

4. 스레드 제어와 생명 주기2

#0.강의/1.자바로드맵/5.자바-고급1편

- /인터럽트 - 시작1
- /인터럽트 - 시작2
- /인터럽트 - 시작3
- /인터럽트 - 시작4
- /프린터 예제1 - 시작
- /프린터 예제2 - 인터럽트 도입
- /프린터 예제3 - 인터럽트 코드 개선
- /yield - 양보하기
- /프린터 예제4 - yield 도입
- /정리

인터럽트 - 시작1

특정 스레드의 작업을 중간에 중단하려면 어떻게 해야할까?

다음 코드를 보자.

```
package thread.control.interrupt;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

public class ThreadStopMainV1 {

    public static void main(String[] args) {
        MyTask task = new MyTask();
        Thread thread = new Thread(task, "work");
        thread.start();

        sleep(4000);
        log("작업 중단 지시 runFlag=false");
        task.runFlag = false;
    }

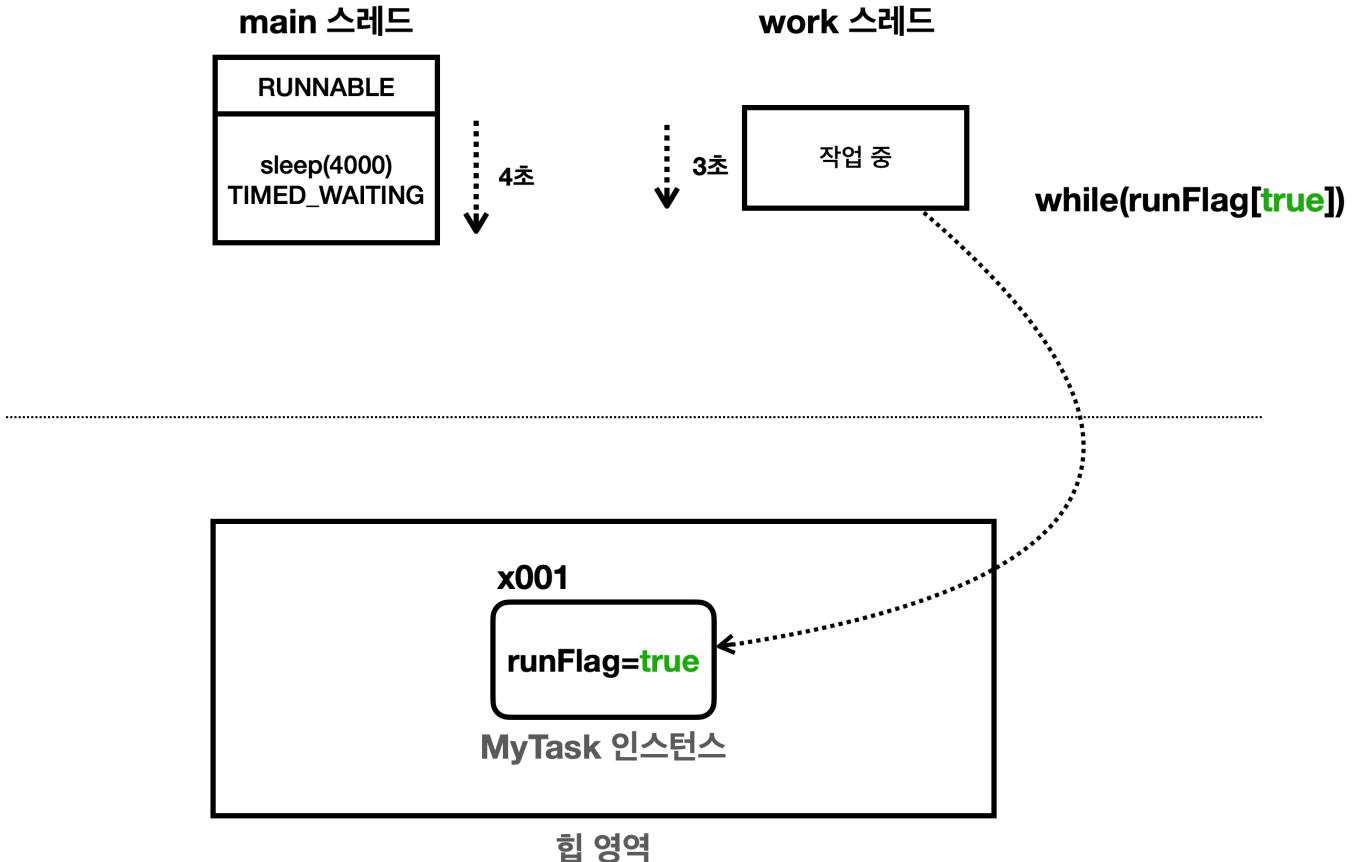
    static class MyTask implements Runnable {
        volatile boolean runFlag = true;
    }
}
```

```
@Override  
public void run() {  
    while (runFlag) {  
        log("작업 중");  
        sleep(3000);  
    }  
    log("자원 정리");  
    log("작업 종료");  
}  
}  
}
```

