

On the Effect of Short-Term Data for Prediction of Long-Term Creep Behavior of Concrete for Decommissioning Waste Package

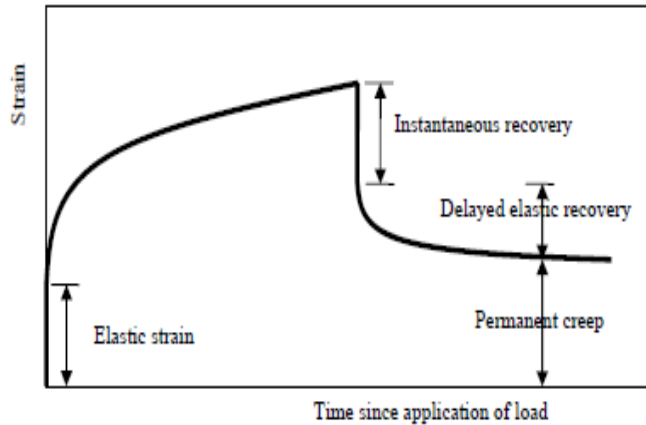
2020 한국원자력학회 추계학술대회
2020. 12. 17.

김종범, 김성균, 서기석, 이주찬
한국원자력연구원

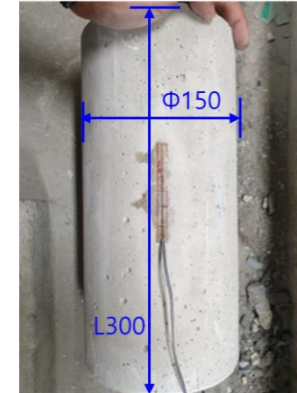
Introduction

□ 연구목적

- ▶ 방사성해체폐기물 패키지 콘크리트의 크립 물성 데이터 확보 (1년)
- ▶ 콘크리트 용기의 300년 장기크립변형률 예측 (회귀분석)
- ▶ 장기크립거동 예측에 활용되는 크립데이터의 영향 분석 (4개월, 8개월, 12개월)



Creep Behavior of Concrete



크립시험 공시체

Chemical composition of concrete

F _{ck} (MPa)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)				
				W	C	FA	S	G
40	3.5	40	45	163	326	81.5	761.6	963.6

Test facility, Measurement and Preparation

□ 크립시험

- 유압식 크립시험기 (공시체 3개 직렬 적재)
- Data acquisition system (Tokyo Sokki TDS-303)
- Gage : PL-60-11 strain gage (GL=60mm)
시편당 180도 간격으로 2개씩 부착(CN접착제)
- Test Specimen : 공시체 (직경 150mm, 길이 300mm)
 - 수량 : 3개
 - 28일 양생후 시험
- Loading :
 - 19.6MPa (압축강도의 40%)
- 시험기준 : ASTM C512 절차 적용
또는 KS F2453 절차 적용



콘크리트 크립시험기



Designation: ~~C512/C512M - 10~~ C512/C512M - 15

Standard Test Method for
Creep of Concrete in Compression¹

KS

콘크리트의 압축 크리프 시험방법
KS F 2453:2013

Test procedure(1/3)

