	19.81	6.97
C15-IIIO-2	13.4	15.82	6.38	3.46	0.26
C20-IX-2	12.2	0.0	7.34	7.06	0.29
C20-IO-2	21.2	18.4	6.72	7.29	0.27

3.2.1 부식도의 영향

하중-변위 곡선이 직접적으로 강성의 크기를 나타내는 것은 아니지만, 기울기를 통해 상대적 강성을 비교할 수 있으며 이를 정리하면 그림 8과 같다. 동일한 조건의 시험체 중 주근의 실제 부식도 0, 1.2, 4.3, 12.2%의 각 시험체의 하중-변위 곡선을 비교하였다. 부식량이 증가함에 따라 시험체의 강성은 감소되었으며, 부식도 1.2% 시험체는 오히려 강성 및 최대하중이 증가하는 양상을 보였다. 일정한 축하중을 가한 상태에서 횡하중이 증가함에 따라 부식도 0, 1.2%의 시험체는 미소한 차이의 하중-변위 곡선의 기울기를 가지고 있는 반면, 실제 부식도 4.3, 12.2%의 시험체는 상당한 강성의 차이를 보였다. 또한 띠근 개수가 5개인 시험체에 비하여, 띠근이 없는 시험체는 부식도가 증가함에 따라 강성과 강도가 상당한 감소를 나타냈다.

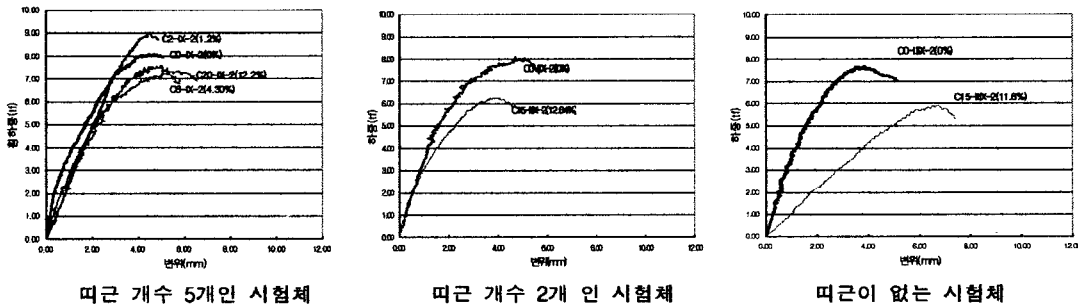


그림 8. 부식도에 따른 하중-변위 곡선

실험에서 나타난 최대하중을 비교, 분석하였으며 그림 9와 같다. 부식도가 증가함에 따라 띠근 개수가 5개인 시험

체의 휨내력은 부식도 1.2%까지는 다소 증가하지만 그 이후에는 부식도의 증가량에 따라 감소의 경향을 보였으며 특히, 부식도 4% 이후에 뚜렷한 차이를 나타냈다. 부식도 12%의 시험체는 부식도 0%의 기준시험체에 비해 최대휨하중이 9% 감소하였다. 반면, 띠근이 2개 또는 없는 부식도 12%의 시험체는 부식도 0%의 기준시험체에 비해 최대휨하중이 각각 26, 23% 감소하였다. 이러한 결과는 띠근 개수가 적을수록 부식도가 증가함에 따라 큰 내력저하를 의미한다. 아울러 띠근 개수가 많을수록 부식에 의한 모멘트 내력감소를 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

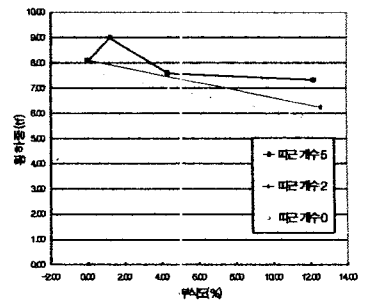
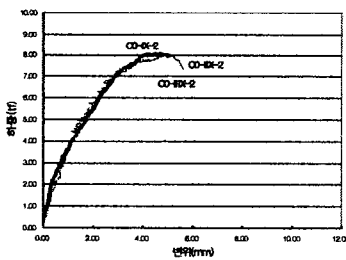


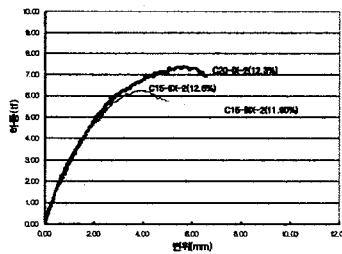
그림 9. 실제 부식도에 따른 최대하중 비교

3.2.2 띠철근 개수의 영향

그림 10.은 부식도 0%, 12%의 시험체 중 띠근 개수가 5개, 2개, 띠근이 없는 각 시험체의 하중-변위 곡선을 비교하였다. 부식도 0%의 기준시험체의 경우, 띠근 개수에 따라 미소한 강성의 차이를 보이는 반면, 부식도 12%는 띠근 개수 5개의 시험체에 비하여 띠근 개수 2개, 특히 띠근이 없는 시험체는 급격한 강성감소의 현상을 나타내었다. 부식도 0%의 기준시험체와 부식도 12%의 시험체를 동일한 띠근 개수에 따라 실험에서 나타난 최대하중을 비교, 분석하였으며 그림11.과 같다. 부식도 0%인 시험체의 휨내력은 띠근 개수의 감소함에 따라 미소한 감소의 경향을 보이는 반면, 부식도 12%의 시험체의 휨내력은 띠근 개수의 감소함에 따라 급격히 감소하였다. 즉, 부식도 12%인 시험체의 내력은 띠근 개수에 의하여 큰 영향을 받았다, 부식도 0%의 경우, 띠근 2개 또는 띠근이 없는 시험체는 띠근 5개인 시험체에 비하여 최대휨력이 6, 9% 감소하였다. 반면, 부식도 12%인 경우 띠근 2개 또는 띠근이 없는 시험체는 띠근 5개인 시험체에 비해 최대휨력이 각각 15, 20% 감소하였다.



