

# Algorithm Programming Assignment #1

학과 : 소프트웨어융합학과

학번\_이름 : B889047 윤준호

## [ 실험 진행환경 ]

- OS : Mac OS Monterey(ver 12.3)
- Language : Python3, IPython(Run with Rosetta2)
- Python Interpreter Version : Python 3.8.9
- CPU : Apple M1(ARM Architecture)

## Problem

Implement three versions of Quicksort algorithm in a programming language you choose:

1. Iterative Quicksort : 일반순회 퀵정렬
2. Recursive Quicksort : 재귀적 퀵정렬
3. Randomized Quicksort : 랜덤피벗 퀵정렬

Insert a counter of comparison incremented whenever two elements are compared in the algorithms.

## Input / Output Conditions

**Input data:** randomly generate a set of data as follows – pseudocode below

```
for i = 10**2, 10**4, 10**6, 10**8, ... ( until your computer can do )
    for j = 1, 2, ..., 20
        a_set_i_j = {x | x=random[1..i] i times}
```

**Output:** Draw a plot with the numbers of comparison operations for each data set from the three versions of the algorithm

## Test Data에 대한 해석

외부 for문을 살펴보자. i는 결론적으로 범위이다.(1 ~ i) 그리고 내부 for문을 살펴보자. j는 랜덤으로 뽑는 데이터의 개수이다. (주어진 문제에서 조건이 잘못 주어졌다고 생각하여서 수도코드를 위와같이 변경하여 해석 함, 변수명 a\_set\_i\_j에 근거하여) 즉 각 범위(i)에 대해서 1개 ~ 20개를 랜덤으로 뽑는 20개의 데이터셋씩 만들면 되는것으로 해석하였다

## 사용할 Python Packages

- json : main.py에서 저장한 결과 json파일을 읽어오기 위해서 사용
- pandas : DataFrame사용을 위해서 사용
  - Version : 1.4.0
- matplotlib : Data Visualization을 위해 사용(직접적인 사용은 하지 않으나, Pandas plot의 반환객체로 matplotlib.plot을 사용함)
  - Version : 3.5.1

In [1]:

```
import json
import pandas as pd
import matplotlib as plt
```

## benchmark.py 실행

### 데이터셋 제작 함수

main.py에서는 데이터 셋을 만든 후 **Iterative QuickSort**, **Recursive QuickSort**, **Randomized QuickSort**들에 대해 case별로 benchmarking을 진행하고 **result.json**이라는 **JSON**파일을 출력한다. 데이터셋 생성 알고리즘은 아래와 같다.

```
# Defined as class method
test_set = list(map(int, [math.pow(10, 2), math.pow(10, 4), math.pow(10, 6)]))

# Defined as instance method
# Generate Test case
def generateTestSet(self) -> None:
    res = dict()
    for p, i in enumerate(algorithm_tester.test_set):
        sets = list()
        for j in range(1, 21):
            arr = random.sample([p for p in range(1, i + 1)], j)
            sets.append(list(arr))
        res[f"Test_case_{p + 1}"] = sets
    self.testCase = res
```

벤치마킹을 위해서는 모든 알고리즘이 동일한 테스트 셋을 통해서 테스트가 이루어 져야 한다.. 그렇기 때문에 테스트 데이터셋 제작 알고리즘을 분리하였습니다. 기본적인 알고리즘은 아래와 같다..

\*  $10^8$  범위 까지 가게 되면, 실행이 오래걸려  $10^6$  범위까지에 대해서만 진행하였다.

1. 주어진 범위(n이라고 가정)에 대해 외부순회를 한다.
2. 1 ~ n까지의 범위 내에서 1개의 랜덤 추출경우 ~ 20개의 랜덤 추출 경우를 구한다.
  - 단 여기서 한가지 추가 조건을 둔것은 **중복되는 경우는 없다**이다. python3의 random모듈의 sample메소드를 사용하면 주어진 범위 내에서 중복없이 주어진 개수만큼 뽑을 수 있다. 자세한건 Document를 참고한다.
  - [Document \(https://docs.python.org/3/library/random.html\)](https://docs.python.org/3/library/random.html)
3. 이 테스트 셋은 Dictionary자료 구조 타입을 가지며 인스턴스 변수 'testCase'에 저장된다.