□ 압축 탄성시험

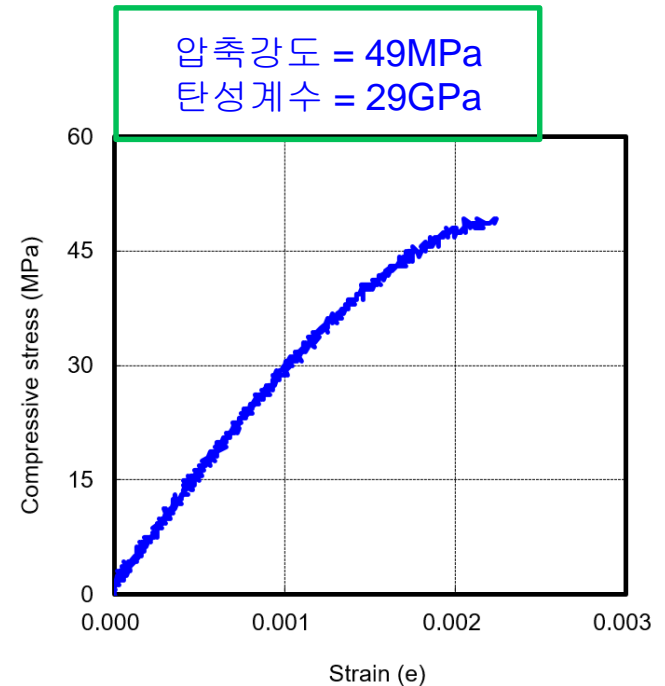
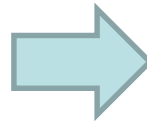
- 시편준비 : 직경 150mm 공시체 (수중양생 7일후 28일 항온항습실 양생)
- 압축탄성시험 수행 : 순수 크립변형률 계산을 위함 (KS F 2405 적용)
(크립변형률 = 총변형률-탄성변형률-건조수축)



압축.탄성 시험



압축시험후 시험편



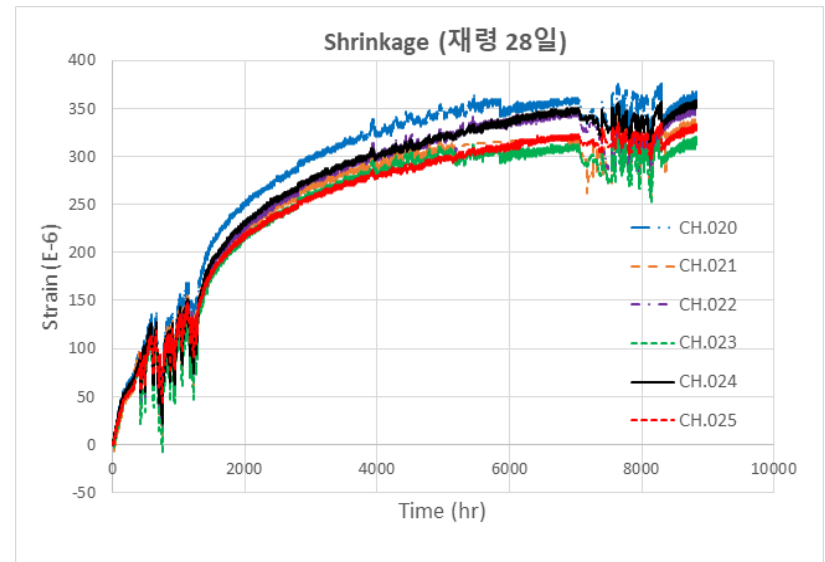
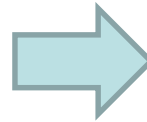
Test procedure(2/3)

□ 건조수축시험

- 시편준비 : 직경 150mm 공시체 3개(수중양생 7일후 28일 항온항습실 양생)
- 시험조건 : 시험하중 없음(free condition)
- 시험기간 : 1년
- 시험수행 : 순수 크립변형률 계산을 위함 (ASTM C39 적용)
(크립변형률 = 총변형률-탄성변형률-건조수축)



건조수축 시험



건조수축 시험결과 (재령28일, 1년 시험)

1년 동안 건조수축 변형량 = 평균 0.034%

Test procedure(3/3)

□ 크립시험

- 시편준비 : 직경 150mm 공시체 3개(수중양생 7일후 28일 항온항습실 양생)
- 시험조건 : 시험하중 19.6MPa (346kN 재하, 하중저하시 유압잭으로 하중 보정)
항온(20°C), 항습(50%)
- 시험기간 : 1년
- 시험수행 : (크립변형률 = 총변형률-탄성변형률-건조수축)



