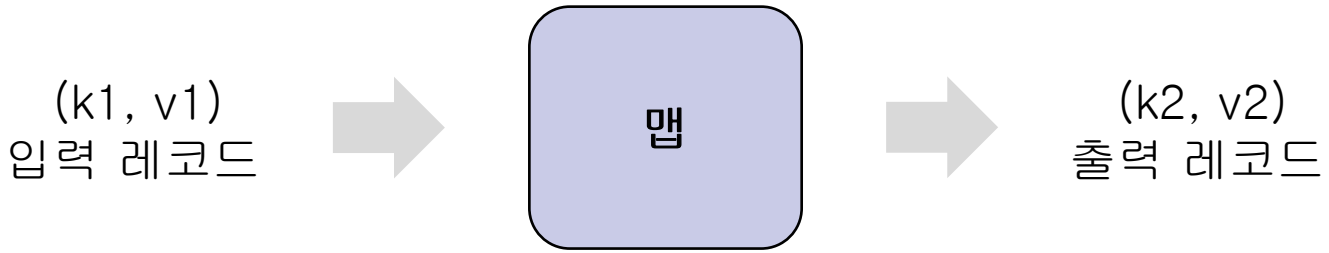
MapReduce 프로그래밍

맵(Map)과 리듀스(Reduce)
: Concept

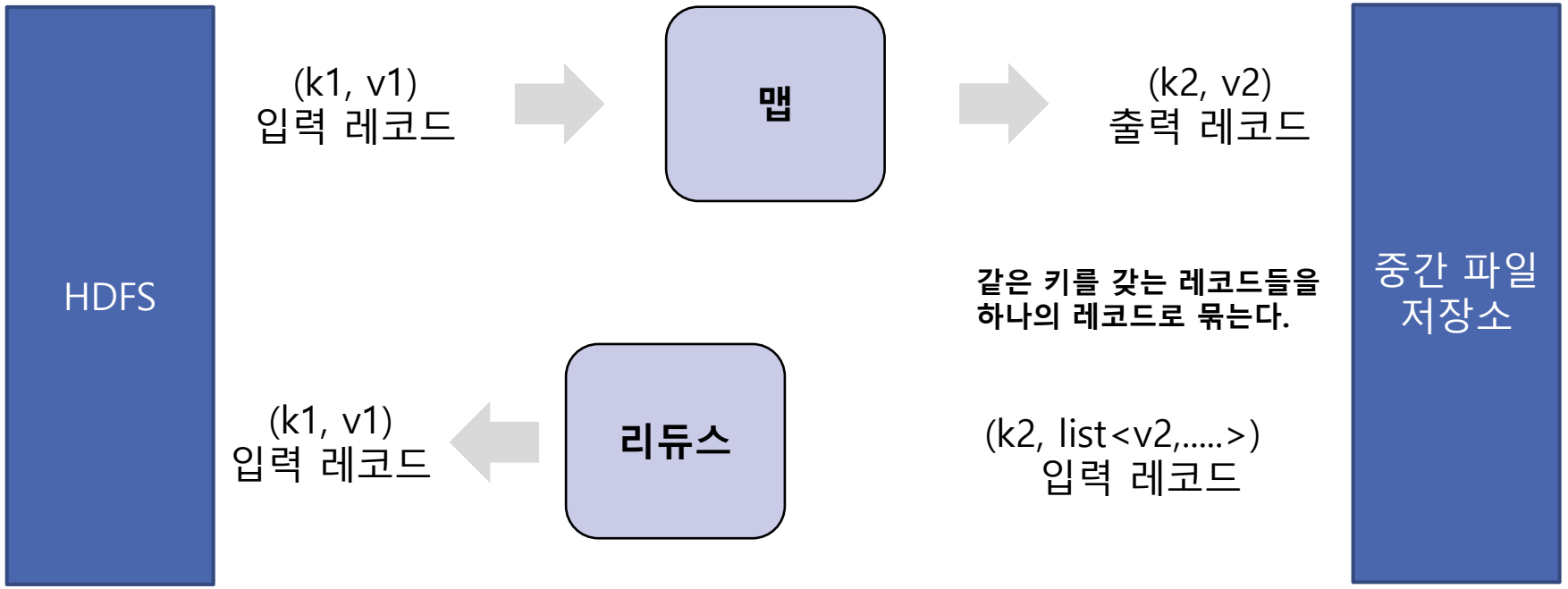
- MapReduce 프로그램의 특성
  - 맵과 리듀스의 두 단계로 구성
  - 맵과 리듀스 모두 입력으로 주어지는 데이터나 출력으로 내보내는 데이터가 모두 키와 밸류로 구성
- 맵의 기본 동작