### 알고리즘 성능 벤치마킹 함수

각 정렬별 벤치마킹하는 메소드는 'algorithm\_tester.test\_data'에 정의되어있다. 소스코드는 아래와 같다. 이 메소드는 위에서 생성한 데이터 셋을 기반으로 벤치마킹 한다. 시간 측정은 [time모듈 \(https://docs.python.org/3/library/time.html\)](https://docs.python.org/3/library/time.html)을 이용한다. 더 정확한 측정을 위해서 time()메소드나 process\_time()메소드 대신 [perf\\_counter\(\) \(https://docs.python.org/3/library/time.html#time.perf\\_counter\)](https://docs.python.org/3/library/time.html#time.perf_counter)메소드를 사용한다.(perf\_counter()는 대기시간까지 포함하여 프로세스 실행시간을 측정한다.)

```

def test_data(self, sortingInstance : utility, caseName:str, subtractOneEndIndex:bool=False) -> None:
    result = dict()
    # 테스트 데이터를 복사하여 정렬을 한다.
    copy_test = copy.deepcopy(self.testCase)

    for p, i in copy_test.items():
        # Initiate essential variables
        arr = []
        previous = []
        resultCapsule = dict()
        for j,l in enumerate(i):
            arr = l
            previous = arr[:] # Deep Copy random testset. This may occur overhead while testing

            # Time estimate start
            start = time.perf_counter()

            if subtractOneEndIndex:
                sortingInstance.sort(arr,0, len(arr)-1) # Get comparison count as result value
            else:
                sortingInstance.sort(arr, 0, len(arr))

            # Time estimate end
            end = time.perf_counter() - start

            # 측정 시간이 매우 작아 지수표현이 들어간다. 1000을 곱해 지수표현 없앤다.
            resultCapsule[f"GroupSet_{j+1}"] = {
                "SortingTime": end,
                "previous": previous,
                "sorted": arr,
                "comparisonCount": sortingInstance.getComparisonCount()
            }
            # 각 테스트 케이스마다 comparison count를 비워준다.
            sortingInstance.clearComparisonCount()
            result[f"{p}"] = resultCapsule

        self.resultJSON[caseName] = result

```

In [2]:

```
!python3 benchmark.py
Randomly Pick 1 elements : [38]
Randomly Pick 2 elements : [88, 71]
Randomly Pick 3 elements : [17, 8, 56]
Randomly Pick 4 elements : [27, 44, 62, 4]
Randomly Pick 5 elements : [48, 32, 6, 97, 10]
Randomly Pick 6 elements : [96, 60, 43, 65, 68, 91]
Randomly Pick 7 elements : [5, 19, 39, 20, 68, 22, 96]
Randomly Pick 8 elements : [92, 29, 21, 22, 47, 10, 69, 50]
Randomly Pick 9 elements : [59, 54, 12, 17, 79, 85, 11, 3, 87]
Randomly Pick 10 elements : [23, 92, 99, 74, 43, 49, 97, 37, 36, 25]
Randomly Pick 11 elements : [31, 73, 64, 80, 68, 63, 54, 78, 56, 25, 5
2]
Randomly Pick 12 elements : [87, 10, 66, 57, 3, 1, 41, 34, 13, 37, 64,
4]
Randomly Pick 13 elements : [23, 61, 17, 80, 2, 32, 15, 12, 24, 50, 7
3, 67, 60]
Randomly Pick 14 elements : [40, 68, 64, 26, 75, 29, 53, 96, 50, 94, 9
9, 4, 13, 78]
Randomly Pick 15 elements : [20, 81, 17, 54, 19, 66, 23, 5, 18, 8, 16,
78, 82, 80, 1]
```

## 결과 JSON이 포함하고 있는 내용

각 용어가 의미하고 있는것은 아래와 같다.

[ Test Case 이름 ]

- Test\_case\_1 : 10^2 범위
- Test\_case\_2 : 10^4 범위
- Test\_case\_3 : 10^6 범위

[ GroupSet 이름 ]

- GroupSet\_? : ?개만큼 랜덤으로 뽑은 데이터 셋

JSON 데이터는 아래와 같은 형태로 데이터를 저장하고 있다.

