

# 세계 인구 성장 모델링과 시뮬레이션: 수치해석(*Numerical Analysis*)

Chapter 5 ~ Chapter 9 요약

데이터 수집 | 모델 개선 | 수학적 해석

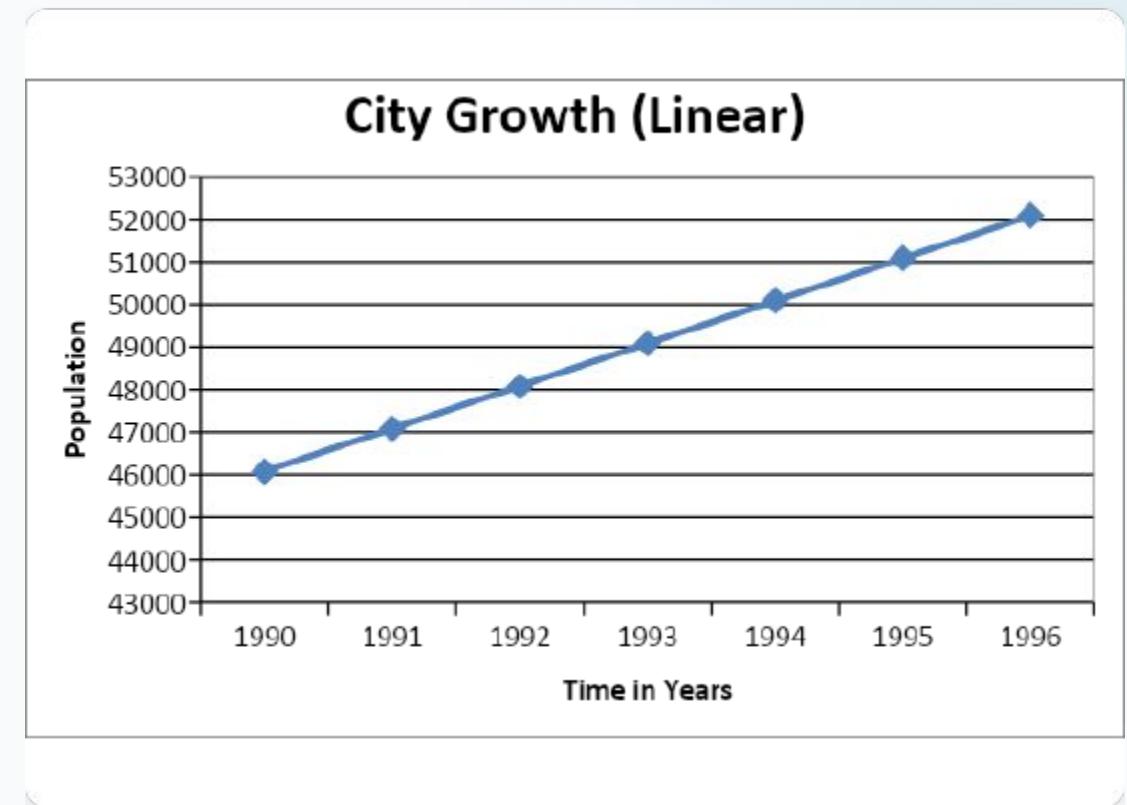
# Chapter 5 - 상수 성장 모델 (Constant Growth)

## 가장 단순한 가정에서 시작하기

- **가정:** 인구는 매년 일정한 수( $c$ )만큼 증가한다.
- **데이터:** 1950년~2016년 세계 인구 데이터 (US Census, UN).
- **시뮬레이션:** 1950년 인구에서 시작하여 매년 평균 증가량을 더함.