  - 입력 데이터의 레코드를 하나씩 처리
  - 입력 레코드는 하나의 키와 하나의 밸류로 구성
  - 맵 단계에서는 주어진 입력 키와 밸류를 새로운 키와 밸류로 변환
  - 모든 입력 레코드들이 맵을 통해 처리가 완료되면 리듀스 작업이 시작된다

맵(Map)과 리듀스(Reduce)
: Concept

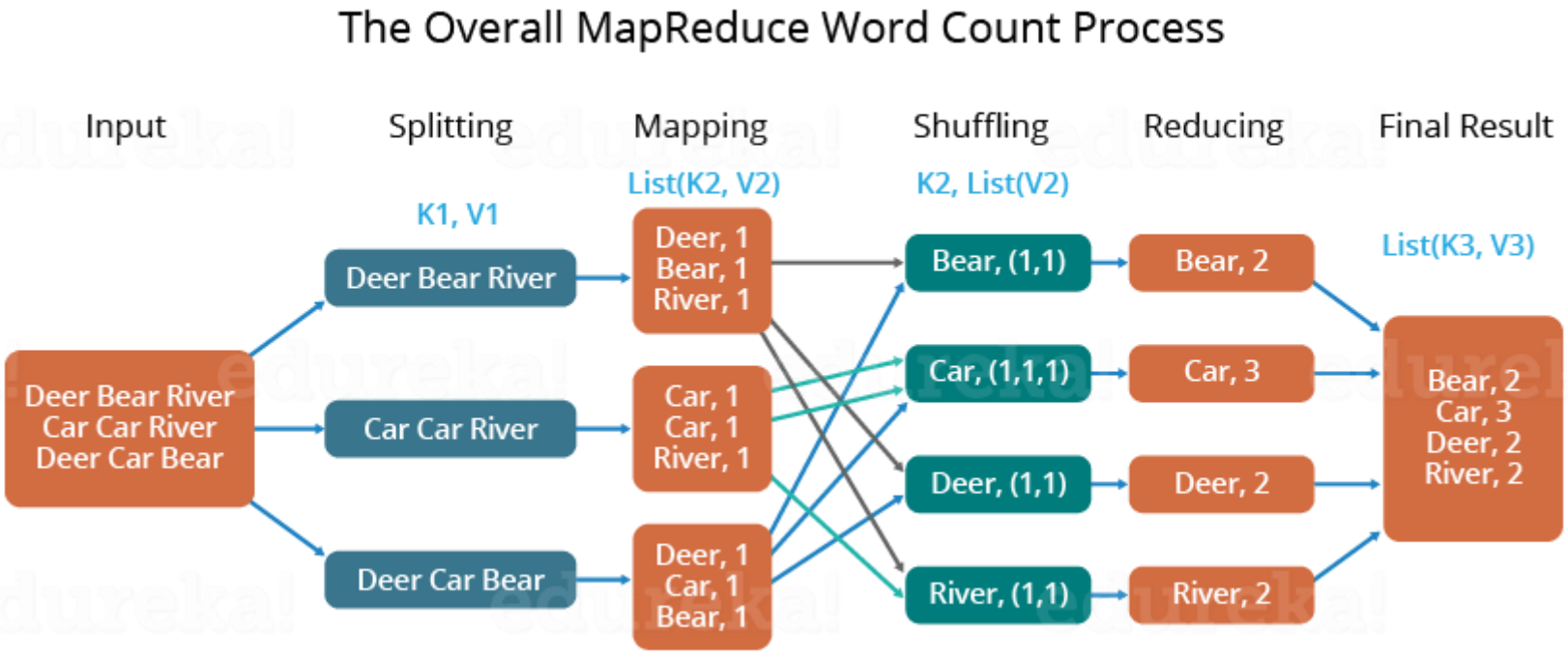
- 리듀스의 기본 동작



- 맵의 출력 레코드(키/밸류) 키를 기준으로 정렬한다
- 같은 키를 가진 레코드들을 묶는다
- 같은 키를 가진 맵의 출력 레코드들이 하나의 리듀스 입력 레코드로 만들어진다
- 리듀스는 또 다른 처리를 하고 새로운 키와 밸류를 출력한다

맵(Map)과 리듀스(Reduce)
: MapReduce 프레임워크의 역할

- 입력 파일을 맵의 입력 레코드로 만들어주는 역할을 한다
- 맵에서 출력된 레코드들에서 같은 값을 갖는 키의 밸류들을 하나의 리스트로 묶어 리듀스로 넘겨주는 역할을 한다
- 맵과 리듀스는 여러 대의 머신에서 실행 가능하며 이를 프레임워크가 처리해 준다
- 맵을 클래스로 구현한 것을 매퍼(Mapper), 리듀스를 클래스로 구현한 것을 리듀서(Reducer)라 함