- Quick Sort 종류
  - Test\_case\_?
    - GroupSet\_?
      - 정렬에 걸린 시간
      - 정렬이전의 배열
      - 정렬 이후의 배열
      - 비교연산 횟수

In [3]:

```
read_result = None
with open('result.json','r') as res:
    read_result = json.load(res)
```

# JSON결과를 전처리 함수 및 데이터프레임 제작 함수 선언하기

---

## returnDatasForDataframe

[ parameters ]

- res\_set : dict - result.json에서 전처리하고자 하는 정렬알고리즘의 필드
  - algorithmname : str - 알고리즘 이름
- 

[ Descriptions ]

main.py를 실행하여 얻은 JSON결과에 대해 전처리를 진행한다. 반환타입은 딕셔너리이며, 반환타입 필드는 아래와 같은 의미를 가진다

- label : 정렬 알고리즘 이름(Recursive,Randomized...etc)
- test\_case\_number : 테스트 케이스 번호
- group\_set\_number : 랜덤 테스트셋 번호
- sortingtime : 정렬에 걸린 시간
- comparisonCount : 비교연산횟수

## returnDataFrame

[ parameters ]

- preprocess\_result : dict - 전처리 결과를 넘겨받는다.

[ Descriptions ]

넘겨받은 전처리 결과를 기반으로 데이터 프레임을 만든다. 반환타입은 pandas.DataFrame이다.

In [4]:

```

# Define string name field : Prevent Hard Coding
# 추후 인덱싱 작업에서 하드코딩을 방지하기 위해서 변수로 라벨을 바인드하고 시작한다.
recursiveName = "Recursive"
randomizedName = "Randomized"
iterativeName = "Iterative"

def returnDatasForDataframe(res_set:dict,algorithmname:str) -> dict:
    res = {
        "label" : [],
        "test_case_number" : [],
        "group_set_number" : [],
        "sortingtime" : [],
        "comparisonCount" : []
    }
    for i,j in res_set.items():
        for p,q in j.items():
            res["label"].append(algorithmname)
            res["test_case_number"].append(i)
            res["group_set_number"].append(p)
            res["sortingtime"].append(q["SortingTime"])
            res["comparisonCount"].append(q["comparisonCount"])
    return res

def returnDataFrame(preprocess_result:dict) -> pd.DataFrame:
    df = pd.DataFrame({
        "Algorithm Type" : preprocess_result["label"],
        "Test Case Number" : preprocess_result["test_case_number"],
        "Group set Name" : preprocess_result["group_set_number"],
        "Sorting Time" : preprocess_result["sortingtime"],
        "Comparison Count" : preprocess_result["comparisonCount"]
    })
    return df

```

## Recursive Quick Sort 데이터 전처리 및 데이터 프레임 변환

In [5]:

```

#Before Preprocess
recursive_result_set = read_result[recursiveName]
#After Preprocess
recursive_preprocess_result = returnDatasForDataframe(recursive_result_set,recursiveName)

#DataFrame
recursive_df = returnDataFrame(recursive_preprocess_result)

```

## Iterative Quick Sort 데이터 전처리 및 데이터 프레임 변환

In [6]:

```

# Before Preprocess
iterative_result_set = read_result[iterativeName]

# After Preprocess
iterative_preprocess_result = returnDatasForDataframe(iterative_result_set, iterativeName)

#DataFrame
iterative_df = returnDataFrame(iterative_preprocess_result)

```

## Randomized Quick Sort 데이터 전처리 및 데이터 프레임 변환

In [7]:

```

# Before Preprocess
randomized_result_set = read_result[randomizedName]

# After Preprocess
randomized_preprocess_result = returnDatasForDataframe(randomized_result_set, randomizedName)

#DataFrame
randomized_df = returnDataFrame(randomized_preprocess_result)

```

## 데이터 프레임 합치기

위에서 구한 데이터 프레임을 합친다. 합칠때는 행 방향(세로)으로 concatenation을 진행해 준다. concatenation을 진행해 주기 위해서는 pandas의 concat() 함수를 사용해 준다. concat()함수에는 총 두가지 매개변수가 들어간다

- param1 : Dataframes embeded MutableSequence
- param2 : axis
  - axis=0 : 행 기준으로 합친다(세로)
  - axis=1 : 열 기준으로 합친다(가로)

In [8]:

```
total_result = pd.concat([recursive_df, iterative_df, randomized_df], axis=0)
```

In [9]:

```
total_result
```

Out[9]:

	Algorithm Type	Test Case Number	Group set Name	Sorting Time	Comparison Count
0	Recursive	Test_case_1	GroupSet_1	0.000004	0
1	Recursive	Test_case_1	GroupSet_2	0.000003	1
2	Recursive	Test_case_1	GroupSet_3	0.000003	3
3	Recursive	Test_case_1	GroupSet_4	0.000003	6
4	Recursive	Test_case_1	GroupSet_5	0.000004	7
...	...	...	...	...	...
55	Randomized	Test_case_3	GroupSet_16	0.000015	25
56	Randomized	Test_case_3	GroupSet_17	0.000018	28
57	Randomized	Test_case_3	GroupSet_18	0.000019	31
58	Randomized	Test_case_3	GroupSet_19	0.000019	29
59	Randomized	Test_case_3	GroupSet_20	0.000020	29

