

한국교량및구조공학회 기술나눔특

구조물붕괴사고가 계속되는 진짜 이유

2023. 12. 14

이재훈

주요 내용

- **우리나라 건설 역사와 이력 및 특징**
 - 근대 우리나라 토목공학은 어떻게 시작되어 변화 하였나
 - 토목직 공무원의 역할은 어떻게 변화 하였나
- **최근의 붕괴사고**
 - 캔틸레버와 무량판은 무슨 죄가 있을까
 - 뭐가 중요한 것인가
- **시설물의 구조 안전성과 내구성 확보의 핵심 사항**
 - + **미래 유지관리 대상 시설물의 품질 확보 방안**
 - 우리나라에서 사고가 많은 이유가 뭘까
 - 건설 개발 환경은 어떻게 변화 하였나
 - 사고 없이 시설물을 오래 사용하려면 어떻게 해야 할까

주제-1

- 토목직 공무원의 역할은 어떻게 변화 했나
 - 근대 우리나라 토목공학 역사
 - 과거와 현재 토목직 공무원의 역할

역사 : 1919년(104년 전) 있었던 일들

- 독립운동 : 2·8 독립선언(토쿄)와 3·1 만세운동(한반도 전국)



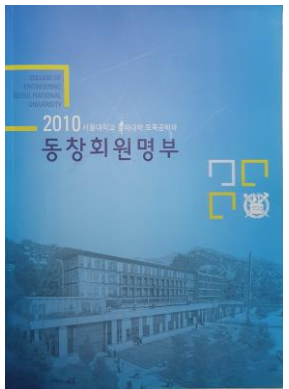
- 한반도 첫번째 시멘트 공장 건설 : '오노다시멘트'라는 이름으로 평양 승호리 만달산 기슭에 건설된 공장에서 한반도 첫 번째 시멘트 생산



- 한반도에서 근대의 토목공학을 공부한 첫번째 토목기술자 탄생

역사 : 한국의 토목공학

- 한반도(조선반도)에서 공부한 첫 번째 토목기술자



| 경성공업전문학교 외 | |
|------------------------------|----|
| 성명 | 직칭 |
| 경성공업전문학교 | |
| 2회 졸업년도: 1919. 3. 25. | |
| 정재영 鄭在英 | 작故 |
| 최삼열 崔三悅 | 미상 |
| 3회 졸업년도: 1920. 3. 27. | |
| 김보영 金寶永 | 미상 |
| 박종화 朴宗和 | 작故 |
| 한인선 韓仁善 | 작故 |

- 경성공업전문학교 토목과
교수 5명, 조교수 26명 (일본인)
1918년 1회 졸업생 18명 (일본인)
1919년 2회 한국인 졸업생 2명
(정재영, 최삼열)
- 1945년 광복절까지 졸업생 345명
(한국인 65명, 일본인 280명)

공무원 ←

왜 미상일까?

→ 공무원
→ 공무원

역사 : 한국의 4년제 대학교 토목공학과

1916 경성공업전문학교 토목과
1941 경성제국대학 토목공학과

➔ 1946 서울대학교 토목공학과

1939 동아공과학원 토목과

➔ 1948 한양공과대학 토목공학과

1950 청구대학교 토목공학과 ➔ 1967 영남대학교(개명) 토목공학과

1946 광주야간대학원 토목과

➔ 1948, 1951 조선대학교 토목공학과

1952 전남대

1955 동아대

1962 인하공대 토목공학과

1960 연세대학교 건설공학과(토목전공)

➔ 1962 연세대학교 토목공학과

1953 부산대학교 토건공학과(토목전공)

➔ 1963 부산대학교 토목공학과

1963 중앙대 토목공학과

1964 고려대 토목공학과

1965 수도공과대학 토목공학과 ➔ 1971 홍익대학교 토목공학과

1969 동국대 1970 건국, 경희, 단국, 성균관, 충북대 1974 국민대, 명지대

1977 강원, 서울시립 1979 인천 1982 수원 1988 아주 1997 세종 1999 서경

역사 : 과거의 토목직 공무원



최경렬(1905~1975)

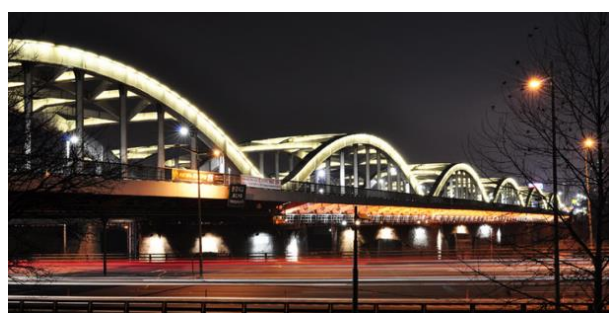
- 교토제국대학 토목공학과(1929. 3. 졸업)
- 서울대학교 토목공학과 대우교수(1954. 6.)
- 대한토목학회 2~6대 회장(1953~1958)
- 조선총독부 기사, **내무부 초대 건설국장**,
서울시 부시장 → **공무원**

한강대교(구-漢江新人道橋)

공무원이 직접 설계 !

설계 시공(1934~1936)

요즘은? 순환보직으로 전문성이...



토목직 공무원의 역할

- **과거 토목직 공무원 역할** : 국토개발-**계획, 설계, 건설관리**
 - **수송 및 교통** : 도로, 교량, 지하철도, 항만, 상·하수도 관망, 발전소(수력, 화력, 원자력), LNG 저장소, 철도(일반철도, 고속철도, 도시철도) 등
 - **수자원** : 댐, 하천, 상·하수도 처리 시설 등
 - **주거 및 산업 단지** : 간척지, 매립, 단지 조성 등
- **1980~90년대 이후 토목직 공무원의 역할**
 - 위 모든 것(직접 설계 제외) + **유지관리 및 보수·보강 관리**

용어 : 설계용역

- [국어사전] 용역(用役) : 물질적 재화의 형태를 취하지 아니하고 생산과 소비에 필요한 노무를 제공하는 일.
- 설계하시던 토목직 공무원이 민간 설계사 설립
 - 김해림(내무부 토목국장, 첫 토목기술사) : 도화종합설계사무소(1957)
 - 곽영필(서울시, 건설부) : 영엔지니어링(1978)
 - 김해림 + 곽영필 = 도화엔지니어링으로 통합
 - 전공렬(철도청 시설국) : 유신평수설계공단(1966) - 유신평퍼레이션
 - 김형주(건설부) : 삼안건설기술공사(1967) - (주)삼안
- ➔ 공무원이 수행하던 설계 업무를 민간 설계사가 대신 한다는 의미로 "용역" 이라는 단어 사용

용역깡패, 청소용역, 철거용역 등 부정적 의미로 변질,
~~설계용역~~ ➔ 건설엔지니어링 ~~화설용역~~ ➔ 연구과제

주제-2

- **캔틸레버와 무량판이 무슨 죄가 있나**
 - 우리나라에서 오해 받는 캔틸레버 교
 - 정자교 캔틸레버 부 붕괴
 - 검단신도시 아파트 지하주차장 붕괴
(무량판 구조 삼풍백화점 붕괴)
 - 구조일체성의 중요성

캔틸레버가 문제인가



교량의 보행 전용 도로에
지지 버팀 다리가 없어서
항시 (붕괴) 위험이....

우리들의 용어로 표현하면...

캔틸레버 구조라서
위험하다

과연 캔틸레버는 위험한 구조인가?

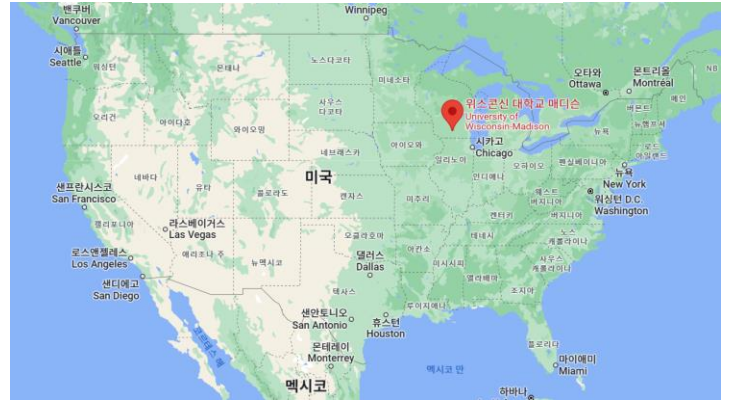
구조공학 공부 44년째



구조공학 공부 44년째..

대학3년, 석사과정 2년..

Wisconsin에서 5년..



공과대학



Madison Campus

학생회관

미국에서 맥주 소비 1위 대학교



토목공학과



이런 일이... 구조물 붕괴 실험?