MapReduce 맛보기

- 대표적인 MapReduce 응용프로그램 WordCount 살펴보기
  - HDFS에 텍스트파일을 저장

```
$ cd $HADOOP_HOME
$ hdfs dfs -mkdir /example
$ hdfs dfs -copyFromLocal README.txt /example
$ hdfs dfs -ls /example
```

  - WordCount 예제 실행

```
$ cd $HADOOP_HOME/share/hadoop/mapreduce
$ hadoop jar hadoop-mapreduce-examples-3.2.2.jar wordcount /example/README.txt /output
```

  - WordCount 결과의 확인

```
$ hdfs dfs -ls /output
$ hdfs dfs -cat /output/part-r-0000 | more
```

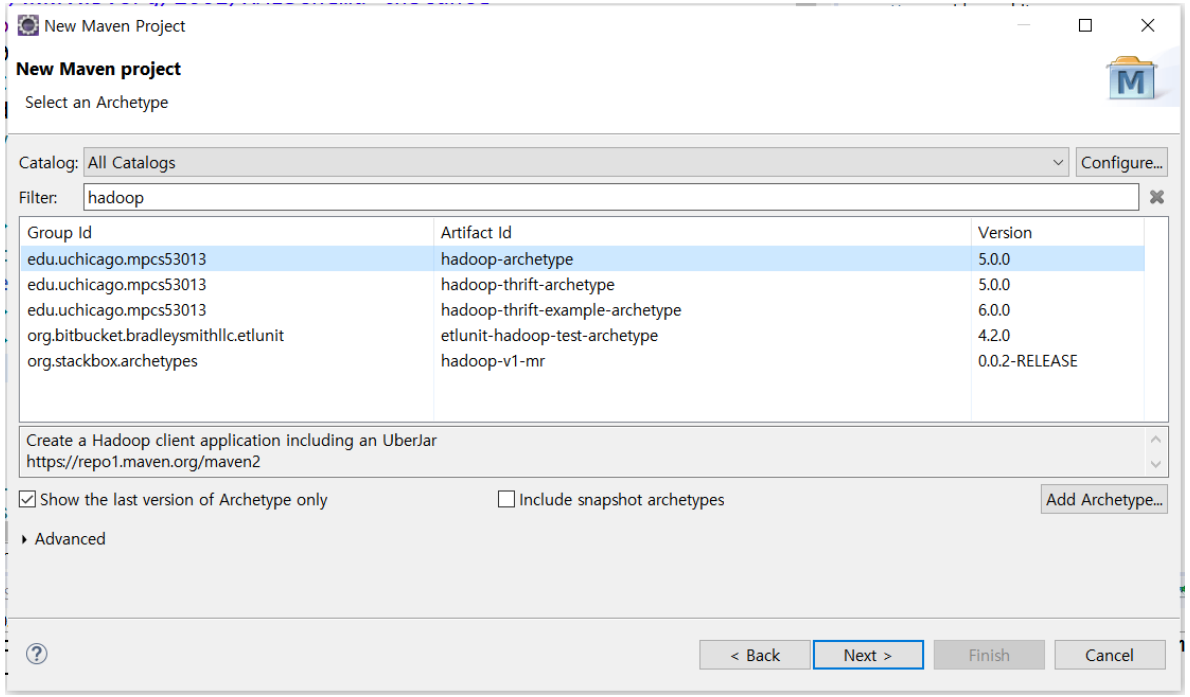
  - 결과를 로컬로 가져오기

```
$ hdfs dfs -get /output/part-r-0000 WordCount.txt
```

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- Maven Project 생성
  - Archetype : hadoop-archetype
  - Project Info
    - Group Id: com.bit
    - Artifact Id: myhadoop
    - version: 0.0.1
    - class package: myhadoop
  - Dependency 정보 변경




```
<dependency>
  <groupId>org.apache.hadoop</groupId>
  <artifactId>hadoop-client</artifactId>
  <!-- Client 버전은 서버의 Hadoop 버전과 일치 -->
  <version>2.9.2</version>
</dependency>
```

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- Maven Project 생성
  - compiler plugin 정보 변경

```
<plugin>
  <artifactId>maven-compiler-plugin</artifactId>
  <version>3.3</version>
  <!-- Java Version Config -->
  <configuration>
    <source>1.8</source>
    <target>1.8</target>
  </configuration>
</plugin>
```

  - Maven > Update Project …

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- 맵리듀스 프로그래밍의 요소
  - 데이터 타입
    - 맵 리듀스는 네트워크 통신을 위한 최적화된 객체로 WritableComparable 인터페이스를 제공
    - 맵 리듀스 프로그램에서 키/값으로 사용되는 모든 데이터 타입은 반드시 이 인터페이스가 구현되어 있어야 함