180 rows × 5 columns

## 결과가 잘 나왔는지 그룹화 해보기

위 결과가 잘 합쳐졌는지 그룹화를 하여 확인해 보자. 잘 합쳐졌다면 각 테스트 케이스 별로 20개의 행을 가지고 있어야 한다



In [10]:

```
total_result.groupby(["Algorithm Type", "Test Case Number"]).count()
```

Out[10]:

		Group set Name	Sorting Time	Comparison Count
Algorithm Type	Test Case Number			
Iterative	Test_case_1	20	20	20
	Test_case_2	20	20	20
	Test_case_3	20	20	20
Randomized	Test_case_1	20	20	20
	Test_case_2	20	20	20
	Test_case_3	20	20	20
Recursive	Test_case_1	20	20	20
	Test_case_2	20	20	20
	Test_case_3	20	20	20

## 테스트 케이스 별로 필터링 하여 plot그리기

세가지 테스트 케이스가 있었다

- 1 ~  $10^2$  까지의 범위
- 1 ~  $10^4$  까지의 범위
- 1 ~  $10^6$  까지의 범위

이 각 케이스 별로 데이터 프레임을 필터링 한 후 그래프를 그려보자. 필터링을 할때는 아래 함수들을 사용해서 진행한다

- groupby
- loc()
- pandas.DataFrame.plot()

## Test Case 1에 대한 그래프

### Comparison Operation Count 데이터에 대한 Visualization

범위는 1 ~  $10^2$ 이다. x 축은 랜덤 표본 개수를 의미하고, y축은 비교 횟수를 의미한다

In [11]:

```
# Test Case 1에 대한 필터링
filter_testcase_1 = total_result.loc[total_result["Test Case Number"] == 'Test_case_1']
# Index를 각 Group_Set_Name으로 변경
filter_testcase_1 = filter_testcase_1.set_index("Group set Name")
title="Test Case 1(Range : 1 ~ 10^2) Comparison Operation CountResult"
title2="Test Case 1(Range : 1 ~ 10^2) SortingTime Result"
```

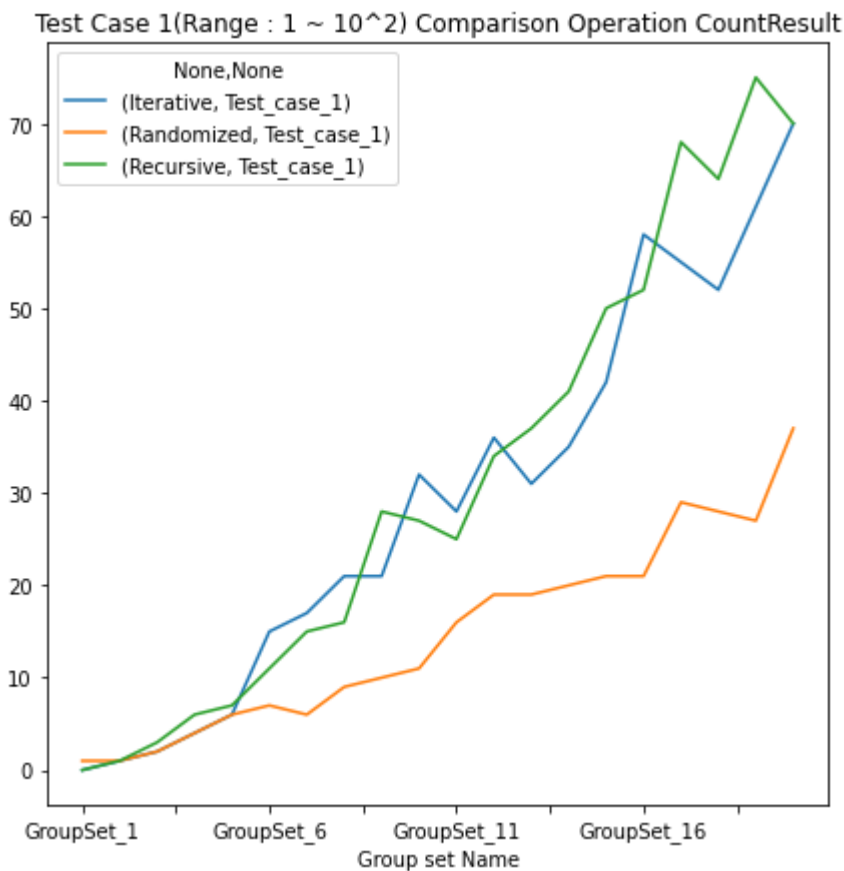
In [12]:

```
# dataframe.plot() 의 옵션중 use_index = True를 해주면, index를 x축으로 사용한다

filter_testcase_1.groupby(['Algorithm Type', 'Test Case Number'])['Comparison Count']
    use_index=True,
    legend=True,
    figsize=(7,7),
    title=title)
```