시험편 설치



시험하중 재하 및 고정



데이터 로거 연결
(Tokyo Sokki TDS-303)



크립 시험 장면 (Left)

Test Result (1/2)

■ 크립시험 결과

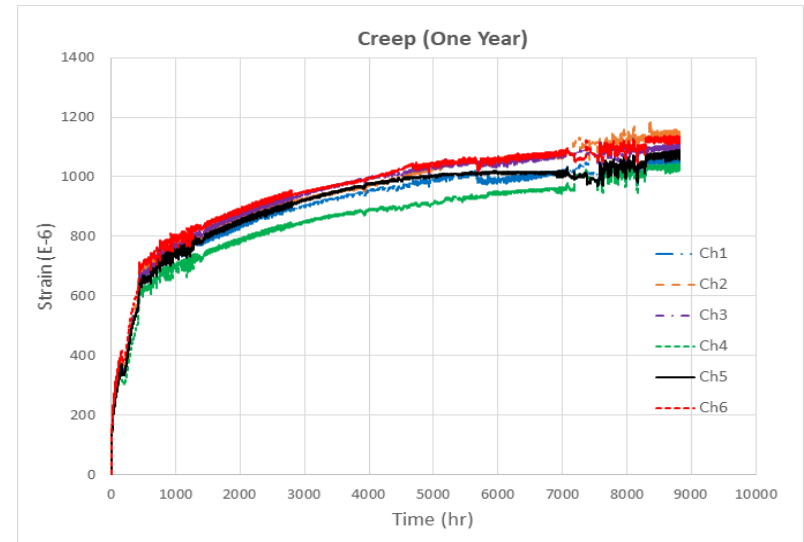
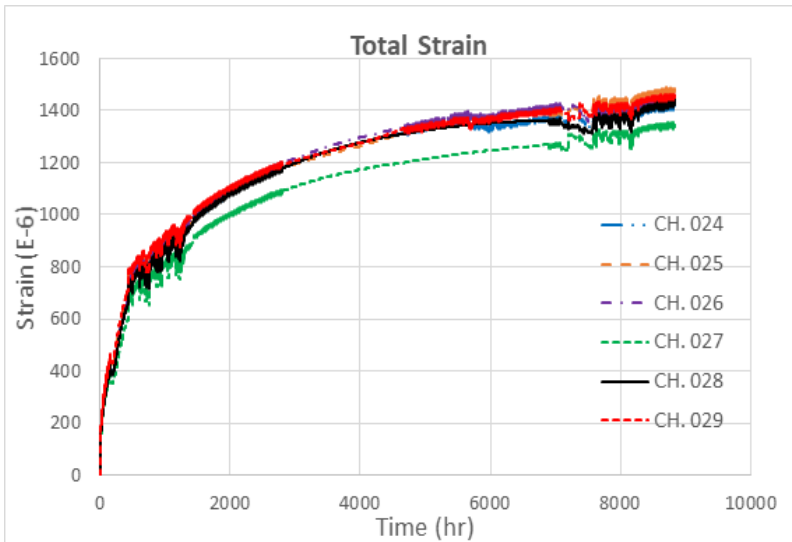
◆ 28일 양생 시험편, 압축강도 40% 하중(19.6MPa) 적용

➢ 6채널 데이터 수집 : 총 변형을 측정

■ 크립변형을 계산

◆ 순수크립변형률 = 총변형률 - 탄성변형률 - 건조수축변형률

➢ 보수적평가 목적으로 탄성변형률은 제외함 (19.6MPa/29GPa=0.068%)



크립시험 결과 (총변형률, 1년 평균 0.14%)

1년 동안 순수크립변형률, 평균 = 0.11%

일반적으로 콘크리트 크립은
6개월이면 전체의 75%,
1년이면 전체의 80%의 크립이 발생.
4~5년이면 크립발생이 정지함

장기 크립거동 예측 (1/3)

Curve Fitting (회귀분석)