클래스 명	대상 데이터 타입
BooleanWritable	Boolean
ByteWritable	단일 byte
DoubleWritable	Double
FloatWritable	Float
IntWritable	Integer
LongWritable	Long
TextWrapper	UTF8 형식의 문자열
NullWritable	데이터 값이 필요 없을 때 사용

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- 맵리듀스 프로그래밍의 요소
  - InputFormat
    - 입력 Split을 맵 메서드의 입력 파라미터로 사용할 수 있도록 해 주는 추상 클래스
    - 입력 스플릿을 맵 메서드가 사용할 수 있게 getSplits 메서드를 제공

InputFormat	기능
TextInputFormat	텍스트 파일을 분석할 때 사용. 개행 문자를 기준으로 레코드를 분류. 키는 라인의 번호
KeyValueTextInputFormat	텍스트 파일을 입력 파일로 사용할 때, 임의의 키 값을 지정해 키/값의 목록으로 읽음
NLineInputFormat	맵 태스크가 입력받을 텍스트 파일의 라인 수를 제한하고 싶을 때 사용
DelegatingInputFormat	여러 개의 서로 다른 입력 포맷을 사용하는 경우 사용
CombineFileInputFormat	여러 개의 파일을 스플릿으로 묶어서 사용
SequenceFileInputFormat	SequenceFile을 입력 데이터로 쓸 때 사용
SequenceFileAsBinaryInputFormat	SequenceFile의 키와 값을 임의의 바이너리 객체로 변환하여 사용
SequenceFileAsTextInputFormat	SequenceFile의 키와 값을 Text 객체로 변환하여 사용

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- 맵리듀스 프로그래밍의 요소
  - OutputFormat
    - 맵리듀스 프로그램이 수행한 출력 데이터 포맷을 정의한 추상 클래스

OutputFormat	기능
TextOutputFormat	텍스트 파일에 레코드를 출력할 때 사용. 레코드 출력시 키와 값의 구분자는 탭을 사용
SequenceFileOutputFormat	SequenceFile을 출력으로 쓸 때 사용
SequenceFileAsBinaryOutputFormat	바이너리 포맷의 키와 값을 SequenceFile 컨테이너에 저장
FilterOutputFormat	OutputFormat 클래스를 편리하게 사용할 수 있도록 한 래퍼 클래스
LazyOutputFormat	FileOutputFormat 상속 클래스는 출력 내용이 없어도 출력 파일을 생성. LazyOutputFormat을 사용하면 첫 번째 레코드가 보내질 때만 출력 파일을 생성
NullOutputFormat	출력 데이터가 없을 때 사용

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- 맵리듀스 프로그래밍의 요소
  - Mapper의 구현
    - 키는 입력 파일의 라인 번호, 값은 문장인 입력 파라미터

```
...
public class WordCountMapper extends Mapper<LongWritable, Text, Text, IntWritable> {

    private final static IntWritable one = new IntWritable(1);
    private Text word = new Text();

    @Override
    protected void map(LongWritable key, Text value, Context context)
        throws IOException, InterruptedException {
        StringTokenizer itr = new StringTokenizer(value.toString());
        while(itr.hasMoreElements()) {
            word.set(itr.nextToken());
            context.write(word, one);
        }
    }
}
```

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- 맵리듀스 프로그래밍의 요소
  - Reducer의 구현
    - 글자와 글자 수로 구성된 입력 파라미터를 받아 글자 수를 합산하여 출력

```
...
public class WordCountReducer extends Reducer<Text, IntWritable, Text, IntWritable> {
     private IntWritable result = new IntWritable();

     @Override
     protected void reduce(Text key, Iterable<IntWritable> values, Context context)
          throws IOException, InterruptedException {
          int sum = 0;
          for (IntWritable val: values) {
               sum += val.get();
          }
          result.set(sum);
          context.write(key, result);
     }
}
```

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- 맵리듀스 프로그래밍의 요소
  - 드라이버 클래스 구현
    - Mapper와 Reducer를 실행하는 클래스

```
public class WordCount {
     public static void main(String[] args) throws Exception {
          Configuration conf = new Configuration();

          if (args.length != 2) {
               System.err.println("Usage: WordCount <input> <output>");
               System.exit(2);
          }

          Job job = Job.getInstance(conf, "WordCount");

          job.setJarByClass(WordCount.class);
          job.setMapperClass(WordCountMapper.class);
          job.setReducerClass(WordCountReducer.class);

          //... cont
```