Out[12]:

```
Algorithm Type  Test Case Number
Iterative      Test_case_1      AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.75
5)
Randomized     Test_case_1      AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.75
5)
Recursive      Test_case_1      AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.75
5)
Name: Comparison Count, dtype: object
```



## Sorting Time(수행시간)에 대한 Visualization

x축은 랜덤 표본 개수이고, y축은 실행 시간이다.

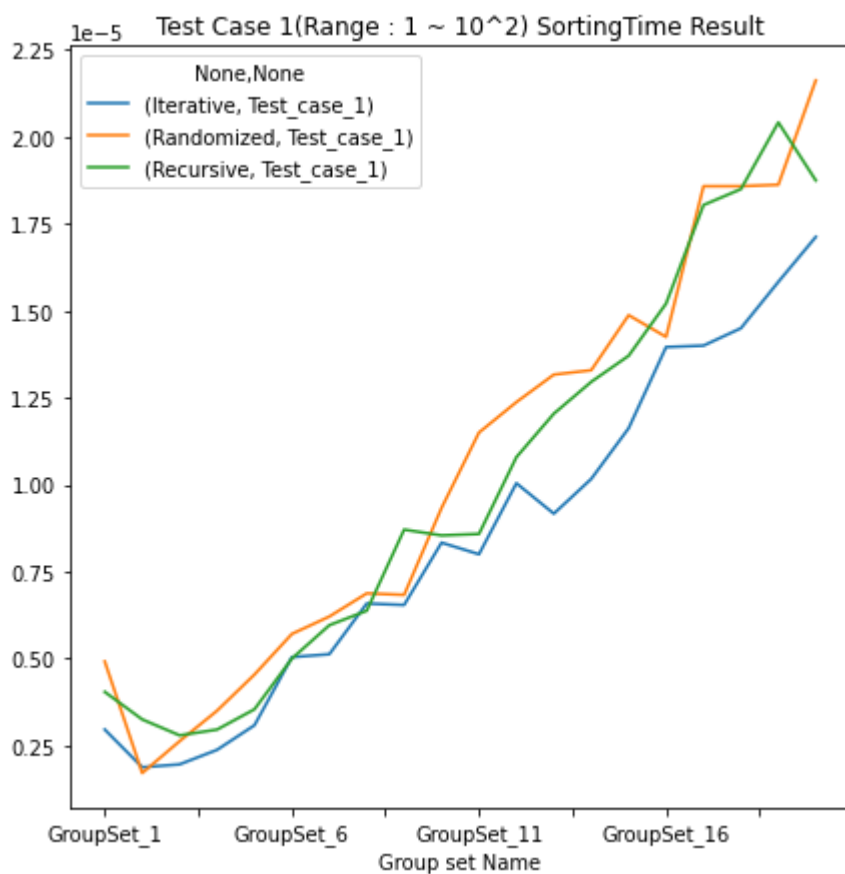
In [13]:

```
filter_testcase_1.groupby(['Algorithm Type','Test Case Number'])['Sorting Time'].plot(
    use_index=True,
    legend=True,
    figsize=(7,7),
    title=title2)
```

Out[13]:

Algorithm Type	Test Case Number	
Iterative	Test_case_1	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)
Randomized	Test_case_1	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)
Recursive	Test_case_1	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)

Name: Sorting Time, dtype: object



## Test Case 2에 대한 그래프

### Comparison Operation Count 데이터에 대한 Visualization

범위는  $1 \sim 10^4$ 이다. x 축은 랜덤 표본 개수를 의미하고, y축은 비교 횟수를 의미한다

In [14]:

```
# Test Case 1에 대한 필터링
filter_testcase_2 = total_result.loc[total_result["Test Case Number"] == 'Test_case_2']
filter_testcase_2 = filter_testcase_2.set_index("Group set Name")
title="Test Case 2(Range : 1 ~ 10^4) Comparison Operation CountResult"
title2="Test Case 2(Range : 1 ~ 10^4) SortingTime Result"
```