학생회관 앞 Lake Mandota

Madison Campus 학생회관



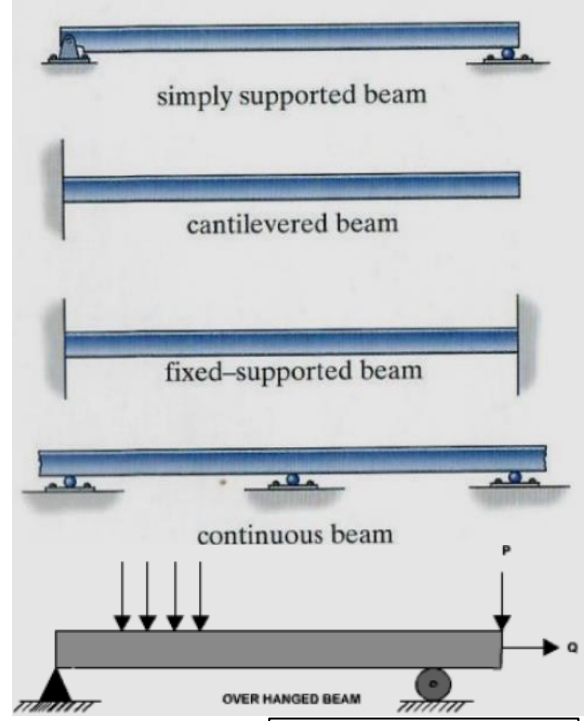
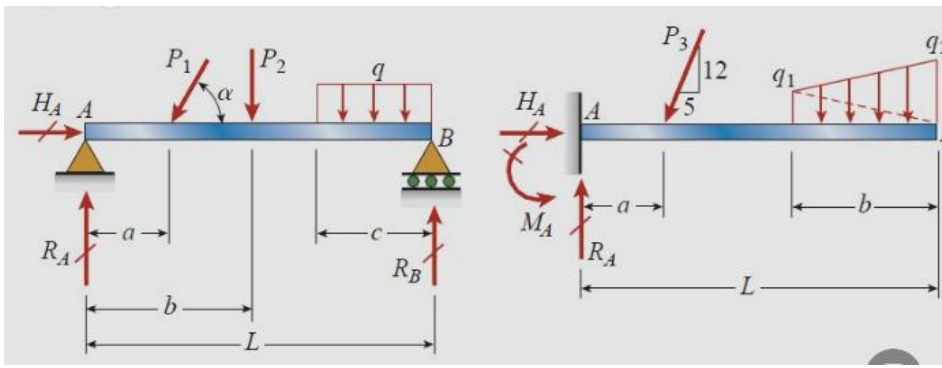
● 2023. 9. 5 이런 일이... [출처] JTVC



구조역학과 철근콘크리트 첫 수업

● 프랑스, 독일, 미국, 한국에서....

- 구조해석 : 단순보와 캔틸레버



- 철근콘크리트 : 단순보와 캔틸레버

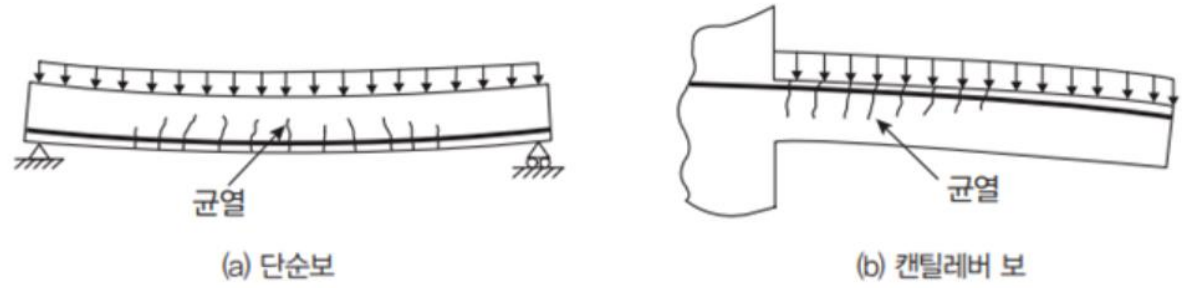
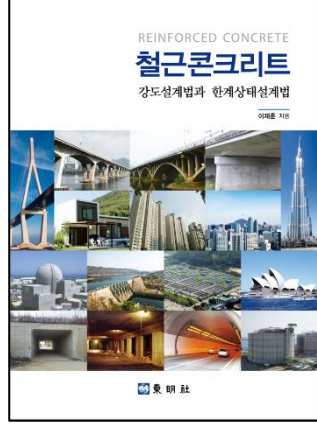
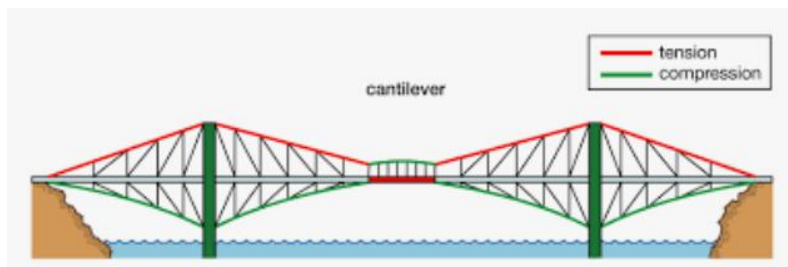


그림 1-3 철근콘크리트 보의 철근 배치와 처짐 및 균열



캔틸레버 교량

- International : Google에서 cantilever bridge를 검색하면?



cantilever truss bridge



Forth Bridge (Scotland, 1890)

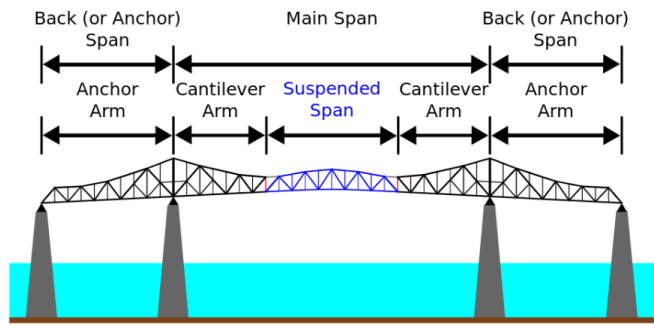
- Korea : Naver나 Daum에서 캔틸레버 교량을 검색하면?



"정자교 캔틸레버 구조 94곳, 붕괴 징조 찾아야" < 사회 < 인천 < ...
 2023.05.01. 시는 캔틸레버 교량을 포함해 총 109개에 대해 점검을 완료했고, 앞으로 117개의 교량을 점검해야 한다. 45개의 교량은 양호하고 2개의 교량은 철거 등의 이유로 총 47개의 교량은 점검을 하지 않는다. 이 같은 상황에서 지역 건설업계는 ...

정자교, 철저한 관리 필요한 '캔틸레버'..안전진단에선 '이상 無' - ...
 2023.04.06. 지난 5일 보행로가 붕괴되면서 2명의 사상자가 발생한 경기 성남시 분당구 정자동 정자교를 비롯해 처짐 등의 결함이 발견돼 통행이 통제된 분당신도시 내 교량은 철저한 보수·관리가 필요한 '캔틸레버' 방식으로 지..

캔틸레버 교량

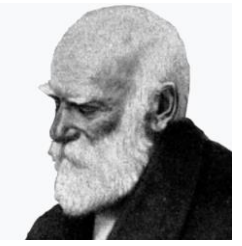


List of longest cantilever bridges

1. **Quebec Bridge** (Quebec, Canada, **1919**) **549 m**
2. **Forth Bridge** (Firth of Forth, Scotland, **1890**) **521 m**
3. Minato Bridge (Osaka, Japan, 1973) 510 m
4. Commodore Barry Bridge
(Chester, Pennsylvania, US, 1974) 501 m
5. Crescent City Connection
(New Orleans, US, 1958 & 1988) 480 m
6. Howrah Bridge (Kolkata, West Bengal, India, 1943) 457 m
7. Gramercy Bridge (Gramercy, Louisiana, US, 1995) 445 m
8. Tokyo Gate Bridge (Tokyo, Japan, 2012) 440 m
9. J. C. Van Horne Bridge (Quebec, Canada, 1961) 380 m
10. Horace Wilkinson Bridge (Baton Rouge, Louisiana,
US, 1968) 376 m



성수대교도
캔틸레버 교량의 하나



Heinrich Gerber
patent for a
hinged girder
(1866)

유명한 두 번째로 긴 캔틸레버 교량

- **Forth Bridge (Firth of Forth, Scotland, 1890) 521 m**
 - Structural Engineer : Benjamin Baker



FIG. 5a. LIVING MODEL ILLUSTRATING PRINCIPLE OF THE FORTH BRIDGE.

가장 긴 FCM(캔틸레버 공법) 교량

- 세계에서는.. Stolmasundet Bridge (Norway, 1998) 301 m



- 한국에서는 .. 만덕교 (구 신촌교, 2008) 170 m



캔틸레버 주택

- **Cantilever Houses**

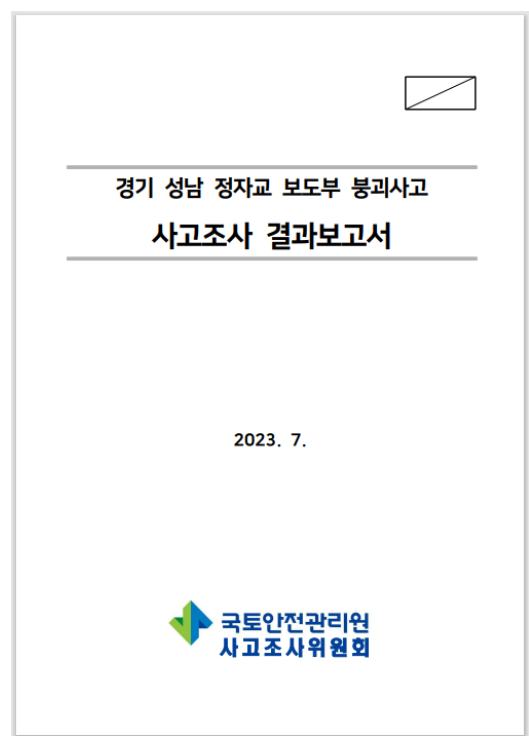


캔틸레버 건물과 전망대

- **Cantilever Buildings and Observation Platforms**



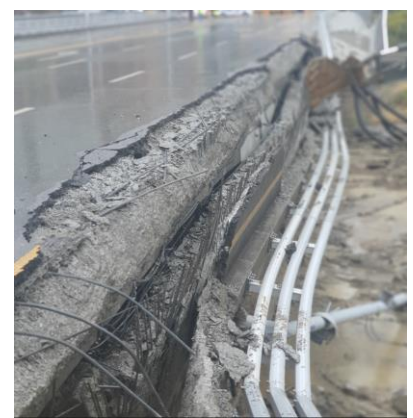
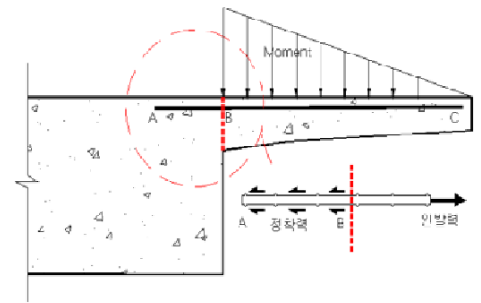
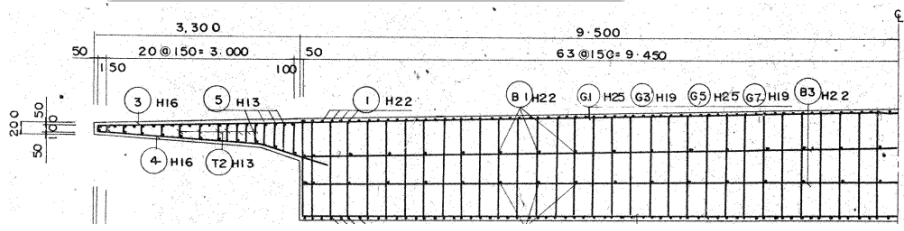
정자교 붕괴 원인은?