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- 맵리듀스 프로그래밍의 요소
  - 드라이버 클래스 구현
    - Mapper와 Reducer를 실행하는 클래스

```
            //... cont
            job.setInputFormatClass(TextInputFormat.class);
            job.setOutputFormatClass(TextOutputFormat.class);

            job.setOutputKeyClass(Text.class);
            job.setOutputValueClass(IntWritable.class);

            FileInputFormat.addInputPath(job, new Path(args[0]));
            FileOutputFormat.setOutputPath(job, new Path(args[1]));

            job.waitForCompletion(true);
        }
}
```

  - 프로젝트 빌드
    - Run As > Maven Build ... > Goal: clean install

첫 번째 MapReduce 프로그램

: WordCount를 직접 만들어 보자

- 맵리듀스 프로그래밍의 요소
  - 작성 클래스 테스트

```
$ hadoop jar myhadoop-0.0.1.jar myhadoop.WordCount /example/README.txt /output
```

  - 실행 결과의 확인

```
$ hdfs dfs -ls /output
$ hdfs dfs -cat /output/part-r-0000 | more
```

  - 결과를 로컬로 가져오기

```
$ hdfs dfs -get /output/part-r-0000 WordCount.txt
```

맵리듀스 개발 과정
: Summary

1. 맵리듀스 단계별로 사용할 파라이터를 키와 값의 형태로 설계
2. Mapper 클래스를 상속 받아 WordCountMapper 클래스를 구현
3. Reducer 클래스를 상속 받아 WordCountReducer 클래스를 구현
4. 맵리듀스 잡을 실행할 객체(드라이버 클래스)를 생성하고 실행
5. 완성된 맵리듀스 클래스를 하둡으로 보내어 실행
6. 맵리듀스의 출력 결과물이 원하는 대로 나왔는지 확인

- 1단계가 가장 중요한 단계:
  - 입력 데이터를 어떤 키와 값으로 분류하고
  - 맵과 리듀스에서 데이터를 어떻게 흘러가게 할 지 세심하게 결정해야 한다.

실습: 미국 항공 데이터 맵 리듀스

미국 항공 데이터 MapReduce

: 데이터의 준비

- 실습
- 다음 데이터를 받아 압축을 해제
  - https://packages.revolutionanalytics.com/datasets/AirOnTime87to12
  - HDFS의 /user/hadoop/input 디렉터리에 저장

- 데이터의 구성과 구조를 파악
  - 참고: https://packages.revolutionanalytics.com/datasets/AirOnTime87to12/AirOnTime87to12.dataset.description.txt

미국 항공 데이터 MapReduce

: 출발 지연 MapReduce 프로그래밍

- 목표:
  - 출발 지연 시간(DepDelay) 컬럼이 0 초과인 레코드를 카운트하여 다음과 같은 포맷을 출력

```
1987,10   175568
1987,11   177218
1987,12   218858
...
2012,4    153453
2012,5    175546
2012,6    205523
2012,7    232461
2012,8    215957
2012,9    158063
```

미국 항공 데이터 MapReduce

: 출발 지연 MapReduce 프로그래밍

- csv 분석 및 컬럼 데이터 반환을 위한 Parser 클래스 작성
  - Class명 : AirlinePerformanceParser
  - Field의 선언

```
private int year;
private int month;

private float arriveDelayTime = 0;
private float departureDelayTime = 0;
private float distance = 0;

private String uniqueCarrier;
```

  - 선언한 필드의 값을 받아올 수 있는 getter 메서드를 생성

미국 항공 데이터 MapReduce

: 출발 지연 MapReduce 프로그래밍

- csv 분석 및 컬럼 데이터 반환을 위한 Parser 클래스 작성
  - 생성자 구현: csv의 1개 Line을 입력 받아 분할/저장하는 생성자 구현

```
public AirlinePerformanceParser(Text text) {
    try {
        String[] columns = text.toString().split(",");

        // 운항 연도
        year = Integer.parseInt(columns[0]);
        // 운항 월
        month = Integer.parseInt(columns[1]);
        // 항공사 코드
        uniqueCarrier = columns[5];

        // ... cont
```

미국 항공 데이터 MapReduce

: 출발 지연 MapReduce 프로그래밍

- csv 분석 및 컬럼 데이터 반환을 위한 Parser 클래스 작성
  - 생성자 구현: csv의 1개 Line을 입력 받아 분할/저장하는 생성자 구현

```
            // ... cont

            // 항공기 출발 지연 시간 설정
            if (columns[16].length() != 0)
            departureDelayTime = Float.parseFloat(columns[16]);

            // 항공기 도착 지연 시간 설정
            if (columns[26].length() != 0)
            arriveDelayTime = Float.parseFloat(columns[26]);

            // 운항 거리 설정
            if (columns[37].length() != 0)
            distance = Float.parseFloat(columns[37]);
        } catch (Exception e) {
            System.err.println("Error parsing a record:" + e.getMessage());
        }
}
```