- ◆ 분수함수 → Ross와 Lorman의 분수함수 형태 선정 → $\epsilon_{cr} = \frac{t}{a+bt}$
- ◆ 로그함수 → 분수함수를 보완하기 위해 추가 선정 → $\epsilon_{cr} = c \cdot \ln(t) - d$
- ◆ 함수 독립변수 계산 : 최소자승법 적용 (Origin function 이용: 결정계수 R² 최소화)

$$Res^2 = \sum_i^n [y_i - f(x_i, a, b)]^2$$

$$\frac{dRes^2}{da} = 0 \text{ and } \frac{dRes^2}{db} = 0$$

신뢰성 →

$$R^2 = 1 - \sum_1^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{(y_i - \bar{y})^2}$$

→

0과 1 사이값;
1에 가까울수록
신뢰도 높음

- ◆ 크립시험데이터를 4개월분, 8개월분, 12개월분을 이용하여 각각의 독립변수 결정

크립시험데이터에 따른 분수함수 독립변수

	4개월	8개월	12개월
a	279550	349129	404413
b	1034	958	919
R ²	0.99	0.99	0.96
1년 크립변형률(%)-예측	0.094	0.1	0.104

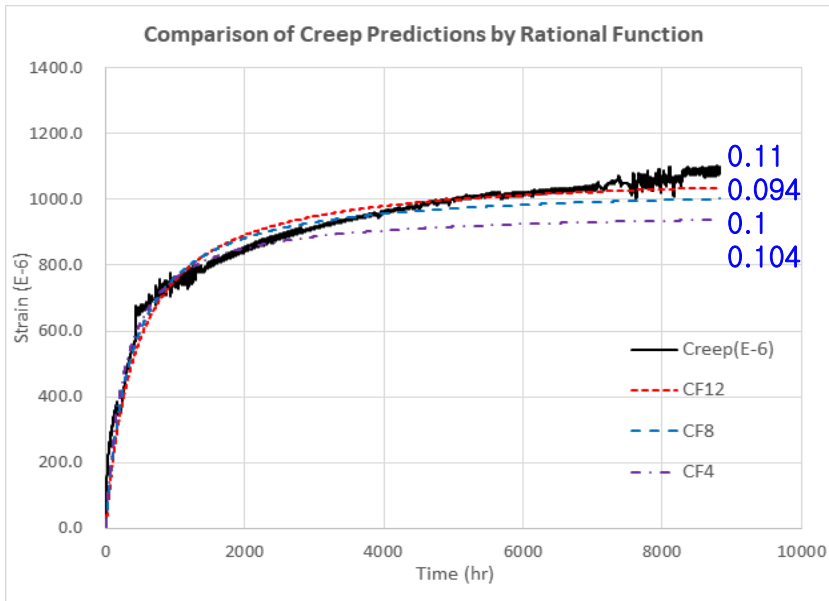
크립시험데이터에 따른 로그함수 독립변수

	4개월	8개월	12개월
c	166.23	170.41	160.63
d	410.89	447.71	373.8
R ²	0.96	1.0	0.98
1년 크립변형률(%)-예측	0.11	0.11	0.11

장기 크립거동 예측 (2/3)