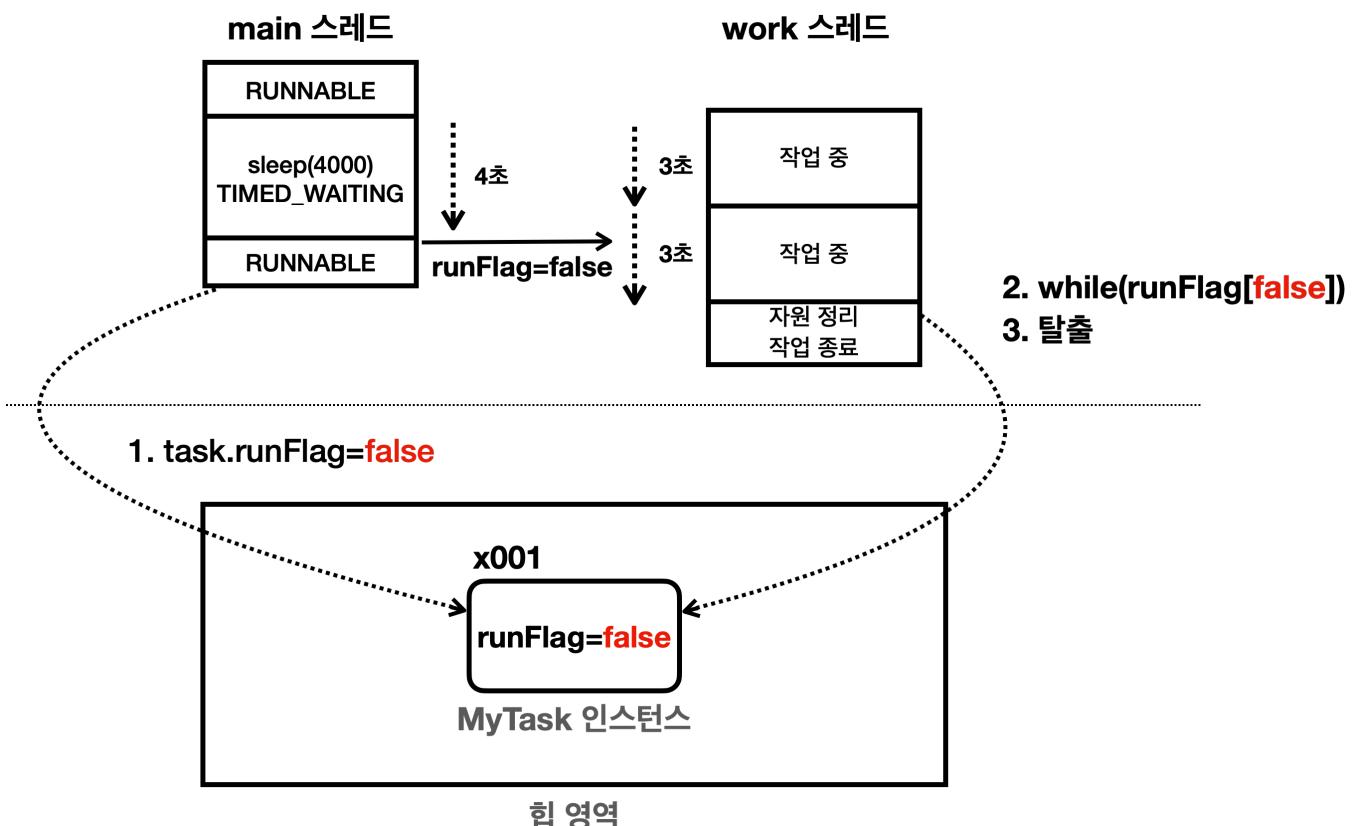
- 특정 스레드의 작업을 중단하는 가장 쉬운 방법은 변수를 사용하는 것이다.
- 여기서는 `runFlag`를 사용해서 `work` 스레드에 작업 중단을 지시할 수 있다.
- 작업 하나에 3초가 걸린다고 가정하고, `sleep(3000)`을 사용하자.
- `main` 스레드는 4초 뒤에 작업 중단을 지시한다.
- `volatile` 키워드는 뒤에서 자세히 설명한다. 지금은 단순히 여러 스레드에서 공유하는 값에 사용하는 키워드라고 알아두자.