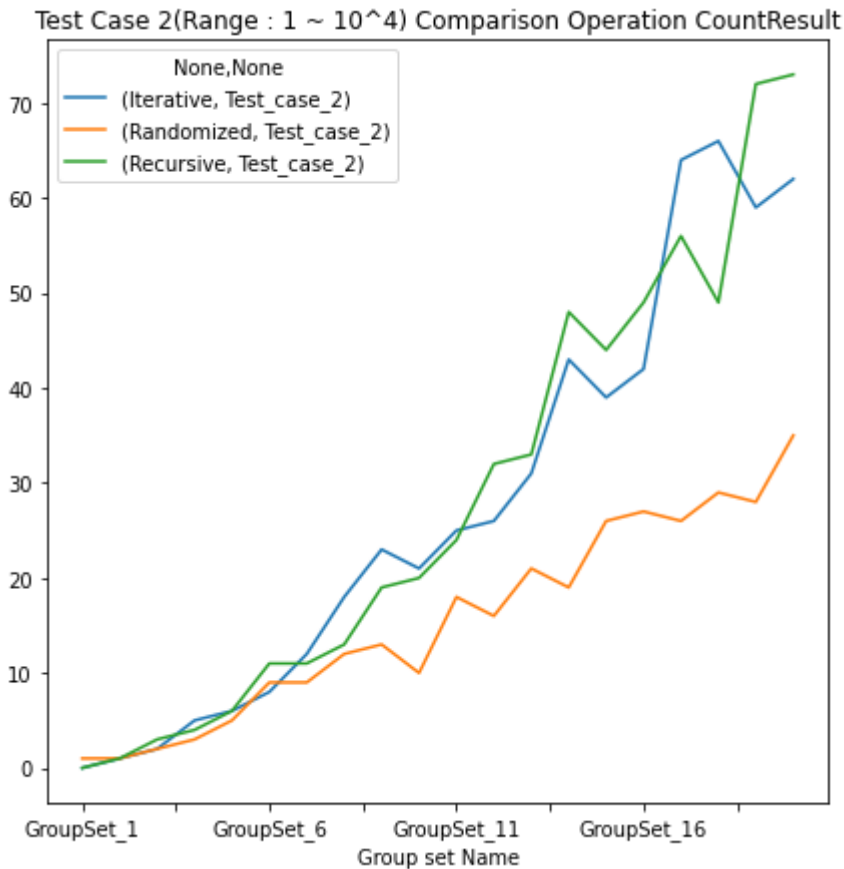
In [15]:

```
filter_testcase_2.groupby(['Algorithm Type', 'Test Case Number'])['Comparison Count']
    use_index=True,
    legend=True,
    figsize=(7,7),
    title=title)
```

Out[15]:

Algorithm Type	Test Case Number	
Iterative	Test_case_2	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)
Randomized	Test_case_2	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)
Recursive	Test_case_2	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)

Name: Comparison Count, dtype: object



## Sorting Time(수행시간)에 대한 Visualization

x축은 랜덤 표본 개수이고, y축은 실행 시간이다.

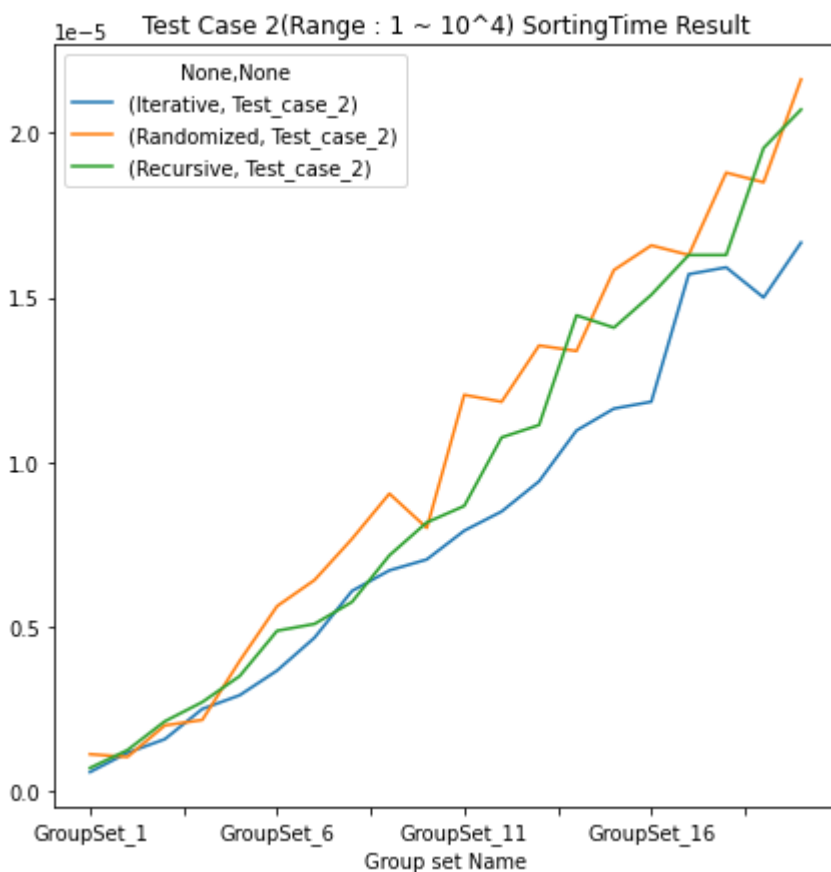
In [16]:

```
filter_testcase_2.groupby(['Algorithm Type', 'Test Case Number'])['Sorting Time'].plot(
    use_index=True,
    legend=True,
    figsize=(7,7),
    title=title2)
```