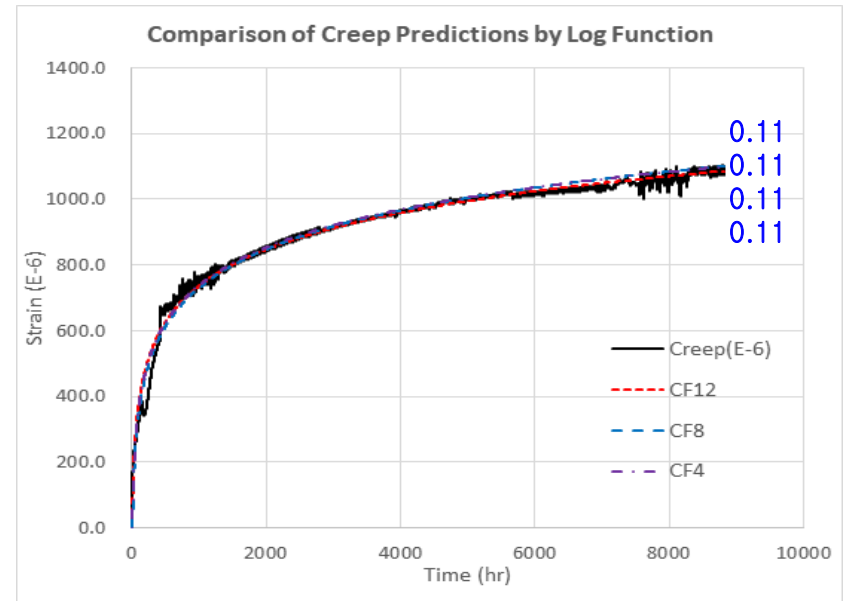
Curve Fitting - 1년

◆ 분수함수(Ross와 Lorman의 분수함수) 및 로그함수 선정



분수함수 Curve Fitting (1년)

분수함수 회귀분석 결과는
1년 실험값보다 과소평가 경향.
사용 시험데이터의 기간이 길수록 정확함.



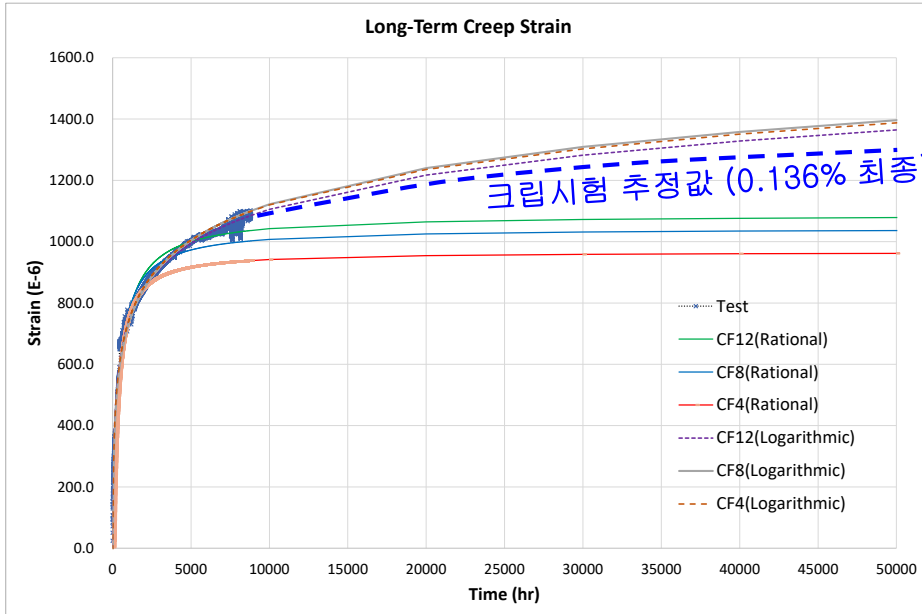
로그함수 Curve Fitting (1년)

로그함수 회귀분석 결과는
1년 실험값과 모두 유사함.
사용시험데이터의 기간 영향이 없음.