$$x_{n+1} = x_n + c$$

**결과 및 한계:** 최근 데이터와는 맞지만, 과거의 장기적 패턴(비선형)을 설명하기엔 너무 단순함.



# Chapter 6 - 비례 성장 모델

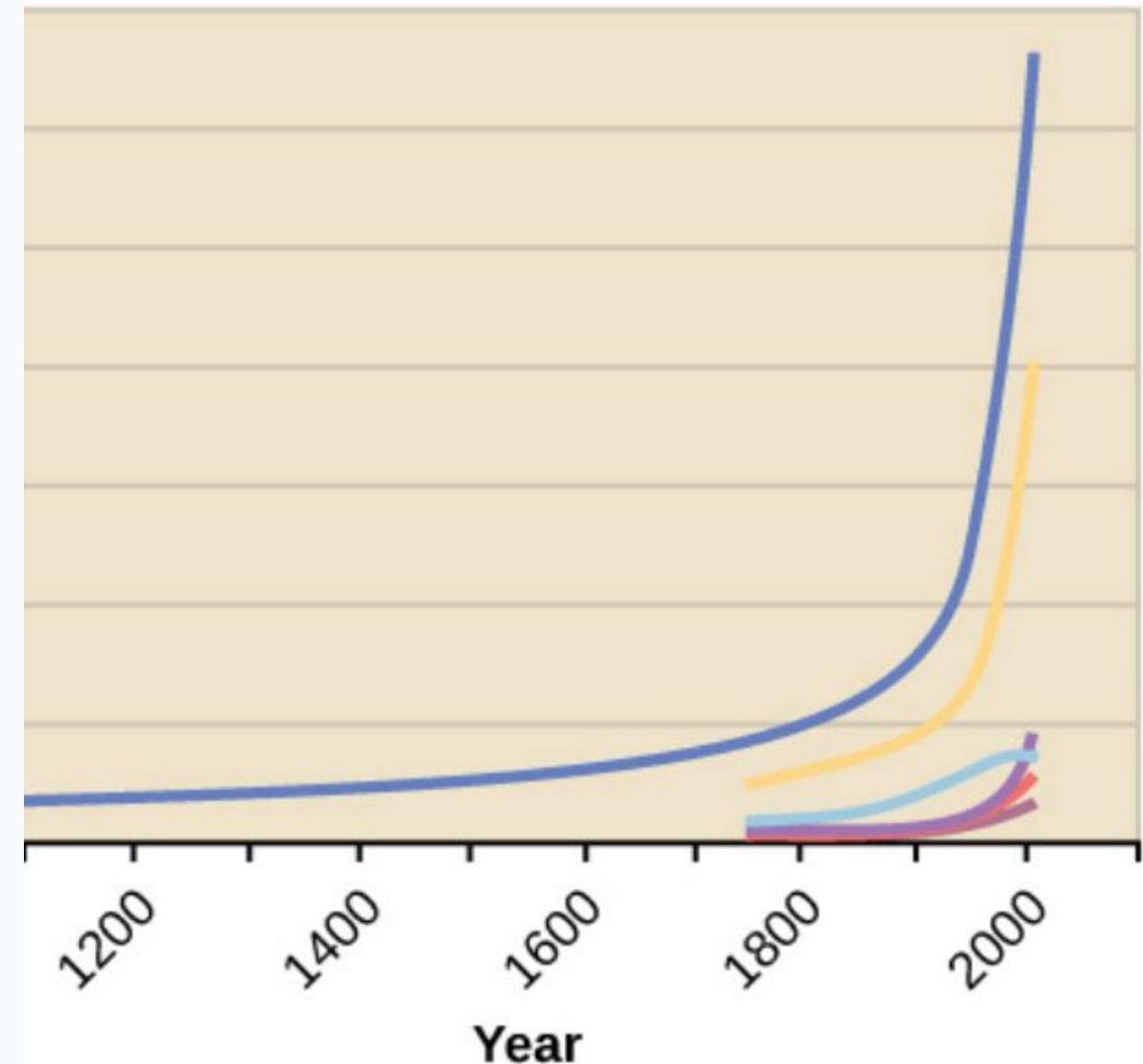
## 인구 규모를 고려한 성장

- **가정:** 인구가 많을수록 태어나는 사람도 많아진다. (현재 인구에 비례)
- **순성장률( $\alpha$ ):** 출생률 - 사망률

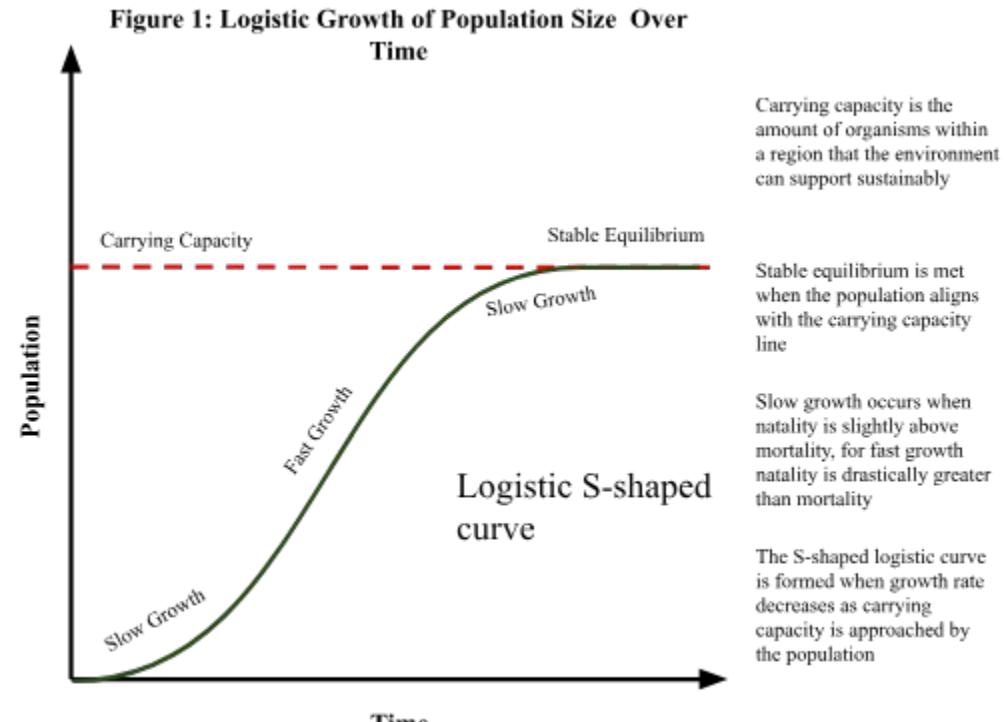
$$\Delta x = \alpha x$$

### 결과 및 한계:

1950~1965년 초기 데이터와는 잘 맞으나, 시간이 갈수록 기하급수적으로 폭발(Exponential Growth)하여 자원 한계를 반영하지 못함.



# Chapter 7 - 이차 성장 모델과 한계



## 자원의 제약과 환경 수용력(K) 반영

- **가정:** 인구가 늘어나면 자원 부족으로 성장률이 감소한다.