● 보고서 결론

- 방수층 기능 저하
- 우수 침투
- 제설제(염화칼슘)
- 동결융해
- 철근 부식
- 콘크리트 열화
- 철근 부착력 감소
- 철근 인발

→ 캔틸레버 취성파괴



또 하나 주목해야 할 것은 **Structural Integrity (구조 일체성)**

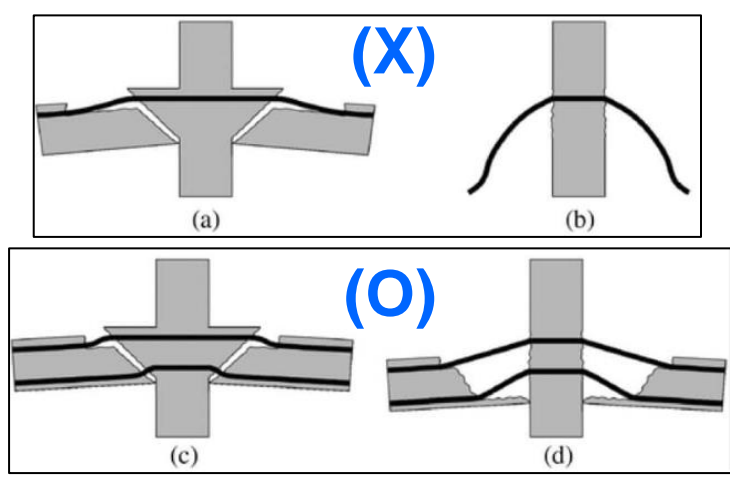
주제-3

- **철근콘크리트 구조물의 설계와 시공에서 유의해야 할 사항**
 - **구조 일체성(Structural integrity)**

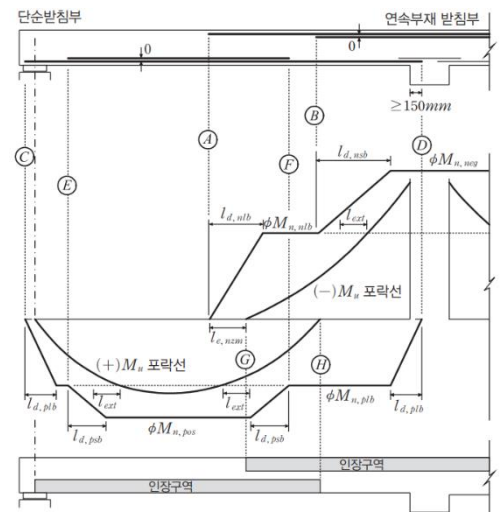
Structural Integrity : 구조 일체성

- **Structural integrity** is the ability of a structure to provide continuous load paths from the roof down to the foundations as well as comprising a complete lateral force resisting system which is able to resist the code-defined forces, all with adequate structural strength.

- **Example of Structural integrity - 1**
- provision of continuous bottom reinforcement at supports



강도설계법 그림 10-31



철근콘크리트 힘부재의 인장철근 배치와 힘 성능곡선 및 인장구역

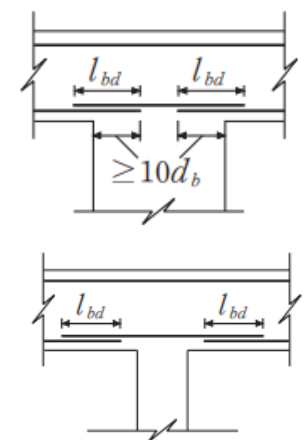


그림 10-58 내측 받침부의 하부철근 정착 한계상태설계법 23

Structural Integrity : 구조 일체성

● Example of Structural integrity - 2

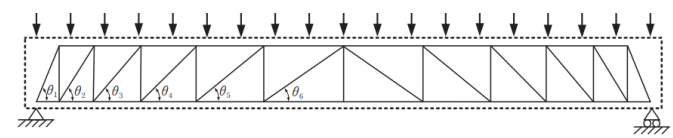


그림 7-21 변각트러스 모델(variable angle truss model)

◎ 전단 설계 개념

- 45° 트러스 모델 : 콘크리트로 전단강도를 만족하는 부분에는 (강도설계법) 전단철근 배치 안함
- 변각트러스 모델 : 전체를 하나의 트러스로 보고 (한계상태설계법) 전체 구간에 전단철근 배치

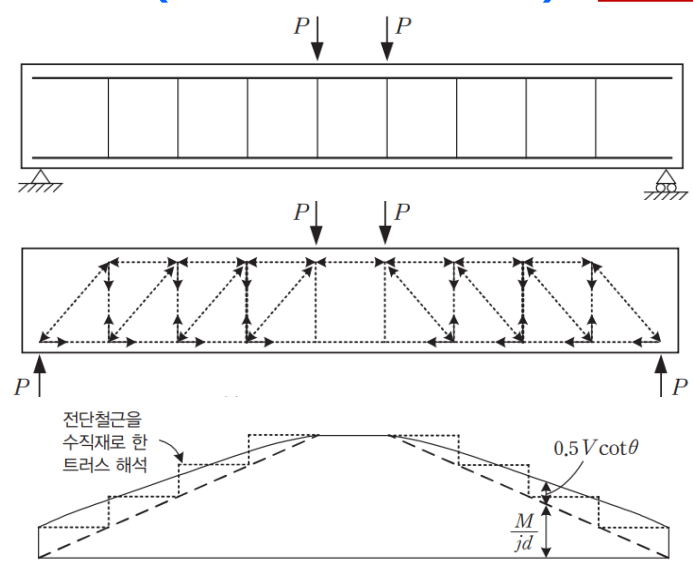


그림 7-23 철근콘크리트 부재 인장철근의 인장력

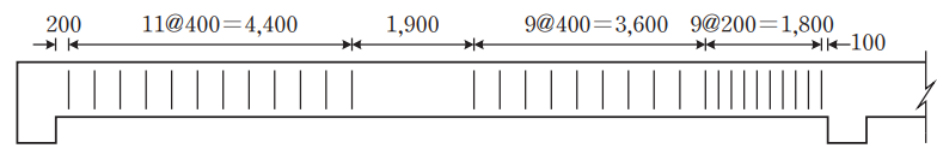


그림 7-52 강도설계법-전단철근 31개

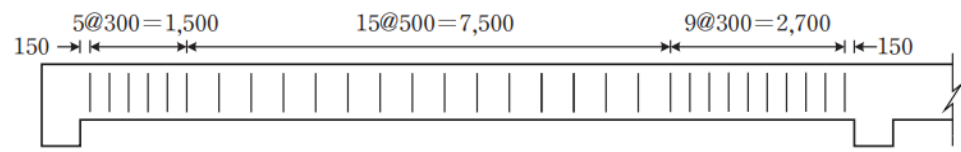
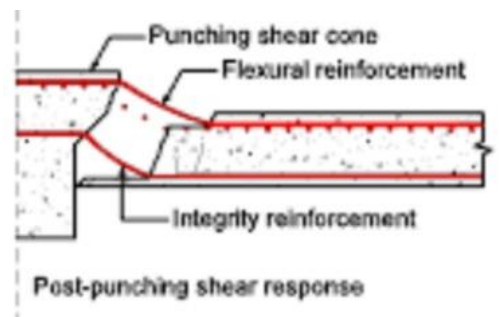


그림 7-66 한계상태설계법-전단철근 31개

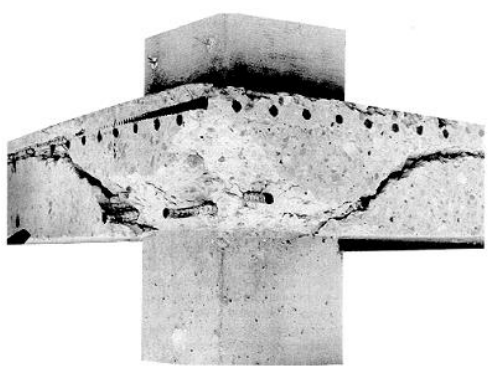
Structural Integrity : 구조 일체성

● Example of Structural integrity - 3

- 단면 상부와 하부에 인장철근 배치 : 뚫림전단파괴 대비



무량판 상부 하부 인장철근이 한 곳에서 모두 겹침이음...



