

특집

콘크리트 교량

콘크리트 교량의 계획 및 설계 Planning and Design of Concrete Bridge



최진택*

1. 서 언

우리들이 사용하고 있는 모든 기계, 기구 및 시설물의 출현은 그 시대별로 동원할 수 있는 최고의 기술력, 최고로 우량한 사용가능 재료, 기계, 기구 및 가용자본에 의해서 이루어진다.

콘크리트 교량의 발전과정도 세계적이든 우리나라든 그 수준에 맞추어 이러한 법칙과 순서에 따라서 점차적으로 개량 개선되고 있는 것이다.

교량설계시 계획과 설계라는 개념을 분류하면 계획단계에서는 교통수요에 의해서 차선수 및 교폭이 결정되고 지형, 지반 및 주변환경에 의해서 橋長과 徑間長이 세부적으로 결정되지만 더 중요한 것은 설계기술능력, 시공기술능력, 가용기계, 기구와 자재사정을 감안하고 주변환경과 미관 및 경제성등을 가미한 종합적인 고려를 통한 교형결정단계를 총괄적으로 계획이라 한다. 계획이 고정된 후 구체적이고 세부적으로 구조해석을 하고 도면을 그리고 시방서를 작성하는 과정을 설계라 할 수 있다. 과거에 구조물이 단순하고 재료선택의 폭이 다양하지 않은 시절에는 계획과 설계의 구별이 명확하지도 않고 큰 의미도 없었으나 현대의

다양한 산업사회에서는 가용자재, 설계 및 시공기술이 복잡다기화 되어있어 계획의 우열은 결과에 막중한 영향을 미친다.

첨언하고 싶은 말은 “콘크리트 교량의 계획 및 설계”라는 제목에서 벗어나서 전형적인 교재에서 볼 수 있는 세부내용은 가급적 피하여 기술하고자 한다.

2. 교량의 발전과정

현대의 우수한 산업기술에 의해서 생산되는 시멘트 및 강재가 사용되기 이전에는 단경간의 목교나 arch action의 장점을 이용한 석교가 고래로부터 전래되는 교량형태의 주종이며, 간혹 밧줄의 인장력을 이용한 현수교가 종종 보이지만 미미한 실정이었다. 목재나 석재는 인간이 얻을 수 있는 보편적인 재료로서 범용성이 있으나 강도와 치수가 제한되어 있고 특히 석재는 무거우면서도 우리가 원하는 모양으로 만들기가 쉽지 않기 때문에 대규모 교량건설에는 한계가 있을 수밖에 없었다.

고대부터 중세의 교량은 석교의 경우는 arch나 dome이었고 목교는 beam이나 column으로 이루어졌다. 이태리의 기사 Andrea Palladio(1518~1580)가 역학적인 해석없이 truss를 최초로 사용

* 정회원, (주)제일엔지니어링 대표이사, 토목구조 기술사

하였고, 이백년후인 1758년에 스위스 Ulrich grubenmann이 Rheine 강에 51m의 목재 Truss교를 건설하였고, 그후 그의 동생 Jean과 힘을 합쳐 117m Span의 목재 Truss교를 건설한 것이 괄목할 만한 진보였으나 이 시기까지는 이론적인 해석이 불가능하여 경험에 의존해서 만든 주먹구구식이었다.

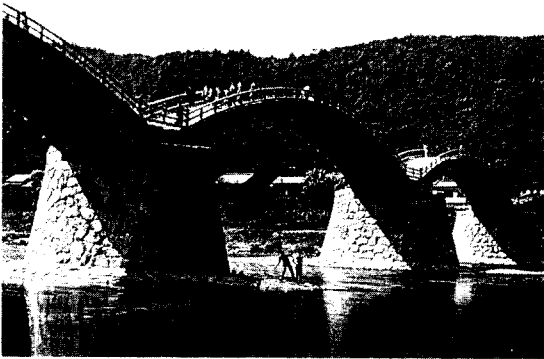


그림 1 木橋



그림 2 石橋

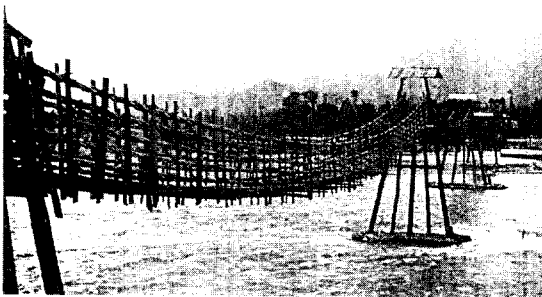


그림 3 懸垂橋

그림 1, 2, 3은 재래 기술에 의해서 출현한 교량의 모습들이다.