- **환경 수용력(K):** 지구가 감당할 수 있는 최대 인구.

$$\Delta x = \alpha x + \beta x^2$$

결과:

인구 성장이 점차 둔화되어 K값에 수렴하는 **S자 곡선(로지스틱 곡선)**을 그리며, 과거 데이터 전체를 가장 잘 설명함.

# Chapter 8 - 미래 인구 투영 (Projections)



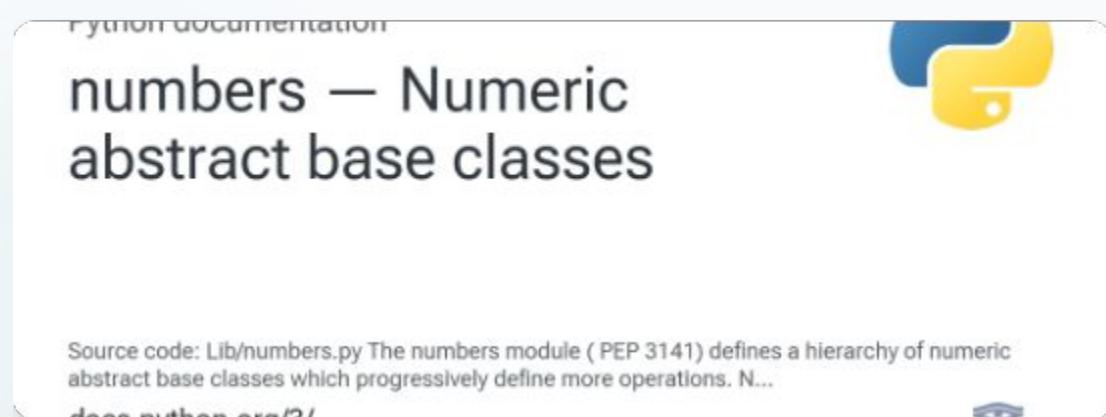
## 모델을 이용한 2100년 예측

- **투영 vs 예측:** 모델의 가정이 유지된다면 어떤 일이 일어날지  
시뮬레이션함.
- **비교 검증:** UN, 미국 인구조사국(US Census) 등의 전문 기관  
데이터와 비교.
- **결론:** 우리의 단순한 이차 성장 모델도 전문가들의 복잡한  
모델과 유사하게 **2100년경 약 110~120억 명** 수준에서 정체될  
것으로 예측됨.