Structural Integrity : 구조 일체성



● 무량판의 뚫림전단 설계

- 플랫 플레이트 콘크리트로 뚫림전단 강도를 만족하면 전단철근 배치 안함

$f_{ck} = ?$

- KDS 14 20 설계기준 (강도설계법)의 뚫림전단 강도계산법은 매우 복잡



[2] 공칭전단강도와 설계전단강도 : $\phi = 0.75$

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s)$$

$$V_n \leq 0.58 f_{ck} b_o c_u$$

$$V_s = \frac{A_v f_s d}{s} \quad f_s = 0.5 f_{yt}$$

$$V_c = v_c b_o d$$

$$v_c = \lambda k_s k_{bo} f_{te} \cot \psi \left(\frac{c_u}{d} \right)$$

$$k_s = (300/d)^{0.25} \leq 1.1$$

$$k_{bo} = \frac{4}{\sqrt{\alpha_s (b_o/d)}} \leq 1.25$$

$$f_{te} = 0.2 \sqrt{f_{ck}}$$

$$\cot \psi = \frac{\sqrt{f_{te}(f_{te} + f_{\alpha})}}{f_{te}}$$

$$c_u = d \left[25 \sqrt{\frac{\rho}{f_{ck}}} - 300 \left(\frac{\rho}{f_{ck}} \right) \right]$$

$$f_{\alpha} = \frac{2}{3} f_{ck}$$

d : mm 단위의 인장철근 유효깊이

v_c : 콘크리트 재료의 공칭전단응력강도

b_o : 위험단면의 둘레길이

λ : 경량콘크리트계수

k_s : 슬래브의 두께계수 (하한값 0.75, 상한값 1.1)

k_{bo} : 위험단면 둘레길이의 영향계수 (상한값 1.25)

α_s : 내부기둥 1.0, 외부기둥 1.33, 모서리기둥 2.0

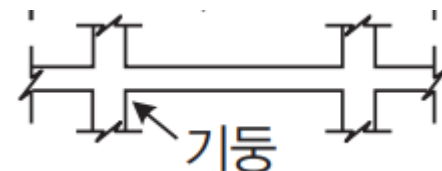
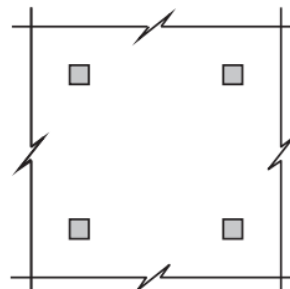
f_{te} : 압축대 콘크리트의 인장강도

ψ : 슬래브 휨 압축대의 균열각도

c_u : 압축철근의 영향을 무시하고 계산된 슬래브 위험단면 압축대 깊이의 평균값으로 ρ 가 0.03 이하인 경우 식을 사용하고, ρ 가 0.005 이하인 경우 0.005를 사용할 수 있음

ρ : 설계위험단면에서 양방향으로 각각 판의 두께만큼 떨어진 폭에서의 평균인장주철근비

f_{α} : 위험단면의 압축대에 작용하는 평균압축응력



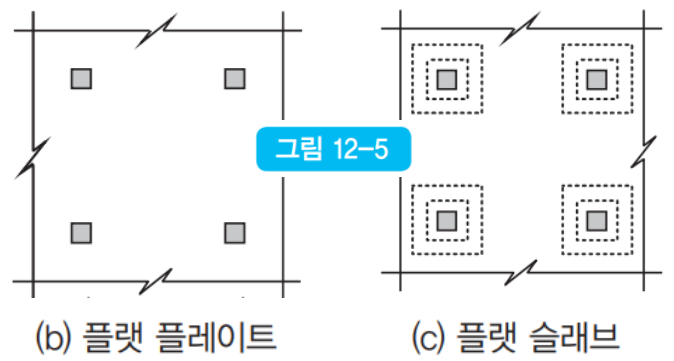
(b) 플랫 플레이트

그림 12-5

Structural Integrity : 구조 일체성

● 무량판 구조의 뚫림전단 설계

- 플랫 플레이트 판의 뚫림전단강도가 부족하면, 기둥머리(capital)나 저판(drop panel)의 플랫 슬래브로 변경 또는 전단철근 보강으로 뚫림전단강도 증진.



시공 문제 : 전단철근 배치 콘크리트 타설

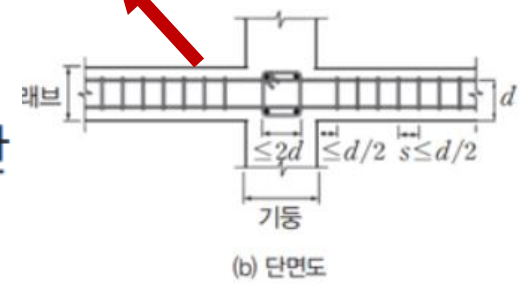
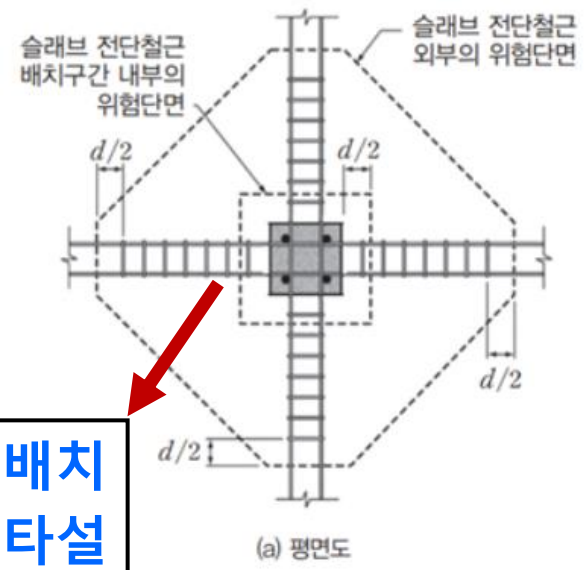
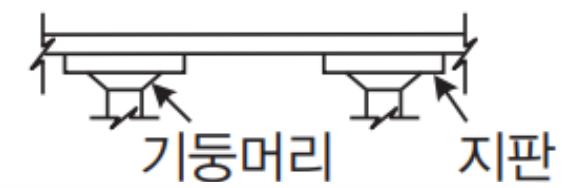


그림 7-79 내부기둥의 뚫림전단철근 배치

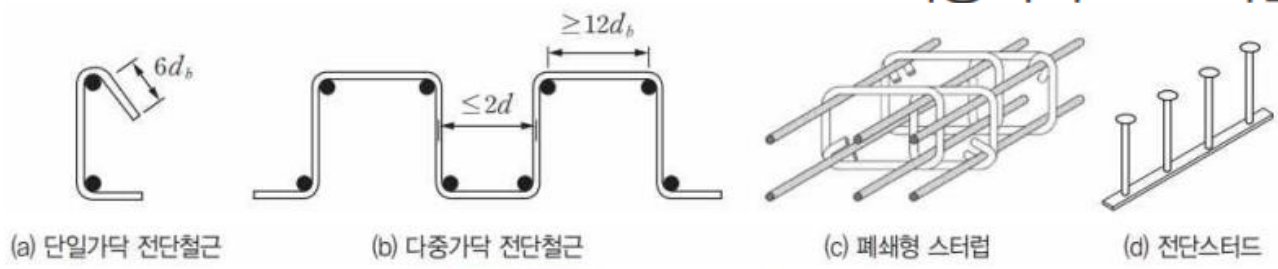


그림 7-78 전단 보강재의 형태

Boston Common Park 지하주차장



거푸집 작업과 콘크리트 타설 작업이 복잡하더라도....

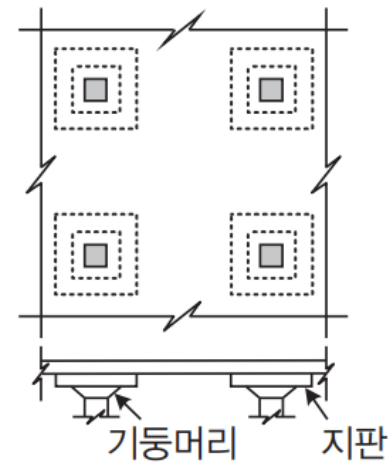
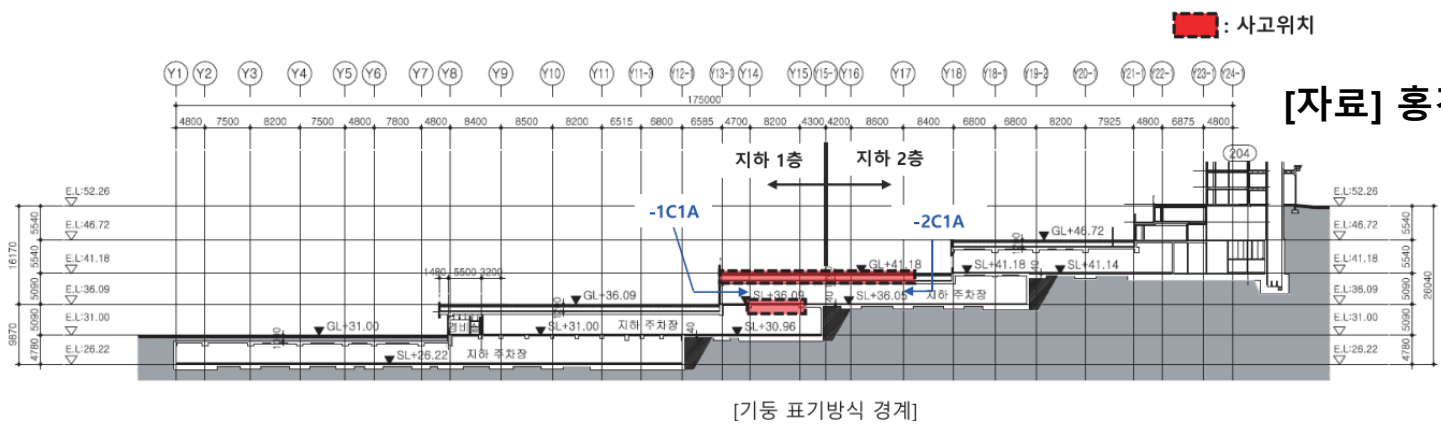


그림 12-5 (c) 플랫폼 슬래브

Structural Integrity : 구조 일체성

- 무량판 전단철근 누락 : 복잡한 형상·배치의 지하주차장
 - 복잡한 도면(작성, 이해)으로 헛갈림
 - 그나마도 도면을 볼 수 있는 기술자는 현장에 없고...