3. 현대식 교량의 출현 배경

현대식 대규모 교량의 출현은 스위스의 Bernoulli家의 사람들(17~18세기)로부터 시작해서 Saint Venant(1797~1886)까지 beam과 column의 재료의 물리적인 성질과 torsion, flexure, shear stress의 성질이 규명되고 Clepeyron(1799~1864)에서 시작해서 이태리의 Alberto Castigliano(1847~1884)에 의한 에너지 법칙인 제2정리가 발표되면서 不靜定 구조물이 해석되고 독일의 Otto Mohr(1835~1918)에 의해서 1868년 탄성하중법과 1892년 slope-deflection method가 발표되고, 미국의 일리노이대학 교수인 Hardy cross가 Moment분배법을 1930년 발표하고 영국 옥스포드대학 교수인 Southwell이 1935년 Relaxation Method가 발표되면서 이론적으로는 가능하게 되었다.

그러나 실제적으로 역학이론을 적용하여 복잡한 구조물을 해석하는 것은 엄청난 량의 계산을 해야하는 수고가 필요했기에 1950년대까지도 대규모 교량의 설계는 현실적인 한계가 있었다. 이 문제를 해결해 주는 기구가 컴퓨터의 출현이다. 1940~1950년대의 컴퓨터는 기억용량이 작고 여러단위의 숫자로 구성된 Machine Language를 사용하였기에 전산전문가를 제외한 일반인이 컴퓨터를 마음대로 활용하기에는 제약이 있을 수밖에 없었다. 60년대 이후 컴퓨터의 용량이 커지고 포트란(fortran)을 비롯한 프로그램 언어가 소개되고부터 이에 보조를 맞추어 구조해석 이론인 변위법, 응력법 및 유한 요소법등이 소개되고 발전되면서 구조물이 靜定이던 不靜定이던 상관없이 계산에 얽매이지 않고 자유롭게 정확하게 해석될 수 있는 길이 열렸다.

4. 사용재료와 교량의 변천

교량에 사용되는 자재는 다음과 같은 조건을 가져야 한다.

1) 인장, 압축 및 전단강도가 커야 하고, 물리적인 성질이 균일해야 한다.

2) 자재를 쉽게 얻을 수 있는 경제성이 있어야 한다.

3) 형상과 치수를 원하는 대로 만들 수 있어야 한다.

4) 완공후에 유지관리비가 적어야 한다.

이러한 관점에서 표 1과 같이 재료의 발전과 더불어 교량이 변천하여 왔다.

표 2는 상부구조의 형태와 재료에 따른 徑間長의 통상적인 예를 보여주고 있다.

경간장의 결정에는 재료의 질과 가격, 기초의 조건, 교상의 높이 및 가설장소의 제약조건 등이 영향을 준다.

표 2의 경간장이 일반적인 상식이지만 재료 및 가설 기계 기구의 발달과 설계 및 시공기술의 진

보와 함께 기술자들의 세계기록을 갱신하고자 하는 의욕이 함께 어울려 이미 프레스트레스 箱型橋가 70~80년대에 일본에서 240m대의 최장 경간으로 1m씩 세계기록을 갱신하더니 최근에는 오스트레일리아에서 260m 경간의 교량을 만들었으며, 현수교도 종전에 1410m의 최장 중앙경간을 가진 교량을 영국이 보유하고 있었으나 일본이 중앙경간장 1990m의 명석대교를 1988년 착공하여 1997년 준공계획으로 공사중에 있다.

표 2에서 보이는 바와 같이 300m 이상의 장경간교는 강교이지만, 300m 미만의 경간을 갖는 교량에서는 공사비, 유지관리비, 工期, 비관 등 종합적으로 고려해서 재료를 선택하는데 우리가 통상으로 쓰는 경간장 100여m 이내에서는 강교보다 콘크리트교가 월등히 유리하기 때문에 최근의 교량은 콘크리트가 많이 채택된다.