실행 결과

```
14:58:27.520 [      work] 작업 중  
14:58:30.525 [      work] 작업 중  
14:58:31.510 [      main] 작업 중단 지시 runFlag=false  
14:58:33.532 [      work] 자원 정리  
14:58:33.533 [      work] 작업 종료
```



- work 스레드는 runFlag 가 true 인 동안 계속 실행된다.



- 프로그램 시작 후 4초 뒤에 main 스레드는 runFlag 를 false 로 변경한다.

- work 스레드는 while(runFlag)에서 runFlag의 조건이 false로 변한 것을 확인하고, while문을 빠져 나가면서 작업을 종료한다.

문제점

실행을 해보면 알겠지만 main 스레드가 runFlag=false를 통해 작업 중단을 지시해도, work 스레드가 즉각 반응하지 않는다. 로그를 보면 작업 중단 지시 2초 정도 이후에 자원을 정리하고 작업을 종료한다.

```
14:58:27.520 [      work] 작업 중
14:58:30.525 [      work] 작업 중
14:58:31.510 [      main] 작업 중단 지시 runFlag=false
14:58:33.532 [      work] 자원 정리 //2초 정도 경과후 실행
14:58:33.533 [      work] 작업 종료
```

이 방식의 가장 큰 문제는 다음 코드의 sleep()에 있다.

```
while (runFlag) {
    log("작업 중");
    sleep(3000);
}
```

- main 스레드가 runFlag를 false로 변경해도, work 스레드는 sleep(3000)을 통해 3초간 잠들어 있다. 3초간의 잠이 깬 다음에 while(runFlag) 코드를 실행해야, runFlag를 확인하고 작업을 중단할 수 있다.
- 참고로 runFlag를 변경한 후 2초라는 시간이 지난 이후에 작업이 종료되는 이유는 work 스레드가 3초에 한 번씩 깨어나서 runFlag를 확인하는데, main 스레드가 4초에 runFlag를 변경했기 때문이다.
 - work 스레드 입장에서 보면 두 번째 sleep()에 들어가고 1초 후 main 스레드가 runFlag를 변경한다. 3초간 sleep() 이므로 아직 2초가 더 있어야 깨어난다.

어떻게 하면 sleep()처럼 스레드가 대기하는 상태에서 스레드를 깨우고, 작업도 빨리 종료할 수 있을까?

인터럽트 - 시작2

예를 들어서, 특정 스레드가 Thread.sleep()을 통해 쉬고 있는데, 처리해야 하는 작업이 들어와서 해당 스레드를 급하게 깨워야 할 수 있다. 또는 sleep()으로 쉬고 있는 스레드에게 더는 일이 없으니, 작업 종료를 지시할 수도 있다.

인터럽트를 사용하면, WAITING, TIMED_WAITING 같은 대기 상태의 스레드를 직접 깨워서, 작동하는 RUNNABLE 상태로 만들 수 있다.