미국 항공 데이터 MapReduce

: 출발 지연 MapReduce 프로그래밍

- Mapper 구현

```
public class DepartureDelayCountMapper
    extends Mapper<LongWritable, //입력 키의 타입, 입력 소스의 행
                   Text, //입력 데이터 행 내용
                   Text, //출력 키의 타입
                   IntWritable> {//출력 값의 타입
    // 맵 출력 값
    private final static IntWritable outputValue = new IntWritable(1);
    // 맵 출력 키
    private Text outputKey = new Text();

    // ... cont
```

미국 항공 데이터 MapReduce

: 출발 지연 MapReduce 프로그래밍

- Mapper 구현

```
    // ... cont
    @Override
    protected void map(LongWritable key, Text value, Context context)
        throws IOException, InterruptedException {
        // 첫 번째 행이 Header이면 skip
        if (key.get() == 0 && value.toString().contains("YEAR")) {
            return;
        }
        AirlinePerformanceParser parser = new AirlinePerformanceParser(value);
        // 출력 키 설정
        outputKey.set(parser.getYear() + "," + parser.getMonth());

        if (parser.getDepartureDelayTime() > 0)
            // 출력 데이터 생성
            context.write(outputKey, outputValue);
    }
}
```

미국 항공 데이터 MapReduce

: 출발 지연 MapReduce 프로그래밍

- Reducer 구현

```
public class DelayCountReducer extends Reducer<Text, IntWritable, Text, IntWritable> {
    private IntWritable result = new IntWritable();

    @Override
    protected void reduce(Text key, Iterable<IntWritable> values, Context context)
        throws IOException, InterruptedException {
        int sum = 0;

        for (IntWritable value : values) {
            sum += value.get();
        }

        result.set(sum);
        context.write(key, result);
    }
}
```

미국 항공 데이터 MapReduce

: 출발 지연 MapReduce 프로그래밍

- Driver 클래스 구현
  - WordCount 예제를 참고하여 Mapper와 Reducer를 연결하여 DepartureDelayCount 맵 리듀스 프로그램을 작성해 봅시다.
  - 일부 데이터를 대상으로 잘 작동하는지 테스트

```
# 작동 테스트
hadoop jar myhadoop-0.0.1.jar myhadoop.DepartureDelayCount input/airOT2010*.csv output
# 완료 후 확인
hdfs dfs -cat output/part-r-00000
```

  - 전체 데이터를 대상으로 DepartureDelayCount를 실행해 봅시다.
    - 문제가 있으면 내용을 수정하고 분석을 완료해 봅시다.

- [추가 과제]
  - ArrDelay(도착 지연) 컬럼의 값을 기반으로 도착 지연 MapReduce 프로그램을 작성해 봅시다.

사용자 정의 옵션

사용자 정의 옵션

- MapReduce 프로그램을 작성하게 되면 코드가 중복되는 경우가 많음
  - 비슷한 종류의 MapReduce 작업은 실행할 때 사용자가 정의한 파라미터에 따른 분기를 통해 공통된 코드를 정리할 수 있다.
- 사용자 정의 옵션을 돕기 위한 하둡의 클래스들
  - GenericOptionsParser : 하둡 콘솔 명령어에서 입력한 옵션을 분석

옵션	기능
-conf <파일명>	명시한 파일을 환경설정 리소스 정보에 추가
-D <옵션=값>	하둡 환경 옵션에 새 값을 추가
-fs <NameNode 호스트:포트>	네임노드를 새롭게 설정
-jt <JobTracker 호스트:포트>	잡트래커를 새롭게 설정
-files <파일1, 파일2, …>	로컬 파일을 HDFS 공유 파일시스템으로 복사
-libjars <jar1, jar2, …>	로컬에 있는 jar 파일을 HDFS 공유 파일시스템으로 복사, 맵리듀스의 태스크 클래스 패스에 추가
-archives <arc1, arc2, …>	로컬 아카이브 파일을 HDFS 공유 파일시스템으로 복사한 후 압축 해제

사용자 정의 옵션

- 사용자 정의 옵션을 돕기 위한 하둡의 클래스들
  - Tool : GenericOptionsParser의 콘솔 설정 옵션을 지원하기 위한 인터페이스
    - 내부에 run 메서드가 정의되어 있으므로 사용을 위해서는 Override 하여 구현하여야 한다.
  - ToolRunner : Tool 인터페이스를 구현한 클래스의 실행을 도와주는 헬퍼 클래스
    - GenericOptionsParser를 사용, 사용자가 콘솔 명령어에서 입력한 설정한 옵션을 분석
    - 분석 내용을 Configuration 객체에 설정
    - Configuration 객체를 Tool 인터페이스에 전달한 후
    - Tool 인터페이스의 run 메서드를 실행

- 사용자 정의 옵션 기능을 이용하여
  - 사용자 정의 옵션에 의한 파라미터(workType)에 의해 아래 두 작업을 분기하는 맵 리듀스 프로그램을 작성해 봅니다.