표 1 재료의 발전과 교량의 변천

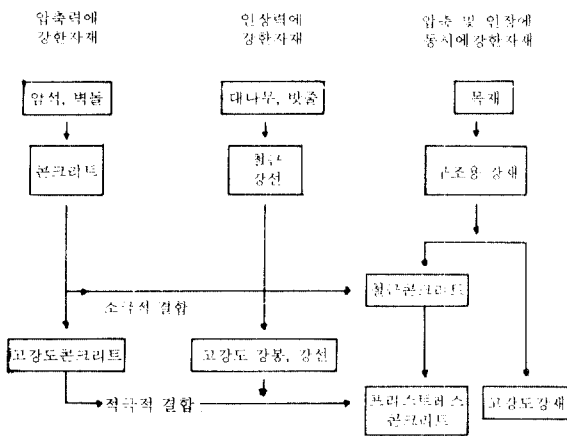


표 2 교형에 따른 적당한 경간장

구조형태	재 료	경간장(m)
Slab	콘크리트	0~12
Girder	콘크리트	12~210
사상교	강 재	30~260
	콘크리트	< 240
Truss	강 재	90~330
Arch	강 재	90~540
	콘크리트	90~300
현수교	강 Truss	240~510
	강 Rib	120~360
	강 재	300~1350

5. 콘크리트교의 각종 형태

콘크리트교는 단순 slab교는 5~12m까지의 경간장을 T형 콘크리트보는 15~25m까지의 경간장을 P.C.보는 15~35m까지의 경간장을 통상적으로 사용하고 있으며 P.C. 箱型橋와 아-취교가 장경간교로 채택되는데 아-취교는 깊은계곡을 통

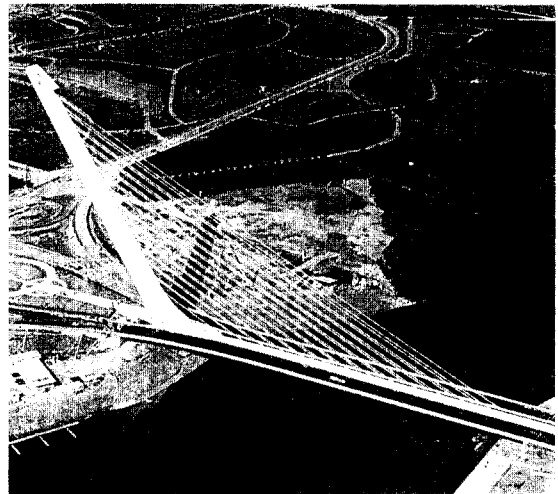


그림 4 1992년 2월에 완공된 스페인 Seville Expo의 Landmark인 Alamillo 斜張橋로써 60°角으로 세워진 높이 142m Pylon이 主徑間 200m를 26개의 Cable로 지지되어있다.

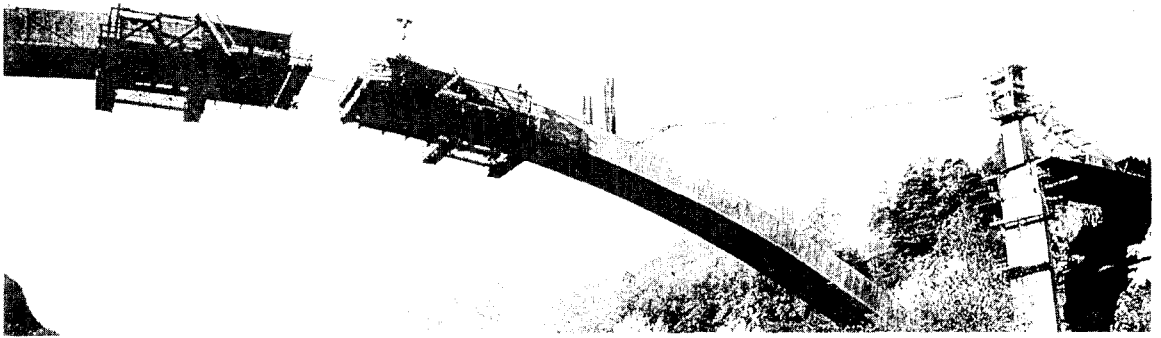


그림 5 169m의 경간을 가진 콘크리트 아치교를 Free cantilever 工法으로 시공하고 있는 광경

과하는대는 적당하지만 하천같은 곳에는 Arch-Rib이 通水斷面에 지장을 주므로 드물게 채택된다. P.C.상형교가 최근에 주로 건설되고 있는데 가설공법의 변천은 다음과 같다.