앞서 작성한 예제의 작업 중단 지시를 인터럽트를 통해 처리해보자.

```
package thread.control.interrupt;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

public class ThreadStopMainV2 {

    public static void main(String[] args) {
        MyTask task = new MyTask();
        Thread thread = new Thread(task, "work");
        thread.start();

        sleep(4000);
        log("작업 중단 지시 thread.interrupt()");
        thread.interrupt();
        log("work 스레드 인터럽트 상태1 = " + thread.isInterrupted());
    }

    static class MyTask implements Runnable {

        @Override
        public void run() {
            try {
                while (true) {
                    log("작업 중");
                    Thread.sleep(3000);
                }
            } catch (InterruptedException e) {
                log("work 스레드 인터럽트 상태2 = " +
Thread.currentThread().isInterrupted());
                log("interrupt message=" + e.getMessage());
                log("state=" + Thread.currentThread().getState());
            }
            log("자원 정리");
            log("작업 종료");
        }
    }
}
```

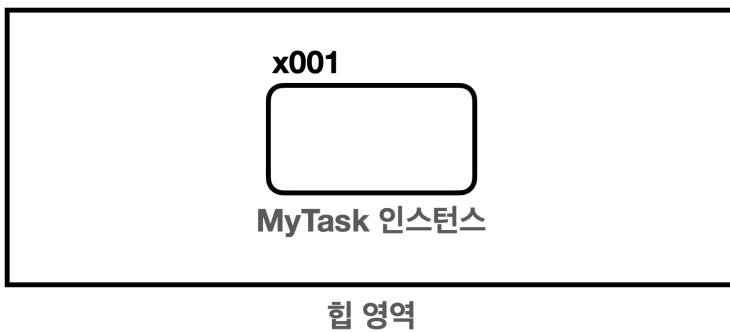
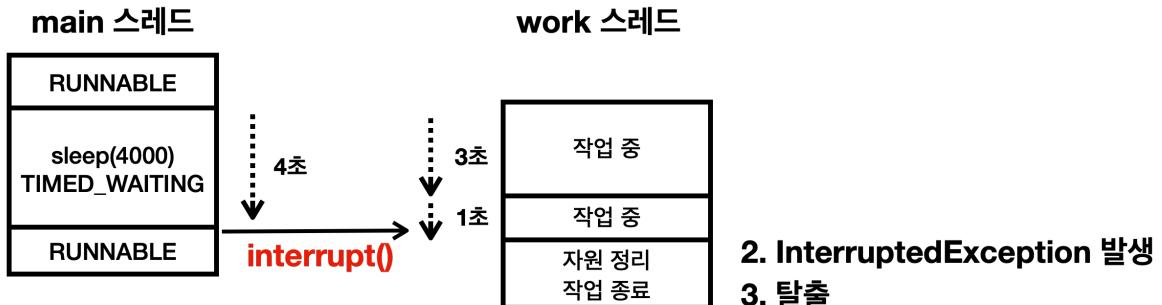
```
}
```

- 예제의 `run()` 에서는 인터럽트를 이해하기 위해, 직접 만든 `sleep()` 대신에 `Thread.sleep()` 를 사용하고, `try ~ catch` 도 사용하자.
- 특정 스레드의 인스턴스에 `interrupt()` 메서드를 호출하면, 해당 스레드에 인터럽트가 발생한다.
- 인터럽트가 발생하면 해당 스레드에 `InterruptedException` 이 발생한다.
 - 이때 인터럽트를 받은 스레드는 대기 상태에서 깨어나 `RUNNABLE` 상태가 되고, 코드를 정상 수행한다.
 - 이때 `InterruptedException` 을 `catch`로 잡아서 정상 흐름으로 변경하면 된다.
- 참고로 `interrupt()` 를 호출했다고 해서 즉각 `InterruptedException` 이 발생하는 것은 아니다. 오직 `sleep()` 처럼 `InterruptedException` 을 던지는 메서드를 호출하거나 또는 호출 중일 때 예외가 발생한다.
 - 예를 들어서 위 코드에서 `while(true)`, `log("작업 중")` 에서는 `InterruptedException` 이 발생하지 않는다.
 - `Thread.sleep()` 처럼 `InterruptedException` 을 던지는 메서드를 호출하거나 또는 호출하며 대기중일 때 예외가 발생한다.