Out[16]:

Algorithm Type	Test Case Number	
Iterative	Test_case_2	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.75 5)
Randomized	Test_case_2	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.75 5)
Recursive	Test_case_2	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.75 5)

Name: Sorting Time, dtype: object



## Test Case 3에 대한 그래프

### Comparison Operation Count 데이터에 대한 Visualization

범위는 1 ~ 10^6이다. x 축은 랜덤 표본 개수를 의미하고, y축은 비교 횟수를 의미한다

In [17]:

```
# Test Case 1에 대한 필터링
filter_testcase_3 = total_result.loc[total_result["Test Case Number"] == 'Test_case_3']
filter_testcase_3 = filter_testcase_3.set_index("Group set Name")
title="Test Case 3(Range : 1 ~ 10^6) Comparison Operation CountResult"
title2="Test Case 3(Range : 1 ~ 10^6) SortingTime Result"
```

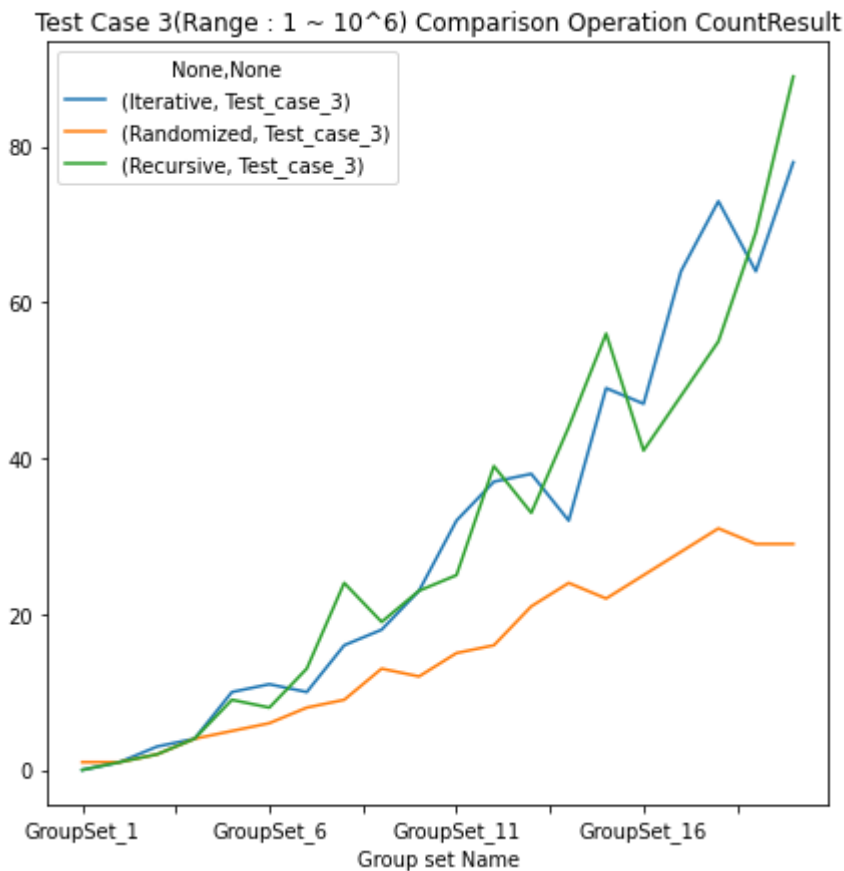
In [18]:

```
filter_testcase_3.groupby(['Algorithm Type', 'Test Case Number'])['Comparison Count'].  
    use_index=True,  
    legend=True,  
    figsize=(7,7),  
    title = title)
```