- 1) Staging 공법 : 형틀을 기둥으로 바치고 콘크리트를 부어 成型하는 방법
- 2) Movable Scaffolding 공법 : 이동식 기둥집에 의해서 교량을 일부분 또는 강간별로 건설하는 공법
- 3) Cast-in-place Segmental 공법 : 지보공없이 3~5m 정도의 길이로 一部分씩 축차적으로 타설하여 건설하는 방법
- 4) Precast Segmental 공법 : 교량현장 부근에서 교량을 한토막씩 부분적으로 Precast로 만들어 축차적으로 조립하는 공법
- 5) Incremental Launching 공법 : 교량의 한쪽 끝에서 교량을 일부분씩 만들어 연속적으로 추진시켜 전경간을 완공하는 공법

공법을 분류하면 위와 같이 5가지로 대별할 수 있는데 staging 공법은 과거에 많이 썼으나 콘크리트가 무거워서 가설재가 많이 들고 공사중 붕괴의 붕괴사고가 많이 발생하였다.

막대한 가설재가 필요한 Staging 공법의 단점을 피해서 1950년 독일의 Dywidag 사에 의해서 Form Carrier를 이용해서 上部橋體를 일부분씩 건설하는 캔틸레버공법이 Rhein 강교건설에 적용되기 시작하면서 세계적으로 보급되어 개선 발전하였다. Movable Scaffolding 공법도 이 기술의 한 부분이라고 볼 수 있다.

그러나, 이 공법은 橋體를 일부분씩 현상타설하는 방법이였기에 工期가 많이 소요되었고 교도의 건설기술이 필요했다. 이의 보완책으로 프리캐스트 세그멘탈 공법이 1962년 불란서의 Ferryssinet 계약자에 의해서 Seine 강교 건설에 적용되었다. 이 공법의 특징은 교량의 하부구조를 건설하는 동안 현상근처의 공장에서 上部橋體를 일부분씩 만들어 운반해서 집착재로 연결하면서 교량을 완성시키는 공법이다.

위의 공법과는 별도로 Incremental Launching 공법은 1960년대초에 독일의 Leonhardt, Baur, Andra 등 3인에 의해 개발된 공법으로 교대위의 작업장에서 교체를 15~20m 길이로 만들어 橋軸 방향으로 축차적으로 坤出하여 완공하는 공법이다.