장기 크립거동 예측 (3/3)

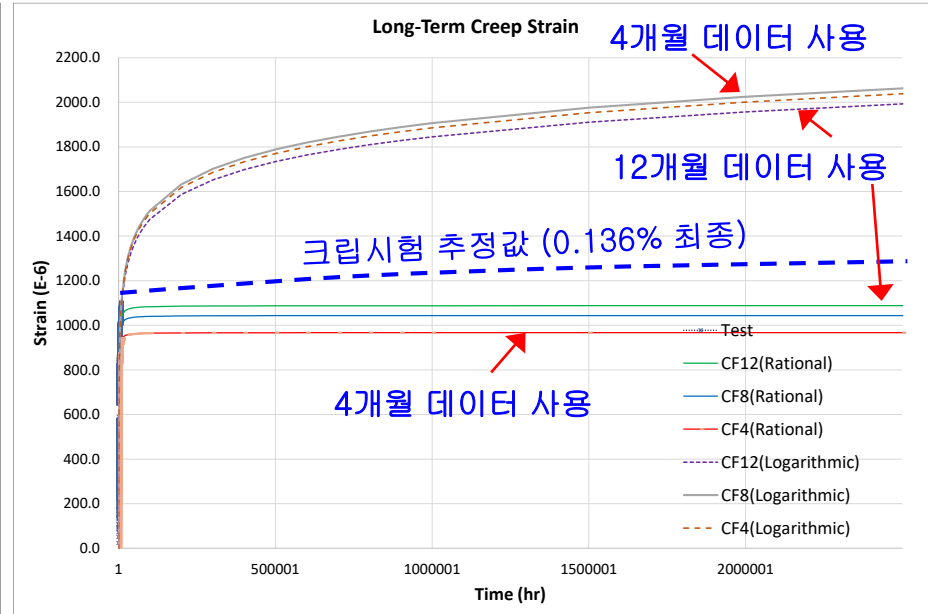
Curve Fitting - 300년

◆ 분수함수 및 로그함수



분수함수, 로그함수 Curve Fitting (70개월)

분수함수 회귀분석 결과는
 300년후 0.109, 0.104, 0.099%
 (압축강도 40%하중, 19.6,Mpa)
 크립변형 조기중지 (Under-estimation)
 시험데이터 기간이 길수록 정확함



분수함수, 로그함수 Curve Fitting (300년, 3600개월)

로그함수 회귀분석 결과는
 300년후 0.200, 0.207, 0.205%
 (압축강도 40%하중, 19.6,Mpa)
 크립변형 계속증가 (Over-estimation)
 시험데이터 기간이 길수록 정확함

※크립시험추정값 : 1년에 전체 크립의 80%발생 → 추정값 = 0.11% / 0.8

Summary

- 원전 해체 방폐물 콘크리트 용기의 포틀랜드 1종 콘크리트에 대한 크립시험 수행
 - 크립시험하중은 압축강도의 40% (19.6MPa)
 - PI-60 strain gage로 변형률 측정 (콘크리트 공시체 3개, 공시체 당 2개씩 부착, 총 6채널)
- 압축강도시험 수행 (압축강도 49MPa, 탄성계수 29GPa)
- 건조수축시험 수행 (1년 건조수축량 0.034%)
- 1년 크립시험 결과 : 순수크립변형률은 0.11%
- 콘크리트 크립시험 데이터를 활용한 장기 콘크리트 거동 예측식 제안 : 분수함수 & 로그함수
 - ✓ 회귀분석 적용으로 분수함수와 로그함수의 재료상수 결정 (R^2 평가 ~ 1)
 - ✓ 4개월, 8개월, 12개월 시험데이터 적용 분수/지수함수 결정 : 1년 크립 시험기간의 영향 분석 결과 분수함수는 시험기간이 길수록 좋았지만 로그함수는 차이가 없었음. 하지만 300년 장기크립 예측의 경우에는 분수함수와 로그함수 모두 시험기간이 길수록 좋음.
 - ✓ 300년후 크립변형률은 분수함수는 0.109%로 저평가, 로그함수는 0.2%로 과대평가 결과가 나옴(19.6MPa 하중). 장기크립거동 예측에 분수함수와 로그함수의 병행이 추천됨.
- 확보한 크립물성데이터는 처분용기 구조건전성 평가에 활용 (30단 적재 하중으로 인한 응력은 4.3MPa로 이에 대한 크립변형률은 무시할 만한 수준임)