- 교량 바닥판의 뚫림전단 파괴
 - 1980년대에 자주 발생
 - 바닥판 최소두께 기준 상향으로 해결

180mm → **220mm**



Structural Integrity : 구조 일체성

● 구조 일체성 실패 사례 : 붕괴 사고



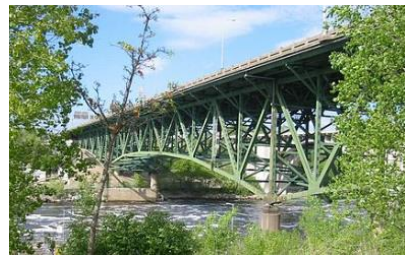
WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

Notable failures

First Tacoma Narrows Bridge



I-35W Bridge



Sampoong Department Store collapse

On 29 June 1995, the five-story Sampoong Department Store in the Seocho District of **Seoul, South Korea** collapsed resulting in the deaths of 502 people, with another 1,445 being trapped.



삼풍백화점 파괴 징조 - 붕괴 하루 전

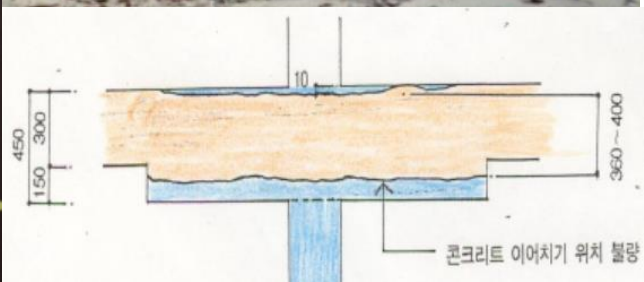
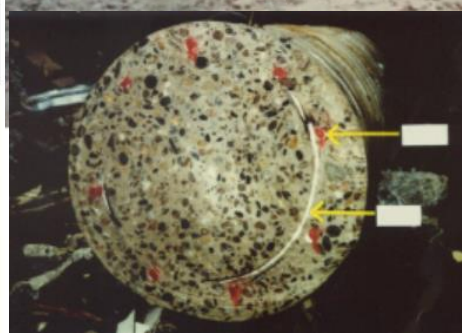
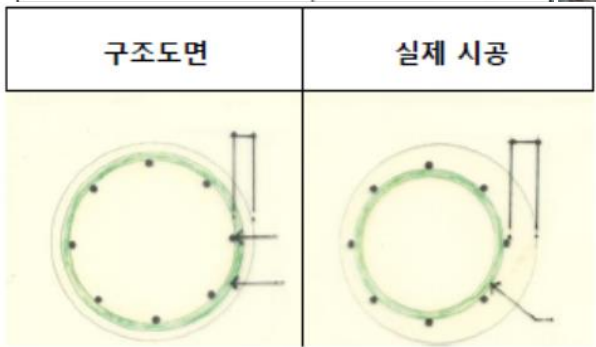
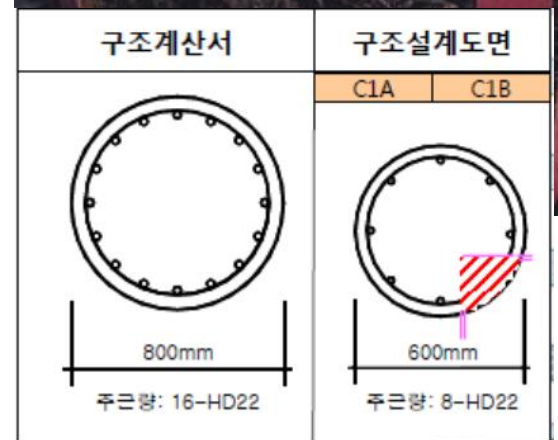
1995. 6. 29

단국대 정란 교수 자료 제공

지붕층 바닥 변형 상태 (붕괴 전날)



1995. 6. 28



Structural Integrity : 구조 일체성

● 철근 연결

● 철근 이음 원칙

- 이음되지 않은 철근과 동등한 성능(강도 확보와 변형 억제)
- 철근이 항복할 때까지 이음부가 파괴되지 않는 이음
- 최대 인장응력이 작용하는 위치에서는 철근 이음을 피함
- 한 곳에서 모든 철근을 이음 않고 일부분만 연결하는 **엇갈림 이음**

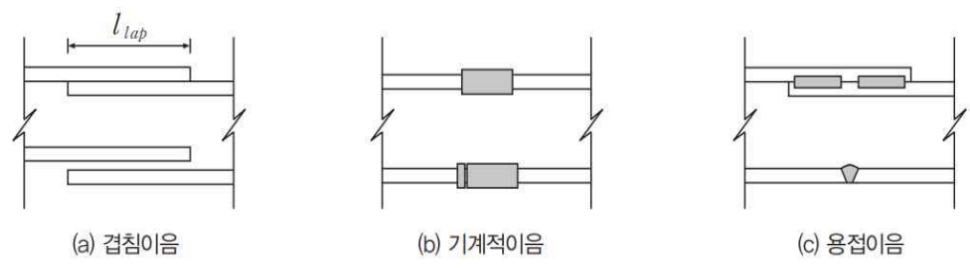
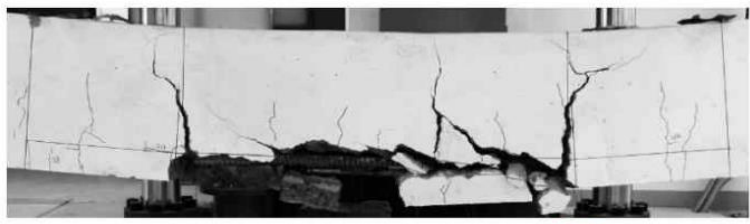


그림 10-12 인장철근의 이음방법

● 이음부의 균열 : 응력집중으로 균열 발생



(a) 모든 인장철근이 겹침이음된 부재의 파괴^{10.45}



(b) 커플러 연결부 균열^{10.46}

그림 10-47 겹침이음부의 파괴와 커플러 연결부의 균열

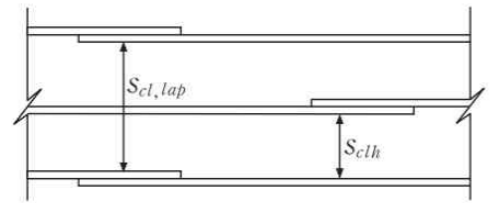
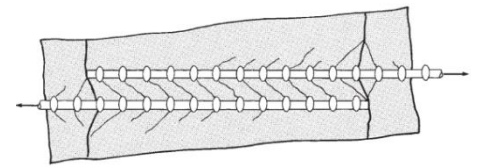


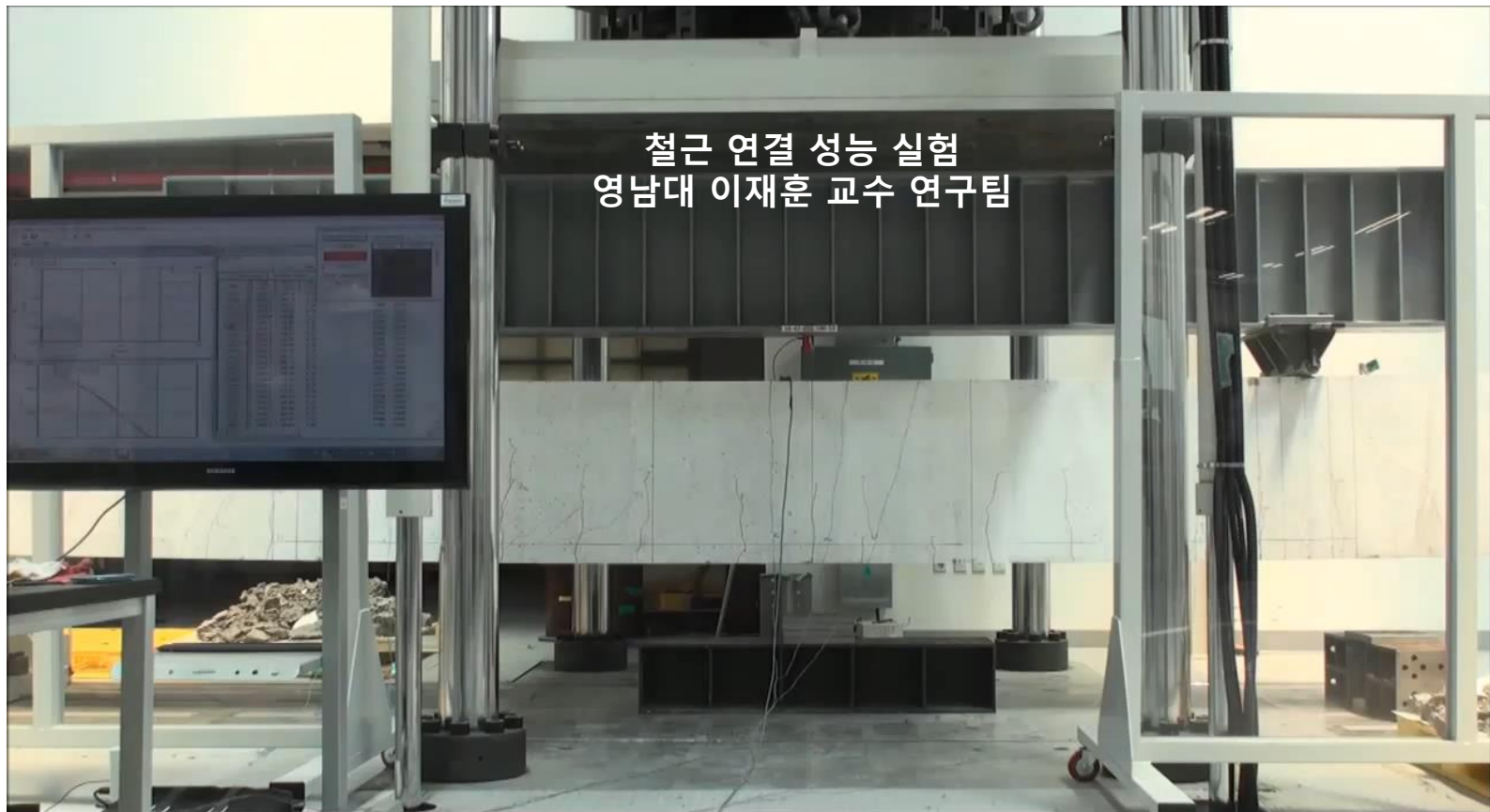
그림 10-48 겹침이음 된 철근



[Ref.] McGregor(1988)