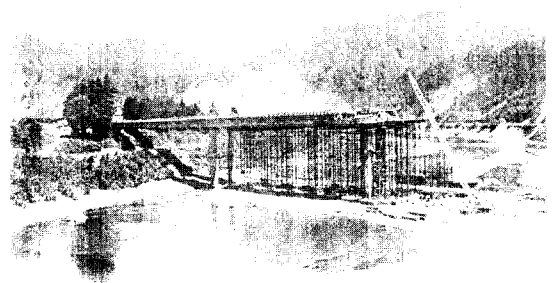


그림 6 Staging 공법으로 교량을 시공하고 있는 광경

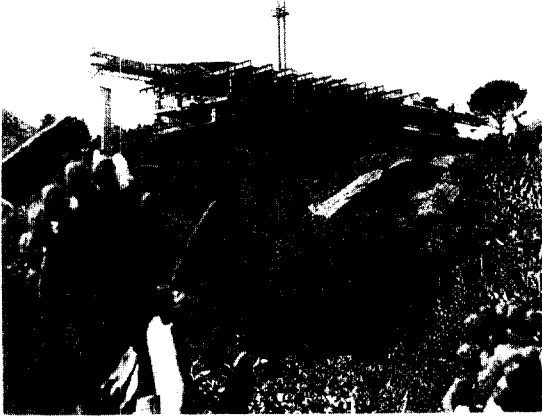


그림 7 Movable Scaffolding 공법으로 교량을 시공하고 있는 광경

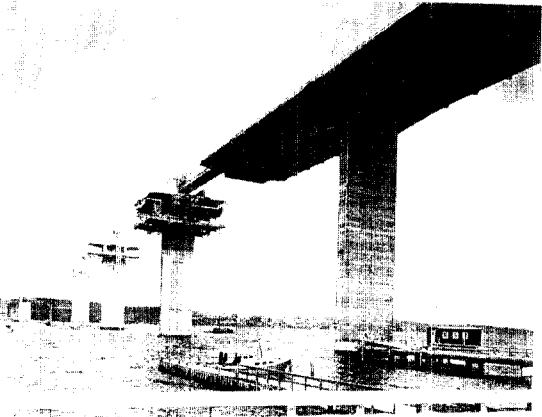


그림 8 Cast-in-place Segmental 공법으로 교량을 시공하고 있는 광경

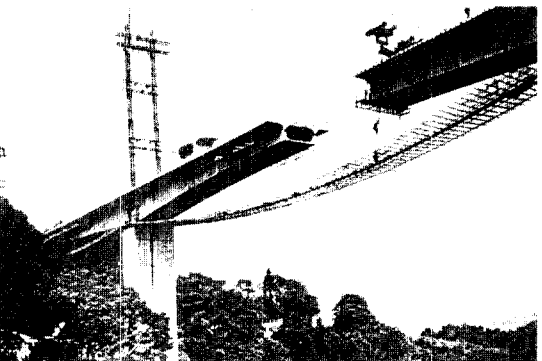


그림 9 프리캐스트 세그멘탈 공법으로 교량을 시공하고 있는 광경

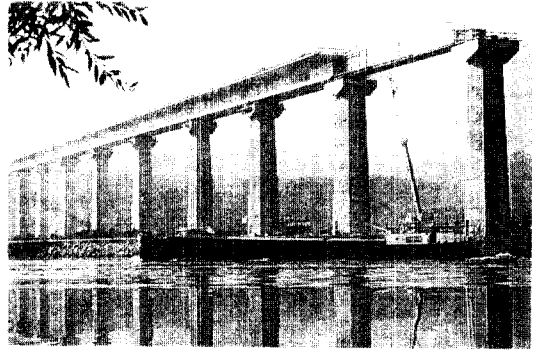


그림 10 Incremental Launching 공법으로 교량을 시공하고 있는 광경

6. 콘크리트교의 설계 특징

단경간교(경간 30m미만)나 長大橋라 하더라도 鋼橋는 일반적으로 설계자가 가설방법을 구체적으로 모르고 설계해도 시공방법이 상식화되어 있어 문제를 일으키지 않지만 콘크리트 장대교는 설계자가 지형조건에 맞는 교형 및 경간장, 동원장비 및 가설기계 기구, 콘크리트 강도, 철근 및 프리스트레스용 강선의 종류는 물론 숙련기술자의 활용 가능 여부도 확인하고 콘크리트 타설능력에 맞추어 시공계획을 수립한 후 공사중 및 공사후 교량의 응력을 조사해서 설계를 진행해야 하며 경우에 따라서는 완공후 교량의 시공중 오차에서부터 발생하는 응력도 조정해줘야 하는 준비까지 배려해야 한다. 가급적 공사중 가설재 및 가설하중의 상관관계에서 발생하는 응력과 완공후 사용하중에 의해서 발생하는 응력의 격차가 작도록 설계하여야 하며 세그멘탈공법에 의해서 시공계획이 수립된 경우는 공사중 橋體의 처짐의 변동이 완공시의 교량의 중단계획에 일치할 수 있도록 조사하고 시공중에도 면밀히 측정하여 조정해 주어야 한다.

따라서, 콘크리트 장대교는 아-취교나 상형교이든 또는 사장교이든 설계자의 경험과 능력이 풍부해야 하고 또한 세세한 공사과정까지 놓치지 않고 설계에 반영하는 노력이 수반되어야 한다.

7. 향후의 바람직한 방향

콘크리트교의 비약적인 발전은 이차대전후 많

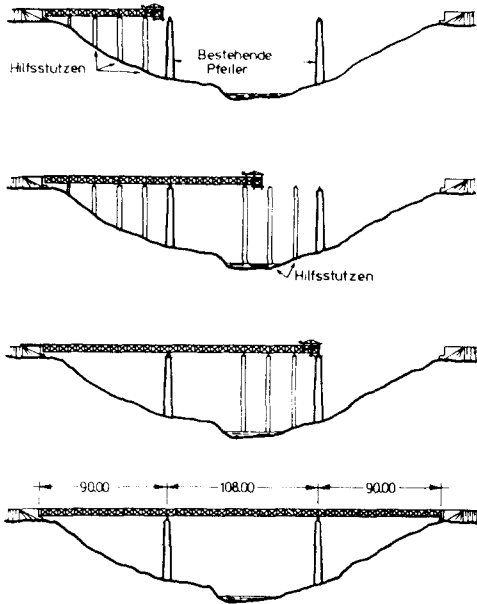


그림 11 독일의 뮌헨 근처의 Mangfall橋로서 90m-108m-90m의 3경간 연속교를 콘크리트 트러스橋로 1958~1960년에 완공하였다.