부식도 0%인 시험체



부식도 12%인 시험체

그림 10. 띠근 개수에 따른 최대하중 비교

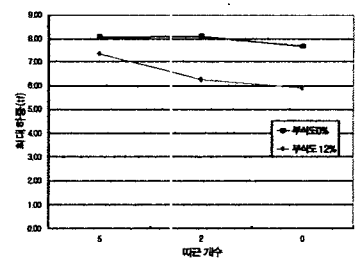


그림 11. 띠근 개수에 따른 최대하중 비교

3.2.3 띠철근 부식의 영향

띠근 개수가 2개이고 부식도가 15%인 시험체 중 띠근의 부식 유·무로 각각의 하중-변위곡선을 비교 분석하였다. 부식도와 띠근 개수가 동일한 2개의 시험체를 띠근 부식 유·무별로 비교, 분석하면 그림 12.에서 보는 바와 같이 최대하중 및 최대용량은 띠근의 부식 유·무에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 판단되어지며, 거의 동일한 내력을 가지고 있는 것으로 나타났다.

4. 결 론

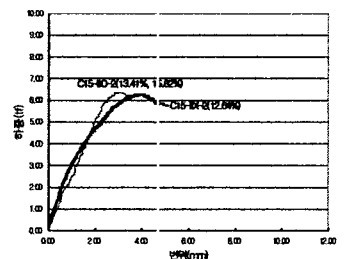


그림 12. 띠근 부식 유·무에 따른 하중-변위 곡선

주근 및 띠근이 부식된 철근콘크리트 기둥의 구조성능 평가에 대한 실험결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기둥의 중심축 하중의 내력을 부식도별로 평가한 결과, 부식도가 증가함에 따라 감소의 경향을 보였으며 특히, 부식도 10%정도까지 서서히 내력이 감소하다가 부식도 10% 이후에는 급격한 내력감소의 경향을 나타내었다.
- (2) 기둥의 횡방향 내력을 부식도별로 평가한 결과, 주근의 부식도 1.2% 정도에서 최대값을 보여주었으며 부식도가 4.3% 정도가 되면 내력이 급격히 감소하였다.
- (3) 띠근 개수가 많을수록 부식에 의한 모멘트 내력 감소량이 작다.
- (4) 동일한 개수의 띠근이 배근 되었을 경우 띠근의 부식여부는 부재의 내력에 거의 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부의 지원에 의한 “철근이 부식된 콘크리트 구조물의 구조성능 평가기법” 연구의 일환으로 수행되었으며, 많은 도움을 주신 건설교통부, 금호건설 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. “건축물의 구조기준 등에 관한 규칙”, 건설부, 1988
2. 徐源長 “高軸力과 高荷重을 받는 高强度철근콘크리트 기둥의 變形能力에 관한 實驗的 研究”, 충남대학교 석사논문, 1996.10
3. 申寅碩, “促進實驗에 의한 콘크리트의 鐵筋 腐蝕 舉動에 관한 研究”, 서울시립대학교 석사논문, 1998.10
4. “압축력 및 휨을 받는 압축부재의 구조 보강방안 연구”, 한국과학재단, 1998.4
5. 李鍾得, “철근부식 진단”, 콘크리트 구조물의 내구성진단 시리즈 3권, 도서출판 일광 1996.5
6. 김상식, “철근콘크리트 구조설계”, 문운당
7. 대한건축학회, “철근콘크리트 구조설계규준 및 해설”, 대한건축학회, 1994
8. 曹鐵鎬, 任七淳 “鐵筋 콘크리트 기둥의 耐力에 관한 研究 - 띠鐵筋의 拘束效果를 中心으로”, 대한건축학회 논문집 6권 4호 통권30호, 1990.8, pp207-216
9. 韓範錫 “軸力과 反復 橫力을 받는 高强度 R/C 기둥의 強도와 延성에 관한 實驗的 研究”, 한양대학교 석사논문, 1997.12
10. 김재훈 외 2인, “海岸地域 콘크리트내의 鐵筋腐蝕에 관한 實驗的 研究”, 대한건축학회논문집 제 10권 2호 통권 64호 1994.2
11. 李相敎 “휨과 軸力을 받는 高强度 鐵筋콘크리트 기둥의 舉動에 관한 연구”, 충남대학교 석사논문, 1996.10
12. Neal S. Berke, “Corrosion Inhibitors in Concrete, Concrete International”, 1992. 7, pp.24-27
13. Fred Basolo, et al, “Coordination Chemistry”, Prentice Hall, 1975
14. ACI Committee222, “Corrosion of Metals in Concret”, ACI Journal, Jan.-Feb., 1985
15. H. H. Uhlig, “Corroison & Corrosion Control, Wiley”, New York 1962
16. R. Park and T. Paulay, “Reinforced concrete structures”
17. Hausman, D.A., “Steel Corrosion in Concrete, Materials Protection”, Nov. 1967