Structural Integrity : 구조 일체성

- **Experiments** : Large size(D57, #18) high strength steel lap splice test for development length

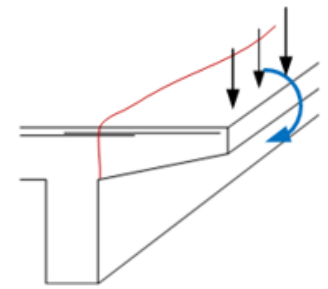
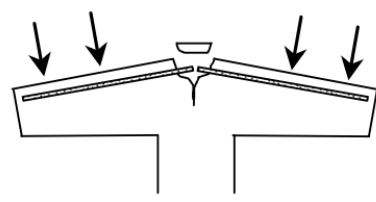
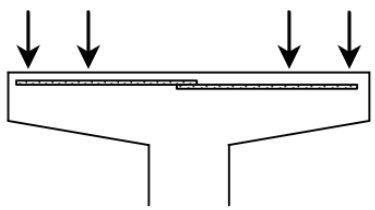


Structural Integrity : 구조 일체성

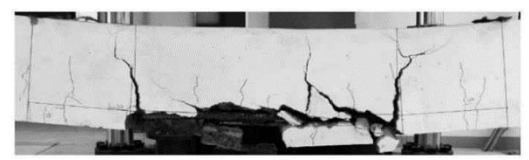
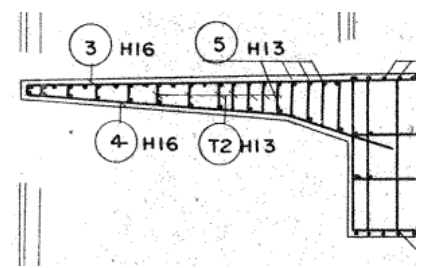
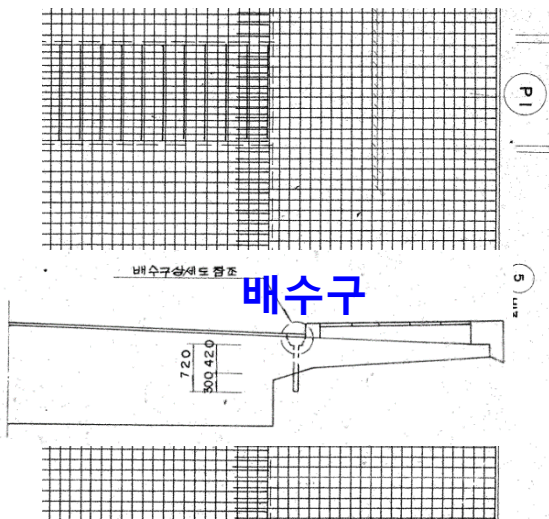
● 캔딜레버 인장철근 전수이음부의 파괴 사례

● 안양 박달2교 램프(1997.7)

● 올림픽공원 북2문 청룡교(2010.4)



● 성남시 정자교(2023.4.5)



(a) 모든 인장철근이 겹침이음된 부재의 파괴^{10.45}

교량 붕괴 원인

- **Ten Reasons Why Bridges Collapse**
by Ed Grabianowski

- 10. Earthquake
- 9. Fire
- 8. Train Crash
- 7. Boat Impact
- 6. Flood
- 5. Construction Accident
- 4. Manufacturing Defect



- 3. Design Defect
- 2. Poor Maintenance
- 1. Odd Occurrences

[사실인가?] 정자교 포함 68개 교량 정기안전점검 : 2,270만원 (90일)
교량 1개 당 : 33만4천원 (1.3일)

주제-4

- **구조물의 안전성과 내구성**
 - 내구성 확보 조건은 무엇인가
 - 우리나라 콘크리트 구조물의 내구성 문제

콘크리트 구조물의 내구성

● 내구성 확보 조건

1. 처음부터 제대로 설계되어야 한다.

- 안전성, 사용성, 구조 일체성, 내구성을 고려한 설계

2. 처음부터 제대로 시공되어야 한다.

- 내구성을 보장할 수 있는 재료 품질 확보

3. 사용 중 유지관리와 필요시의 보수보강이 제대로 시행되어야 한다.

→ 이런 것들이 제대로 되지 않은 이유는 ?

문제 발생 이유-1 : 지식 교육

● 한국의 토목공학 교육 문제

1. 1970~1980년대 : 40~50년 전

- 대학은 데모와 휴교를 반복 : 제대로 공부 불가능
- 의식 있는 학생들은 독학으로 제한된 지식 습득 → 확산? 중요성?
- 대부분의 학생은 별 공부 안해도 졸업·취업 가능
- 이때 건설된 시설물이 현재 유지관리 대상 (품질?)

2. 1990년대 중반~2000년대 중반 : 잠시 교육 정상화

3. 2000년대 중반~현재 : 약 15년 동안

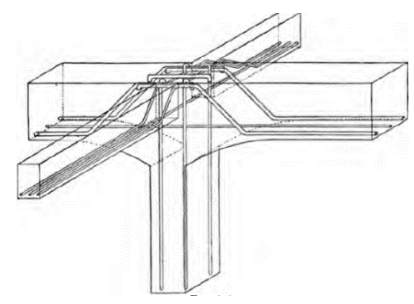
- 학부제, 부전공제, 공학인증제, 융합 → 필수과목 감소
- 대학원 진학 감소 → 전문성 상실 → 공학교육 실패

4. 뿌리 없고 거저 얻은 토목공학 지식으로 교육·현장 적용

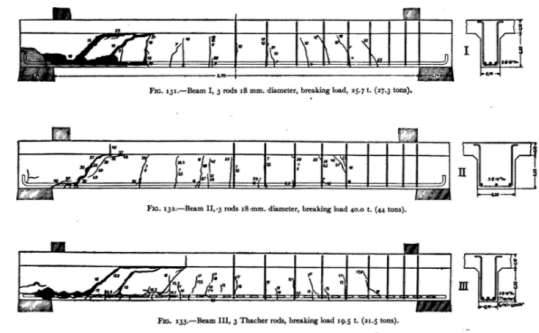
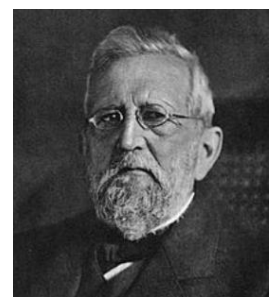
- 지식을 생산해 본적이 없으니, 지식의 소중함을 모를 수밖에..

첫번째 철근콘크리트 구조물과 이론

- 각종 시설물, 정자교, 검단 지하주차장 : **콘크리트 구조물**
- In 1867 : **Monier**(France) made a concrete garden pot reinforced by steel wire and got a patent of RC system.



- In 1887 : **Koenen & Wayss**(Germany) developed the first theory of RC structures.

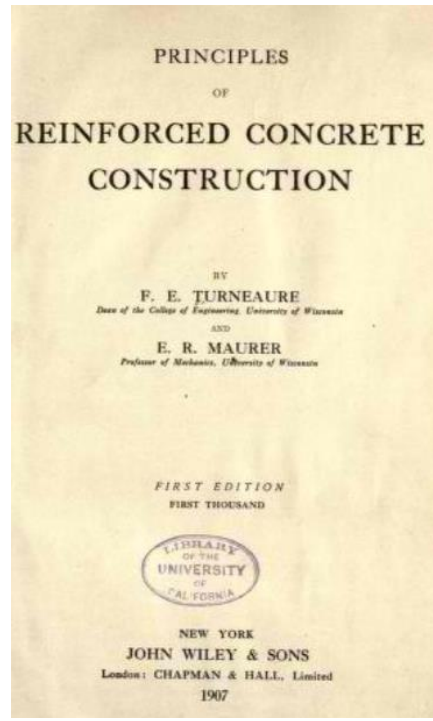


첫번째 철근콘크리트 교과서

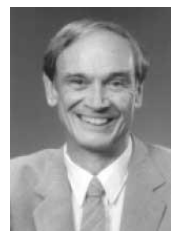
- In 1899 : **Considéré**(France) published the first reinforced concrete textbook in the world
- In 1907 : **Turneaure & Maurer** (US) published the first reinforced concrete textbook in the US



Professor
F. Turneaure
(Univ. of
Wisconsin)



With Prof. Salmon
(Univ. of Wisconsin)
(ACI 2012 Fall
Convention)



Prof. C.K. Wang



36
years
ago

물-시멘트비와 슬럼프 시험 : 당연한 것?

- In 1918, Abrams, Talbot, & Graf(USA) showed **water-cement ratio** was the good measure to predict concrete compressive strength.
- In 1920, Roman(USA) proposed the **slump cone** to evaluate workability which showed linear relationship between water-cement ratio and slump value.