실행 결과

```
18:10:40.024 [      work] 작업 중
18:10:43.026 [      work] 작업 중
18:10:44.011 [      main] 작업 중단 지시 thread.interrupt()
18:10:44.021 [      main] work 스레드 인터럽트 상태1 = true
18:10:44.021 [      work] work 스레드 인터럽트 상태2 = false
18:10:44.022 [      work] interrupt message=sleep interrupted
18:10:44.022 [      work] state=RUNNABLE
18:10:44.022 [      work] 자원 정리
18:10:44.023 [      work] 작업 종료
```

- 일부 로그를 보기 쉽게 조정했다.
- `thread.interrupt()` 를 통해 작업 중단을 지시를 하고, 거의 즉각적으로 인터럽트가 발생한 것을 확인할 수 있다.
- 이때 `work` 스레드는 `TIMED_WAITING` → `RUNNABLE` 상태로 변경되면서 `InterruptedException` 예외가 발생한다.
 - 참고로 스레드가 `RUNNABLE` 상태여야 `catch` 의 예외 코드도 실행될 수 있다.
- 실행 결과를 보면 `work` 스레드가 `catch` 블럭 안에서 `RUNNABLE` 상태로 바뀐 것을 확인할 수 있다.



힙 영역

- main 스레드가 4초 뒤에 work 스레드에 `interrupt()`를 건다.
- work 스레드는 인터럽트 상태(`true`)가 된다.
- 스레드가 인터럽트 상태일 때는, `sleep()`처럼 `InterruptedException`이 발생하는 메서드를 호출하거나 또는 이미 호출하고 대기 중이라면 `InterruptedException`이 발생한다.
- 이때 2가지 일이 발생한다.
 - work 스레드는 `TIMED_WAITING` 상태에서 `RUNNABLE` 상태로 변경되고, `InterruptedException` 예외를 처리하면서 반복문을 탈출한다.
 - work 스레드는 인터럽트 상태가 되었고, 인터럽트 상태이기 때문에 인터럽트 예외가 발생한다.
 - 인터럽트 상태에서 인터럽트 예외가 발생하면 work 스레드는 다시 작동하는 상태가 된다. 따라서 work 스레드의 인터럽트 상태는 종료된다.
 - work 스레드의 인터럽트 상태는 `false`로 변경된다.

주요 로그

```

10:14:49.409 [      main] work 스레드 인터럽트 상태1 = true //여기서 인터럽트 발생
10:14:49.410 [      work] work 스레드 인터럽트 상태2 = false
10:14:49.414 [      work] state=RUNNABLE

```

- 인터럽트가 적용되고, 인터럽트 예외가 발생하면, 해당 스레드는 실행 가능 상태가 되고, 인터럽트 발생 상태도 정상으로 돌아온다.
- 인터럽트를 사용하면 대기중인 스레드를 바로 깨워서 실행 가능한 상태로 바꿀 수 있다. 덕분에 단순히 `runFlag`를 사용하는 이전 방식보다 반응성이 좋아진 것을 확인할 수 있다.

인터럽트 - 시작3

그런데 앞선 코드에서 한가지 아쉬운 부분이 있다.

```
while (true) { //인터럽트 체크 안함
    log("작업 중");
    Thread.sleep(3000); //여기서만 인터럽트 발생
}
```

여기서 `while(true)` 부분은 체크를 하지 않는다는 점이다. 인터럽트가 발생해도 이 부분은 항상 `true`이기 때문에 다음 코드로 넘어간다. 그리고 `sleep()`을 호출하고 나서야 인터럽트가 발생하는 것이다.

다음과 같이 인터럽트의 상태를 확인하면, 더 빨리 반응할 수 있을 것이다.

```
while (인터럽트_상태_확인) { //여기서도 인터럽트 상태 체크
    log("작업 중");
    Thread.sleep(3000); //인터럽트 발생
}
```

이 코드와 같이 인터럽트의 상태를 확인하면 `while`문을 체크하는 부분에서 더 빠르게 `while`문을 빠져나갈 수 있다. 물론 이 예제의 경우 코드가 단순해서 실질적인 차이는 매우 작다.

추가로 인터럽트의 상태를 직접 확인하면, 다음과 같이 인터럽트를 발생 시키는 `sleep()`과 같은 코드가 없어도 인터럽트 상태를 직접 확인하기 때문에 `while`문을 빠져나갈 수 있다.

```
while (인터럽트_상태_확인) { //여기서도 체크
    log("작업 중");
}
```

`while`문에서 인터럽트의 상태를 직접 확인하도록 코드를 변경해보자.