은 다리가 파괴된 독일의 다리를 복원하는 과정에서 비롯되었다. 그들은 자원과 강재가 부족한 현실에서 교량을 염가로 건설하기 위하여 건설공사에 프로포절 제도를 활용하여 이러한 뛰어난 공법을 도출하였다.

아무리 우수한 신공법이라 해도 초기에는 이론적으로 또한 기술적으로 결함이 있기 마련인데 독일의 사회환경이 이를 수용하고 채택한 점이 높이 평가된다.

심지어 독일은 그림 11에서 보이는 바와 같이 트러스교를 강재대신 콘크리트로 건설하였다.

우리는 아직도 외국기술을 흡수하고 모방하는 단계이고 자본이나 기술력, 경험등이 부족하여 새로운 공법을 창안하기는 기대할 수 없으나 선진국이라는 일본도 근본적인 신공법의 창안은 없고 유럽의 신공법을 도입하여 활용하면서 세부적인 문제들을 개선, 발전시켜 오히려 유럽보다 우수한 기술 및 경험을 갖게 된 과정을 참작하여 아래와 같이 제안한다.

1) 우리가 보유하고 있는 기술을 현실적으로 적용하여 응용개선했던 새로운 설계안을 과감히 채택할 것.


2) 시공회사가 현재와 같이 어떠한 공사도 만능인 현재의 제도를 개선하여 공사분야별로 특성화 시켜줌으로써 교량의 전문인력과 건설장비를 내실화 할 수 있게 유도하고 전문성이 있는 시공회사의 능력을 터키공사나 프로포절 제도를 통하여 발휘할 수 있는 기회를 줄 것.

3) 우리의 기술이나 장비가 전혀 동원될 수 없는 공법은 비록 세계 최첨단 기술이라고 평가되어도 우리의 기술진보에는 의미가 없으나 자체능력이 다소라도 배양된 뒤까지 채택 및 적용을 유예할 줄 아는 사회분위기가 필요함.

4) 신기술 및 공법을 우리 능력으로 적용하여 다소 결함이 발생해도 관대하게 평가하고 차후의 기술의 발전 및 개선에 활용하는 지혜로운 태도가 요망됨.

참 고 문 헌

1. Kinney, J. Sterling and Bank, B. Robert "Indeterminate Structural Analysis" Addison-Wesley, 1957.
2. Lin, T.Y. "Design of Prestressed Concrete

- Structures, 3th Edition” John Wiley & Sons, 1981.
3. Colin O'Connor “Design of Bridge Superstructures” John Wiley & Sons, 1971
4. 한국건설기술연구원 “경제적인 P.S. 콘크리트 교량건설공법에 관한 연구”
5. Eric A. Weiss “Programming The IBM 1620” McGraw-Hill, 1965.
6. Dywidag 50년사 및 Dywidag International System 팸플릿
7. Leonhardt, Fridz “Bridges Aesthetics and Design” The MIT Press, 1990. 

전문서적 보급 안내

“콘크리트 구조물의 비파괴 검사 및 안전진단”

- 본 학회 제 2 회 기술강좌 교재 -

- 주요내용 :
 - 비파괴검사의 종류, 특징 및 적용방법(이리형)
 - 반발경도, 초음파 및 탄성파법에 의한 비파괴 검사방법(최계식)
 - 전자파, 방사선, 적외선 등을 이용한 비파괴 시험(임창덕)
 - 콘크리트 구조물에 대한 비파괴검사의 응용 및 평가(권영웅)
 - 콘크리트 건축구조물의 안전진단 및 평가(김상식)
 - 콘크리트 토목구조물의 안전진단 및 평가(오병환)
 - 콘크리트 구조물의 유지관리 및 보수, 보강공법(박승범)
 - 콘크리트 내구성 향상방법 및 관련 시험방법(정재동)
- 보급가격 : 20,000원
- 문의처 : 546-5384, 543-1916