우리나라가 독립운동 할 때

수 많은 실패 후에 Roman이 슬럼프 시험법 개발

- In 1922, the ASTM(American Society for Testing and Materials) adopted **slump cone test** for concrete workability.
- In 1962, KS(Korean Standard) adopted **slump cone test** as KS F 2402.

물론 우리나라도 토목기술이 있었다

- In that same year(1796) : James Parker, Parker cement(Natural cement)
- King Jeongjo(22nd King of the Joseon Dynasty) completed construction of Whaseong Fortress Castle in Suwon City in 1796. (3 years construction)
- Used cable driving cranes in order to move stones, but cement not used.



정약용



정조대왕



Cement NOT used



장승필 지음

역사를 우리 옛 다리

HISTORY AND TECHNOLOGY OF OUR OLD BRIDGES

장승필 지음

우리 옛 다리는 당시의 사회 문화상을 나타내는 국가의 귀중한 문화유산이다. 그러나 최근 몇 년 동안의 급속한 도시 개발로 인해 많은 옛 다리가 사라지고 있다. 이 책은 일제강점기 이전의 우리 옛 다리의 공학적 특성을 조망하여 우리나라 교량건설의 발전사를 되짚어보고 있다. 이 책이 토목공학계에 우리 옛 다리의 가치를 소구시키는 계기가 되길 바란다.

이 책은 우리나라 옛 교량 기술을 발전시킬 때 꼭 필요한 역사적 배경에서 그 시작 부분인 삼국시대부터 고려, 조선의 옛 다리를 대상으로 집중했으며, 옛 다리의 현황과 시대별 교량건설기술을 모두 다루고 있다.

KSC&E PRESS

기술자 정신과 지식에 대한 인식과 자세

- **기술자 정신 (장인 정신)**
- 목에 칼이 들어와도...



- **지식(실험결과, 이론, 시험방법 등)을 접하는 자세**

A. 지식을 어렵게 얻은 사회/개인 : 유럽, 북미 등

- 얼마나 어렵게 얻은 지식인데 허투루 하겠나...
- 슬럼프 시험도 **정성껏, 꼼꼼하게, 절차에 따라, 속이지 않고..**

B. 지식을 쉽게 얻은 사회/개인 : 우리 ?

- 그냥 그렇다고 들었으니... (**확신 결여**)
- 슬럼프 시험도 **대충, 비슷하게, 빨리 빨리, 숫자 좀 바꾸고...**
- **별 차이 있겠나, 현장 상황이 여의치 않으니, 나도 먹고 살아야지..**



[1980년대 표어] 혼을 담은 시공(건설) [현재] 영혼 없는 건설?

문제 발생 이유-2 : 품질 확보 기반 붕괴

- **역대 한국 정부의 건설 정책 문제**
 1. **토목공학(civil engineering)은 정치공학(political eng.) ?**
 - 과거에 **이렇게 건설된 시설물이 현재 유지관리 대상**
 2. **값 싸게 만드는 것이 국민 세금을 절약하는 길 ?**
 - 과거에 **이렇게 건설된 시설물이 현재 유지관리 대상**
 3. **시설물 품질보다 물가와 부동산 가격 관리가 더 중요 ?**
 - 과부하 상태로 건설된 시설물이 **현재 유지관리 대상**
- **1989년부터 품질 확보 기반 붕괴 : 30년 전 쯤 건설된...**
 - 1990년대 중반에 잠시 교육이 정상화 되었으나...
 - **1기 신도시 200만호 주택 공급 정책 : 1989년~1992년 (노태우 정권)**
[수도권 90만호, 비수도권 110만호, 도로, 교량] → 한 번에 불가능한 물량

역사 : 대한민국 건설

1945-1960
태동기

- 농지개혁
- 전쟁복구
- 폐허의 국토 재건

1961-1980
성장기

- 새마을 운동 및 해외건설 수출
- 대규모 주택건설 및 단지조성
- 오일달러 겨냥한 해외건설 붐

→ 대부분 대학교
토목공학과

1981-1996
호황기

- 대형 및 초고층 빌딩
- 5개 신도시 사업
- 86아시안 게임, 88올림픽
- 성수대교 및 삼풍 백화점 붕괴

1997-2014
성숙기

- IMF이후 본격적으로 성숙기에 진입
- 건설투자 지속적으로 정체
- 발주물량 대비 기업의 증가 참여한 경쟁구도
- 미국발 금융위기, 유럽재정위기
- 해외건설 수주 증가(동남아, 중동 등)

2015-
?????

- 미래 사회 변화에 따른 재 도약 준비
- 산업전반의 경계가 없어짐
- 글로벌 경쟁 및 융복합
- 4차산업혁명과 스마트건설기술/스마트시티

시설물 노후화

- **성수대교 붕괴사고(1994. 10.24) 후 많은 교량 개축**
 - 콘크리트 구조에 대한 이해 부족(?) 또는 의도적(?) 내하력 하향 판정
 - 1990년대 후반 개축 교량 : 30년 이상 노후화 → 이제부터 문제 발생



$$\text{공용내하력}(P) = P_r \times R.F \times K_s \times K_\delta \times K_i$$

여기서, P_r = 설계 활하중,

$$K_s = \text{응력보정계수} \left(K_s = \frac{\epsilon_{calc}}{\epsilon_{meas}} \frac{1+i_{code}}{1+i_{meas}}, \frac{\delta_{calc}}{\delta_{meas}} \frac{1+i_{code}}{1+i_{meas}} \right)$$

K_δ : 재하시험의 **처짐보정계수** K_i : 차량주행시험 충격보정계수

[여기서, ϵ_{calc} , (δ_{calc}) = 초기 해석모델로부터 구한 변형율(처짐),

ϵ_{meas} , (δ_{meas}) = 실측 변형율(처짐),

i_{code} = 설계 충격계수, i_{meas} = 실측 충격계수]

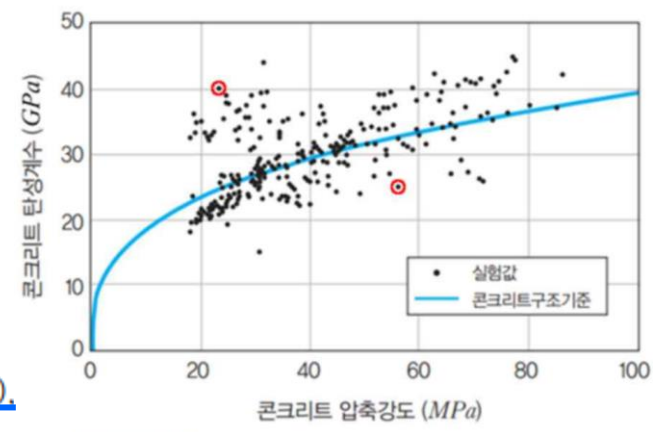


그림 2-9 콘크리트의 압축강도와 탄성계수의 관계

[Ref.] 철근콘크리트-강도설계법과 한계상태설계법, 이재훈 지음, 동명사 출판, 2023년, 1,100 46

품질 확보 기반 붕괴

- **1989년부터 품질 확보 기반 붕괴 : 30년 전 쯤 건설된...**
 - (1) 감당할 수 없는 건설 물량 : **자재, 장비, 인력 부족**
 - 주택 200만호 + 도로 + 교량 + 상·하수도 + 난방 + 전기 + 통신...
 - 1기 신도시 주택 29만2000호 : 분당 9만7600호, 일산 6만9000호, 평촌 4만2000호, 산본 4만2000호, 중동 4만1400호
 - ➔ **자격 미달 업자(이때 한탕 하려는) 양산, 기술자 정신 약화**
 - (2) 건설 자재 품질과 공급 한계 : **철근, 잔골재(모래), 굵은골재(자갈)**
 - **철근 부족** : 외국산 수입 철근 사용
 - **골재 부족** : 강 자갈 고갈, 바닷모래(해사)와 부순골재(쇄석) 사용
 - (3) 시장경제와 무관한 정부 주도 조달청 단가 : **국민 세금 절약 ?**
 - **정부 주도 조달청 단가**로 자재 공급
 - ➔ **이렇게 건설된 시설물이 현재 유지관리 대상**

품질 확보 기반 붕괴

[제안]
1기 신도시 아파트
철근 부식 상태 조사

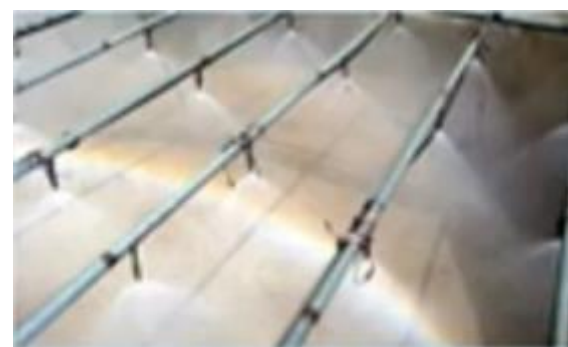
● 1기 신도시 건설 시기의 콘크리트와 철근

(1) 골재 공급 부족으로 바닷모래 (해사) 사용

- 바닷물 평균 염분 농도 3.5 % vs. 시방서 염분 농도 기준 0.04 %
- 어떻게 했어야 하나? : 기준 이하가 되도록 세척 - 경비는 ?

중앙일보

분당.일산.평촌.중동.산본 등 신도시 아파트 중 1991년 대한건축학회 조사 때 대상 아파트의 34% 가량이 기준치 이상의 염분을 함유한 것으로 드러났었다.



(2) 철근 공급 부족으로 외국산 철근 수입

- 중국산 철근은 모두 불량품인가 ?
- 중국 철근 생산 업체 : 약 1,000개 (고로, 전기로)



품질 확보 기반 붕괴

● 골재



(1) 골재 종류 변화

- 환경 파괴 문제로 강(자갈, 모래)과 바다(모래)에서 골재 채취 금지
- 석산에서 채취하는 부순골재로 대체

(2) 부순골재

- 석산을 부수면,

- 쇄석(자갈) 80 % → 입도가 좋아야 하는데...
- 부순모래 10 % → 물량이 적어서 가격이...
- 석분·토분 10 % → 물로 씻어 골라내어 폐기해야 하는데...
비용이.. 제거하지 않으면?