Out[18]:

Algorithm Type	Test Case Number	
Iterative	Test_case_3	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)
Randomized	Test_case_3	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)
Recursive	Test_case_3	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)

Name: Comparison Count, dtype: object



## Sorting Time(수행시간)에 대한 Visualization

x축은 랜덤 표본 개수이고, y축은 실행 시간이다.

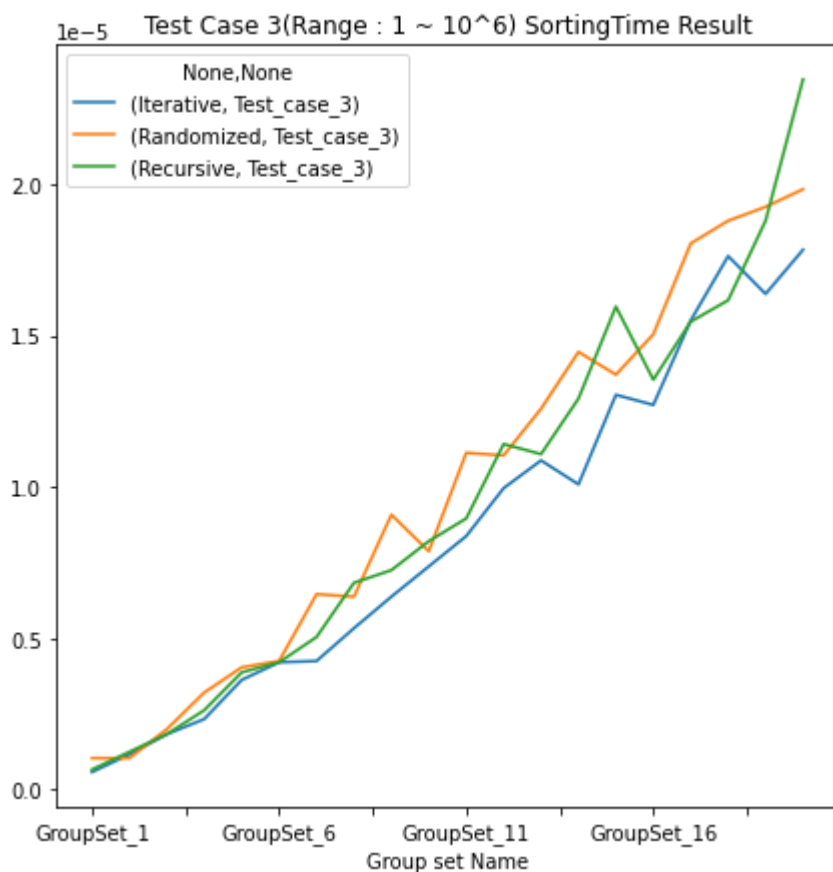
In [19]:

```
filter_testcase_3.groupby(['Algorithm Type','Test Case Number'])['Sorting Time'].plot(
    use_index=True,
    legend=True,
    figsize=(7,7),
    title=title2)
```

Out[19]:

Algorithm Type	Test Case Number	
Iterative	Test_case_3	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)
Randomized	Test_case_3	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)
Recursive	Test_case_3	AxesSubplot(0.125,0.125;0.775x0.755)

Name: Sorting Time, dtype: object



## Result

결과를 살펴보자. 결과는 실행시간적인 측면과, 비교연산적 관점을 기준으로 살펴본다.

### 실행시간 관점

실행시간 측면에 있어서 결국 Iterative QuickSort, Randomized QuickSort, Recursive QuickSort 모두 평균적으로  $O(n \log n)$ , 최악으로  $O(n^2)$ 을 가지게 된다. 그래프로 알 수 있듯이 이 세가지 정렬 모두 비슷한 수행시간을 보이는것을 알 수 있다.

## 비교연산횟수 관점

비교 연산횟수 관점에서 보면 Iterative QuickSort와 Recursive QuickSort 두 방법은 어느정도 비슷한 비교 횟수를 가지고 있는것을 알 수 있다. 반면 Randomized QuickSort는 위 두가지 방법에 비해 현저히 적은 비교횟수를 가지고 있는것을 알 수 있다.