추가로 예제를 단순화하고 더 직접적인 이해를 돋기 위해 `run()`의 반복문에서 `sleep()` 코드도 함께 제거하자.

```
package thread.control.interrupt;
```

```

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

public class ThreadStopMainV3 {

    public static void main(String[] args) {
        MyTask task = new MyTask();
        Thread thread = new Thread(task, "work");
        thread.start();

        sleep(100); // 시간을 줄임
        log("작업 중단 지시 - thread.interrupt()");
        thread.interrupt();
        log("work 스레드 인터럽트 상태1 = " + thread.isInterrupted());
    }

    static class MyTask implements Runnable {

        @Override
        public void run() {
            while (!Thread.currentThread().isInterrupted()) { // 인터럽트 상태 변경
                log("작업 중");
            }
            log("work 스레드 인터럽트 상태2 = " +
                Thread.currentThread().isInterrupted());

            try {
                log("자원 정리 시도");
                Thread.sleep(1000);
                log("자원 정리 완료");
            } catch (InterruptedException e) {
                log("자원 정리 실패 - 자원 정리 중 인터럽트 발생");
                log("work 스레드 인터럽트 상태3 = " +
                    Thread.currentThread().isInterrupted());
            }
            log("작업 종료");
        }
    }
}

```

- `Thread.currentThread()`로 이 코드를 실행하는 스레드를 조회할 수 있다.

- `isInterrupted()` 를 사용하면 스레드가 인터럽트 상태인지 확인할 수 있다.

실행 결과

```

...
18:32:05.247 [      work] 작업 중
18:32:05.247 [      work] 작업 중
18:32:05.247 [      main] 작업 중단 지시 - thread.interrupt()
18:32:05.247 [      work] 작업 중
18:32:05.250 [      main] work 스레드 인터럽트 상태1 = true
18:32:05.250 [      work] work 스레드 인터럽트 상태2 = true
18:32:05.251 [      work] 자원 정리 시도
18:32:05.251 [      work] 자원 정리 실패 - 자원 정리 중 인터럽트 발생
18:32:05.251 [      work] work 스레드 인터럽트 상태3 = false
18:32:05.251 [      work] 작업 종료

```

- 반복문으로 작업 중을 계속 출력하기 때문에 상당히 많은 작업 중 로그가 출력된다.
- 실행 결과는 이해하기 쉽게 조정했다.

주요 실행 순서

- `main` 스레드는 `interrupt()` 메서드를 사용해서, `work` 스레드에 인터럽트를 건다.
- `work` 스레드는 인터럽트 상태이다. `isInterrupted()=true` 가 된다.
- 이때 다음과 같이 `while` 조건이 `false` 가 되면서 `while`문을 탈출한다.
 - `while (!Thread.currentThread().isInterrupted())`
 - `while (!true)`
 - `while (false)`

여기까지 보면 아무런 문제가 없어 보인다. 하지만 이 코드에는 심각한 문제가 있다.

바로 `work` 스레드의 인터럽트 상태가 `true` 로 계속 유지된다는 점이다.

앞서 인터럽트 예외가 터진 경우 스레드의 인터럽트 상태는 `false` 가 된다.

반면에 `isInterrupted()` 메서드는 인터럽트의 상태를 변경하지 않는다. 단순히 인터럽트의 상태를 확인만 한다.

`work` 스레드는 이후에 자원을 정리하는 코드를 실행하는데, 이때도 인터럽트의 상태는 계속 `true` 로 유지된다. 이때 만약 인터럽트가 발생하는 `sleep()` 과 같은 코드를 수행한다면, 해당 코드에서 인터럽트 예외가 발생하게 된다. 이것은 우리가 기대한 결과가 아니다! 우리가 기대하는 것은 `while()` 문을 탈출하기 위해 딱 한 번만 인터럽트를 사용하는 것이지, 다른 곳에서도 계속해서 인터럽트가 발생하는 것이 아니다.

결과적으로 자원 정리를 하는 도중에 인터럽트가 발생해서, 자원 정리에 실패한다.