※ 석분·토분이 수분 흡수 -- 콘크리트 유동성 저하 (슬럼프 값 ?)
 -- 가수(물 추가) -- 콘크리트 압축강도 ? -- 투수 저항성 ? -- 내구성 ?

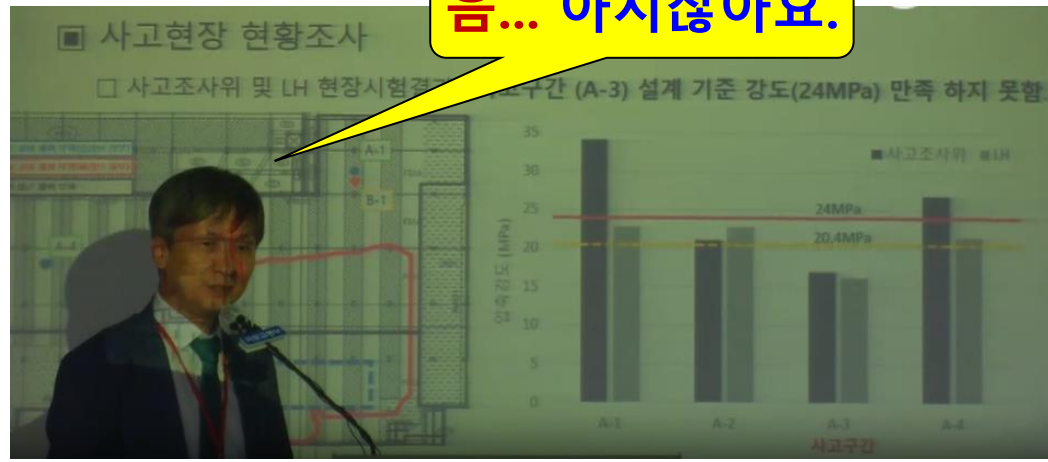
품질 확보 기반 붕괴

● 레미콘 품질

- 검단신도시 지하주차장 붕괴 사고 조사 결과

※ 설계기준강도는 24 MPa,
코어 채취 강도는 16.9 MPa

흥 교수,
진짜 그래?



철근 누락도 문제이지만,
콘크리트 강도 문제가...

재료 단가 : 레미콘(m³ 당)과 철근(톤 당)

[2022년 하반기 단가]

| 규격 | | | 단가 |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 강도 (MPa) | 최대골재 (mm) | 슬럼프 (mm) | 가격 (서울기준) |
| 24 | 25 | 80 | 86,630 |
| | | 100 | 87,990 |
| | | 120 | 89,110 |
| | | 150 | 90,960 |
| | | 180 | 92,840 |
| | | 210 | 94,760 |
| 27 | 25 | 80 | 90,270 |
| | | 100 | 91,640 |
| | | 120 | 92,980 |
| | | 150 | 95,120 |
| | | 180 | 97,320 |
| | | 210 | 99,510 |

| 규격 | | | 단가 |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 강도 (MPa) | 최대골재 (mm) | 슬럼프 (mm) | 가격 (서울기준) |
| 30 | 25 | 80 | 94,810 |
| | | 100 | 96,250 |
| | | 120 | 97,630 |
| | | 150 | 99,930 |
| | | 180 | 102,250 |
| | | 210 | 104,530 |
| 35 | 25 | 80 | 98,940 |
| | | 100 | 100,510 |
| | | 120 | 101,390 |
| | | 150 | 103,580 |
| | | 180 | 105,670 |
| | | 210 | 107,590 |

● 철근 (서울 기준) : SD500 - 1,185,000 원 SD500S - 1,235,000원

품질 확보 기반 붕괴

싼 값으로 만드는 것이 꼭 세금을 절약하는 바람직한 길일까?

● 레미콘 가격 : 1 m³ 단가 (압축강도 30 MPa)

- 한국 약 9만5천원 (10만원이라고 치고..)
- 일본 약 28만원+운반비
- 영국 약 19만원+운반비
- 독일 약 24만원
- 미국 약 22만원
- 대만 약 13만5천원

[자료] 삼표산업 박민용 상무
삼성건설 박동규 박사

● 물가 : [1990년] → [2022년]

- 레미콘 약 4만원 → 10만원 (2.5 배)
- 자장면 1200원 → 5500원 (4.5 배)
- 지하철 250원 → 1250원 (5.0 배)
- 버스 140원 → 1200원 (8.5 배)
- 영화 4000원 → 14,000원 (3.5 배)
- 라면 180원 → 750원 (4.1 배)
- 소주 300원 → 1160원 (3.8 배)
- 새우깡 300원 → 1400원 (4.6 배)
- 쌀 49,200원 → 75,200원 (1.5 배)

물가 관리를 위하여 공사비와 건설 자재비 인상을 최대한 억제...

역대 정부 걱정하는 사람

천원 주면서, 단팔빵, 크림빵, 곰보빵에 우유까지 사오라는 건데... 품질 확보 가능?

품질 확보 기반 붕괴

그 가격에도 기업이 망하지 않는 것을 보면 이익이 난다는 것이니, 가격을 계속 통제..

역대 정부

정부에 정책이 있다면...

민간에는 대책이 있다.

당사자

사회성이 있어야...

직원? 염분? 석분? 세척? 골재 입도? 90분내 타설? 가수 금지? 품질?

- 수도권 map에서 레미콘 공장을 검색하면?



사업은 손해가 나더라도... 공장·버스는 계속 돌리고... 돈은...

- 어떻게 해결? : 자유 시장경제 체제에 맞게 값 쳐주고, 엄격한 평가로 저 품질 업체 영구 퇴출!

문제 발생 이유-3 : 유지관리 상황 변화

- 외국과 과거의 한국에서는 물리적 방법으로 제설



- 국민에 진실을 알리고 의견수렴 해야...

- 근래 한국에서는 화학적 방법으로 제설 : 염화칼슘에 몸살 날 판

선택하십시오.

정부

염화칼슘 뿌리고 30년 정도만 사용하든지...

좀 불편해도 염화칼슘 뿌리지 않고 75년 이상 사용하든지...



요약 및 결론

- 30년 전 쯤부터 시설물 품질 확보 기반 붕괴
- 현재도 재료 품질 보장 못하는 현실
- 공사비 및 재료비 통제
- 기술직 공직자의 전문성 상실-순환보직제 철폐해야..
- 공학 교육 부실화
- 유지관리 상황 변화 : 제설제(염화칼슘) 등
- 기술자 정신과 동료 의식 약화

➔ 현재 건설되는 시설물은 30년 후 어떤 상태일까 ?

관련자들 모두가 합심하여 근본적인 해결책 모색

요약 및 결론

- 강연자가 문제 해결에 참여했던 **시설물** 문제
 - 교량(도로교, 철도교) - 건물 - 지하철 - 지하철도
 - 터널 구조 - 항만 시설 - 상수도 시설 - 통신구/전력구
 - 화력발전소 - 원자력발전소
- 콘크리트 관련 정부 기관
 - 국토교통부 - 산업통상자원부 - 해양수산부 - 농림축산식품부
 - 중소벤처기업부 - 조달청 - 지방정부(도청, 시청) - 공사·공단
- 정부 기관이 **과거**에는 **동료 의식**으로 학계·산업계에 **자문** 요청
요즘은 **갑의 위치**에서 자문·평가 위원회 구성·진행
- 원전 분야 특징 : **Global Standard**
 - 원자력안전기술원(규제기관), 한수원(발주처), 한전기술(설계), 건설사(시공), 설비·부품 공급사(납품) : **동등하게 의견 개진·존중**

맺음말

- **공직자와 학계·산업계 전문가가 공동체·동료 의식**으로 지혜를 모아야...
- 완벽한 것은 없으니 **끊임없이 조사 검토**하여야...
- **신규 건설과 유지관리**의 모든 것을 **글로벌 스탠다드**로 변경하여야...
- **끊임없이 문제점을 제기**하고, **개선안을 제시**하여야...
[사례] 2007년 미국 미네소타 주 I-35W 교량 붕괴사고 조사보고서

맺음말

※ 언론 기고문과 인터뷰 기사 참고

朝鮮日報

조선경제 오피니언 정치 사회 국제 스포츠 연예 문화·라이프 인터랙티브

오피니언 > 시론·기고

[기고] 정자교 붕괴 사고, 이대로는 계속될 것이다

이재훈 한국교량및구조공학회 회장, 영남대학교 건설시스템공학과 교수
입력 2023.04.24. 03:00 가

정자교 붕괴 사고 후 전국의 지자체는 즉시 노후 교량에 대한 긴급 안전 점검을 실시했다. 중앙정부 각 부처도 자료를 작성하느라 바쁘다고 한다. 시설물이 붕괴되면 늘 그랬듯이 이런 사후 조치가 시행된다. 1994년 성수대교 붕괴 사고 이후 유사한 사고가 날 때마다 긴급 안전 점검을 했지만, 심각한 문제를 발견하여 붕괴를 예방한 사례가 있었는지 의문이다. 관련 공직자들은 해야 할 일을 열심히 하고 있다고 생각하겠지만, 이런 사후 조치의 반복으로는 붕괴 사고를 예방하기 어렵다.

대한경제

건설·부동산 증권 산업 금융 경제 정치 사회 레저·문화 피플 오피니언

“교량 안전, 별도 기구 만들어 근본적으로 재점검해야”

기사입력 2023-05-02 06:00:21 폰트크기 변경 A A

[인터뷰] 이재훈 영남대 교수(한국 교량 및 구조공학회장)