사용자 정의 옵션

- 매퍼의 구현
  - setup 메서드 : Mapper가 생성될 때 단 한번만 실행

```
...
private String workType;

@Override
protected void setup(Context context)
    throws IOException, InterruptedException {
    workType = context.getConfiguration().get("workType");
}
...
```

사용자 정의 옵션

- 매퍼의 구현
  - 전달 받은 파라미터(workType)에 따라 처리할 데이터를 분기

```
...
@Override
protected void map(LongWritable key, Text value, Context context)
    throws IOException, InterruptedException {
    ...
    if (workType.equals("departure")) {
        //workType 매개변수가 departure일 때의 분기 처리
    } else if (workType.equals("arrival")) {
        // workType 매개변수가 arrival일 때의 분기 처리도착 지연 시간을 가져와 매핑
    }
}
...
```

사용자 정의 옵션

- 드라이버 클래스 구현
  - 환경설정 정보를 제어할 수 있도록 Configured 클래스를 상속
  - 사용자 정의 옵션 조회를 위한 Tool 인터페이스를 구현
    - Tool 인터페이스 내에 선언된 run 메서드를 반드시 구현하여야 한다

```
...
public class DelayCount extends Configured implements Tool {
    public static void main(String[] args) throws Exception {
        //Tool 인터페이스 실행
        int res = ToolRunner.run(new Configuration(), new DelayCount(), args);
        System.out.println("MapReduce-Job Result:" + res);
    }
}
...
```

사용자 정의 옵션

- 드라이버 클래스 구현
  - Tool 인터페이스의 run 메서드 구현

```
...
@Override
public int run(String[] args) throws Exception {
    String[] otherArgs = new GenericOptionsParser(getConf(), args).getRemainingArgs();
```

  - .getRemainingArgs()에서 반환하는 배열은 GenericOptionsParser에서 제공하는 파라미터를 제외한 나머지
    - -conf, -D, -fs 등 옵션을 설정한 파라미터는 모두 제외
    - 파라미터는 -D 옵션으로 넘겨준다

카운터 사용

카운터 사용

- 하둡은 맵리듀스 잡의 진행 상황을 모니터링 할 수 있게 카운터 API를 제공
  - 모든 잡은 다수의 내장 카운터를 가지고 있음
  - 맵리듀스 프레임워크는 개발자가 직접 카운터를 정의하여 사용할 수 있는 API를 제공
    - 카운터의 숫자를 직접 증감시킬 수 있어 맵과 리듀스 로직의 통작을 체크할 때 유용

- 사용자 정의 카운터의 구현
  - 사용자 정의 카운터는 자바의 enum 클래스를 이용하여 구현

```
public enum DelayCounters {
    scheduled_arrival,
    early_arrival,
    scheduled_departure,
    early_departure
}
```

카운터 사용

- Mapper의 map 메서드에서 Counter 사용하기

```
...
if (workType.equals("departure")) {
    if (parser.getDepartureDelayTime() > 0) {
        //출력 키 설정
        outputKey.set(parser.getYear() + "," + parser.getMonth());
        //출력 데이터 설정
        context.write(outputKey, outputValue);
    } else if (parser.getDepartureDelayTime() == 0) {
        //카운터 증가
        context.getCounter(DelayCounters.scheduled_departure).increment(1);
    } else if (parser.getDepartureDelayTime() < 0) {
        //카운터 증가
        context.getCounter(DelayCounters.early_departure).increment(1);
    }
}
...
```

다중 파일 출력

다중 파일 출력

- MultipleOutputs
  - 한 번의 MapReduce 작업에서 여러 개의 출력 데이터를 생성하는 기능을 제공
  - 여러 개의 OutputCollectors을 만들고
  - 각 OutputCollectors에 대한 출력 경로, 출력 포맷, 키와 값 유형을 설정
    - addNamedOutput 메서드를 호출해 설정할 수 있음
  - MultipleOutputs에서 출력하는 데이터는 기존 맵리듀스 잡에서 생성하는 데이터와는 별개로 생성

다중 파일 출력

- MultipleOutputs
  - 실제 출력을 저장하는 클래스는 Reducer이므로 Reducer에서 MultipleOutputs을 생성하여 사용한다.

```
private MultipleOutputs<Text, IntWritable> mos;

@Override
protected void setup(Context context)
    throws IOException, InterruptedException {
    // 리듀서가 생성될 때 MultipleOutputs 객체를 생성
    mos = new MultipleOutputs<Text, IntWritable>(context);
}
```

```
@Override
protected void cleanup(Context context)
    throws IOException, InterruptedException {
    mos.close(); //  리듀서 종료시 MultipleOutputs 객체를 닫음
}
```