# Chapter 9 - 시뮬레이션에서 해석학으로

## 코드를 넘어 수학적 해법 찾기

- **전환:** 반복문(Simulation) 대신 미분 방정식(Analysis)을 사용하여 해를 구함.
- **도구:** 파이썬 SymPy 라이브러리를 이용한 기호 연산.
- **의의:** 시뮬레이션 없이 임의의 시점  $t$ 의 인구를 즉시 계산 가능하며, 파라미터( $K, \alpha, \beta$ ) 간의 관계를 증명함.



### 모델별 수학적 해 (Exact Solutions)

#### 1. 상수 성장 (선형 함수)

$$f(t) = ct + p_0$$

#### 2. 비례 성장 (지수 함수)

$$f(t) = p_0 e^{\alpha t}$$

#### 3. 이차 성장 (로지스틱 함수)

$$f(t) = \frac{K}{1 + Ae^{-rt}}$$

# 결론 및 요약



## 모델의 진화

상수(단순)



비례(초기 적합)



이차(가장 정확)

현실의 제약을 반영할수록 모델은  
정교해집니다.



## 방법론의 통합

### 시뮬레이션:

복잡한 실험과 단계별 계산.

### 해석학(Analysis):

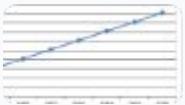
정확한 해와 일반 법칙 발견.



## 최종 교훈

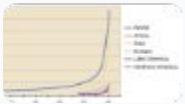
모델링은 현실을 단순화하는 과정입니다.  
단기 예측이냐 장기 투영이냐에 따라 가장  
적절한 모델을 선택해야 합니다.

# Image Sources



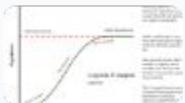
[https://math.libretexts.org/@api/deki/files/32951/cXhCXoVDuB\\_Ng00YiGTBXIkI4mkg-XlgwODc57WNFZedajOwHLPO8MPj-u2w\\_1w8EqY9r5UKMYWs1Iza6BqVAFx5aQt3HoByznBRZ\\_HcoTP1hAwKK-cK-2lyVnyl8E9Dvhx0ODI?revision=1&size=bestfit&width=480&height=288](https://math.libretexts.org/@api/deki/files/32951/cXhCXoVDuB_Ng00YiGTBXIkI4mkg-XlgwODc57WNFZedajOwHLPO8MPj-u2w_1w8EqY9r5UKMYWs1Iza6BqVAFx5aQt3HoByznBRZ_HcoTP1hAwKK-cK-2lyVnyl8E9Dvhx0ODI?revision=1&size=bestfit&width=480&height=288)

Source: [@api/deki/files/32951/cXhCXoVDuB\\_Ng00YiGTBXIkI4mkg-XlgwODc57WNFZedajOwHLPO8MPj-u2w\\_1w8EqY9r5UKMYWs1Iza6BqVAFx5aQt3HoByznBRZ\\_HcoTP1hAwKK-cK-2lyVnyl8E9Dvhx0ODI?revision=1&size=bestfit&width=480&height=288">math.libretexts.org](https://math.libretexts.org)



[https://s3-us-west-2.amazonaws.com/courses-images/wp-content/uploads/sites/1223/2017/02/14213811/Figure\\_45\\_05\\_01.jpg](https://s3-us-west-2.amazonaws.com/courses-images/wp-content/uploads/sites/1223/2017/02/14213811/Figure_45_05_01.jpg)

Source: [courses.lumenlearning.com](https://courses.lumenlearning.com)



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Logistic\\_Carrying\\_Capacity.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/ff/Logistic_Carrying_Capacity.svg)

Source: [ia.wikipedia.org](https://ia.wikipedia.org)



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/78/World\\_population\\_growth%2C\\_1700-2100%2C\\_2022\\_revision.png/1200px-World\\_population\\_growth%2C\\_1700-2100%2C\\_2022\\_revision.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/78/World_population_growth%2C_1700-2100%2C_2022_revision.png/1200px-World_population_growth%2C_1700-2100%2C_2022_revision.png)

Source: [en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org)



[https://docs.python.org/3.14/\\_images/social\\_previews/summary\\_library\\_numbers\\_38324719.png](https://docs.python.org/3.14/_images/social_previews/summary_library_numbers_38324719.png)

Source: [docs.python.org](https://docs.python.org)