자바에서 인터럽트 예외가 한 번 발생하면, 스레드의 인터럽트 상태를 다시 정상(`false`)으로 돌리는 것은 이런 이유

때문이다.

스레드의 인터럽트 상태를 정상으로 돌리지 않으면 이후에도 계속 인터럽트가 발생하게 된다.

인터럽트의 목적을 달성하면 인터럽트 상태를 다시 정상으로 돌려두어야 한다.

참고로 이 예제에서 자원 정리에 실패할 때 인터럽트 예외가 발생하면서 인터럽트의 상태가 정상(`false`)으로 돌아온다.

```
work 스레드 인터럽트 상태3 = false
```

그럼 우리는 어떻게 해야 할까?

`while(인터럽트_상태_확인)` 같은 곳에서 인터럽트의 상태를 확인한 다음에, 만약 인터럽트 상태(`true`)라면 인터럽트 상태를 다시 정상(`false`)으로 돌려두면 된다.

인터럽트 - 시작4

Thread.interrupted()

스레드의 인터럽트 상태를 단순히 확인만 하는 용도라면 `isInterrupted()` 를 사용하면 된다.

하지만 직접 체크해서 사용할 때는 `Thread.interrupted()` 를 사용해야 한다.

이 메서드는 다음과 같이 작동한다.

- 스레드가 인터럽트 상태라면 `true` 를 반환하고, 해당 스레드의 인터럽트 상태를 `false` 로 변경한다.
- 스레드가 인터럽트 상태가 아니라면 `false` 를 반환하고, 해당 스레드의 인터럽트 상태를 변경하지 않는다.

```
package thread.control.interrupt;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

public class ThreadStopMainV4 {

    public static void main(String[] args) {
        MyTask task = new MyTask();
        Thread thread = new Thread(task, "work");
        thread.start();
```

```

sleep(100); //시간을 줄임
log("작업 중단 지시 - thread.interrupt()");
thread.interrupt();
log("work 스레드 인터럽트 상태1 = " + thread.isInterrupted());
}

static class MyTask implements Runnable {

@Override
public void run() {
    while (!Thread.interrupted()) { //인터럽트 상태 변경0
        log("작업 중");
    }
    log("work 스레드 인터럽트 상태2 = " +
Thread.currentThread().isInterrupted();

    try {
        log("자원 정리 시도");
        Thread.sleep(1000);
        log("자원 정리 완료");
    } catch (InterruptedException e) {
        log("자원 정리 실패 - 자원 정리 중 인터럽트 발생");
        log("work 스레드 인터럽트 상태3 = " +
Thread.currentThread().isInterrupted());
    }
    log("작업 종료");
}
}
}

```

실행 결과

```

...
18:42:18.214 [      work] 작업 중
18:42:18.214 [      work] 작업 중
18:42:18.214 [      main] 작업 중단 지시 - thread.interrupt()
18:42:18.214 [      work] 작업 중
18:42:18.219 [      main] work 스레드 인터럽트 상태1 = true
18:42:18.219 [      work] work 스레드 인터럽트 상태2 = false
18:42:18.219 [      work] 자원 정리 시도
18:42:19.221 [      work] 자원 정리 완료
18:42:19.222 [      work] 작업 종료

```

주요 코드

```
while (!Thread.interrupted()) { //인터럽트 상태 변경  
    log("작업 중");  
}
```

주요 실행 순서

- main 스레드는 interrupt() 메서드를 사용해서, work 스레드에 인터럽트를 건다.
- work 스레드는 인터럽트 상태이다. Thread.interrupted()의 결과는 true가 된다.
 - Thread.interrupted()는 이때 work 스레드의 인터럽트 상태를 정상(false)으로 변경한다.
- 이때 다음과 같이 while 조건이 false가 되면서 while문을 탈출한다.
 - while (!Thread.interrupted())
 - while (!true)
 - while (false)

Thread.interrupted()를 호출했을 때 스레드가 인터럽트 상태(true)라면, true를 반환하고, 해당 스레드의 인터럽트 상태를 false로 변경한다.