다중 파일 출력

- MultipleOutputs
  - 리듀스 메서드에서 출력 데이터를 생성할 경우, context 객체의 write 메서드를 호출하지만 MultipleOutputs를 사용할 때에는 context를 거치지 않고 멤버 변수로 선언한 MultipleOutputs 객체의 write 메서드를 호출

```
mos.write("departure", outputKey, result);
mos.write("arrival", outputKey, result);
```

정렬

정렬

- 맵리듀스는 기본적으로 입력 데이터의 키를 기준으로 정렬되므로 하나의 리듀스 태스크만 실행하면 정렬을 쉽게 해결할 수 있다.
  - 하지만 하나의 리듀스 태스크만 실행하는 것은 분산 환경의 장점을 활용할 수 없음
  - 하둡은 다음과 같은 정렬을 개발자가 수행할 수 있다
    - 보조 정렬(Secondary Sort)
    - 부분 정렬(Partial Sort)
    - 전체 정렬

정렬
: 보조 정렬

- 보조 정렬의 특징
  - 키의 값들을 그루핑,
  - 그루핑한 레코드에 순서를 부여하는 방식

- 보조 정렬의 구현 순서
  1. 복합키(Composite Key)를 정의, 어떤 키를 그루핑 키로 사용할지 결정
  2. 복합키 레코드 정렬을 위한 비교기(Comparator) 정의
  3. 그루핑 키를 파티셔닝할 파티셔너(Partitioner) 정의
  4. 그루핑 키를 비교할 비교기(Comparator) 정의

정렬
: 보조 정렬

- 복합기 사용을 위해 WritableComparable 인터페이스를 구현
  아래 메서드들이 반드시 구현되어 있어야 함
  - readFields: 복합키를 구성하는 필드를 읽어들이기 위한 메서드
  - write: 복합키를 출력하기 위한 메서드
  - compareTo: 두 복합키를 비교하여 순서를 정할 때 사용

  - 이때, 스트림에서 데이터를 읽고 출력하는 작업에는 WritableUtil을 이용

```
public class DateKey implements WritableComparable<DateKey>{
    private String year;
    private Integer month;
    ...
```

정렬
: 보조 정렬

- readFields 메서드의 구현

```
@Override
public void readFields(DataInput in) throws IOException {
    //입력 스트림에서 데이터를 조회
    year = WritableUtils.readString(in);
    month = in.readInt();
}
```

- write 메서드의 구현

```
@Override
public void write(DataOutput out) throws IOException {
    // 출력 스트림에 연도와 월을 출력
    WritableUtils.writeString(out, year);
    out.writeInt(month);
}
```

정렬
: 보조 정렬

- compareTo 메서드의 구현

```
@Override
public int compareTo(DateKey key) {
    int result = year.compareTo(key.year);
    if (0 == result) {
       result = month.compareTo(key.month);
    }
    return result;
}
```

정렬
: 보조 정렬

- 복합키 비교기(Comparator)의 구현
  - 복합키의 정렬 순서를 부여하기 위한 클래스

```
public class DateKeyComparator extends WritableComparator {
    protected DateKeyComparator() {
        super(DateKey.class, true);
    }

    @Override
    public int compare(WritableComparable a, WritableComparable b) {
        // 두 복합키 비교 로직 수행
    }
}
```

정렬
: 보조 정렬

- 그룹키 파티셔너(Partitioner)의 구현
  - 맵 태스크의 출력을 리듀스 태스트의 입력 데이터로 보낼지 결정
  - 이렇게 파티셔닝 된 데이터는 맵 태스크의 출력 데이터의 키에 따라 결정됨

```
public class GroupKeyPartitioner extends Partitioner<DateKey, IntWritable> {

    @Override
    public int getPartition(DateKey key, //복합키
                            IntWritable val,
                            int numPartitions) {
        int hash = key.getYear().hashCode();
        int partition = hash % numPartitions;
        return partition;
    }
}
```

정렬
: 보조 정렬

- 그룹키 비교기(Comparator)의 구현
  - 리듀서에서 그룹키 비교기를 사용하면 동일 복합키에 해당하는 모든 데이터를 하나의 Reducer 그룹에서 처리할 수 있음

- 드라이버 구현
  - 잡 클래스 설정시 그룹 키 파티셔너와 그룹 키 비교기를 등록한다

```
//잡 클래스 설정
job.setJarByClass(DelayCountWithDateKey.class);
job.setPartitionerClass(GroupKeyPartitioner.class);
job.setGroupingComparatorClass(GroupKeyComparator.class);
job.setSortComparatorClass(DateKeyComparator.class);
```