결과적으로 while문을 탈출하는 시점에, 스레드의 인터럽트 상태도 false로 변경된다.

work 스레드는 이후에 자원을 정리하는 코드를 실행하는데, 이때 인터럽트의 상태는 false 이므로 인터럽트가 발생하는 sleep()과 같은 코드를 수행해도 인터럽트가 발생하지 않는다. 이후에 자원을 정상적으로 잘 정리하는 것을 확인할 수 있다.

자바는 인터럽트 예외가 한 번 발생하면, 스레드의 인터럽트 상태를 다시 정상(false)으로 돌린다.

스레드의 인터럽트 상태를 정상으로 돌리지 않으면 이후에도 계속 인터럽트가 발생하게 된다.

인터럽트의 목적을 달성하면 인터럽트 상태를 다시 정상으로 돌려두어야 한다.

인터럽트의 상태를 직접 체크해서 사용하는 경우 Thread.interrupted()를 사용하면 이런 부분이 해결된다. 참고로 isInterrupted()는 특정 스레드의 상태를 변경하지 않고 확인할 때 사용한다.

물론 꼭 이것만이 정답은 아니다. 예를 들어 너무 긴급한 상황이어서 자원 정리도 하지 않고, 최대한 빨리 스레드를 종료해야 한다면 해당 스레드를 다시 인터럽트 상태로 변경하는 것도 방법이다.

프린터 예제1 - 시작

이번에는 인터럽트를 실제 어떤 식으로 활용할 수 있는지 조금 더 실용적인 예제를 만들어보자.

사용자의 입력을 프린터에 출력하는 간단한 예제를 만들어보자.

여기서는 크게 사용자의 입력을 받는 `main` 스레드와 사용자의 입력을 출력하는 `printer` 스레드로 나누어진다.

```
package thread.control.printer;

import java.util.Queue;
import java.util.Scanner;
import java.util.concurrent.ConcurrentLinkedQueue;

import static util.MyLogger.log;
import static util.ThreadUtils.sleep;

public class MyPrinterV1 {

    public static void main(String[] args) {
        Printer printer = new Printer();
        Thread printerThread = new Thread(printer, "printer");
        printerThread.start();

        Scanner userInput = new Scanner(System.in);
        while (true) {
            log("프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): ");
            String input = userInput.nextLine();
            if (input.equals("q")) {
                printer.work = false;
                break;
            }

            printer.addJob(input);
        }
    }

    static class Printer implements Runnable {
        volatile boolean work = true;
        Queue<String> jobQueue = new ConcurrentLinkedQueue<>();
```

```

@Override
public void run() {
    while (work) {
        if (jobQueue.isEmpty()) {
            continue;
        }

        String job = jobQueue.poll();
        log("출력 시작: " + job + ", 대기 문서: " + jobQueue);
        sleep(3000); // 출력에 걸리는 시간
        log("출력 완료: " + job);
    }
    log("프린터 종료");
}

public void addJob(String input) {
    jobQueue.offer(input);
}

}
}

```

- `volatile`: 여러 스레드가 동시에 접근하는 변수에는 `volatile` 키워드를 붙여주어야 안전하다. 여기서는 `main` 스레드, `printer` 스레드 둘다 `work` 변수에 동시에 접근할 수 있다. `volatile`에 대한 자세한 내용은 뒤에서 설명한다.
- `ConcurrentLinkedQueue`: 여러 스레드가 동시에 접근하는 경우, 컬렉션 프레임워크가 제공하는 일반적인 자료구조를 사용하면 안전하지 않다. 여러 스레드가 동시에 접근하는 경우 동시성을 지원하는 동시성 컬렉션을 사용해야 한다. `Queue`의 경우 `ConcurrentLinkedQueue`를 사용하면 된다. 동시성 컬렉션의 자세한 내용은 뒤에서 설명한다. 여기서는 일반 큐라고 생각하면 된다.

참고: `volatile`, `ConcurrentLinkedQueue`에 대한 자세한 내용은 뒤에서 다룬다. 지금은 여러 스레드에서 접근하는 경우에 이런 것들을 사용하는구나 정도만 알아두면 된다.

실행 결과

```

16:35:02.771 [      main] 프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): a
16:35:03.960 [  printer] 출력 시작: a, 대기 문서: []
16:35:03.954 [      main] 프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): b
16:35:04.587 [      main] 프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): c
16:35:04.936 [      main] 프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): d

```

```

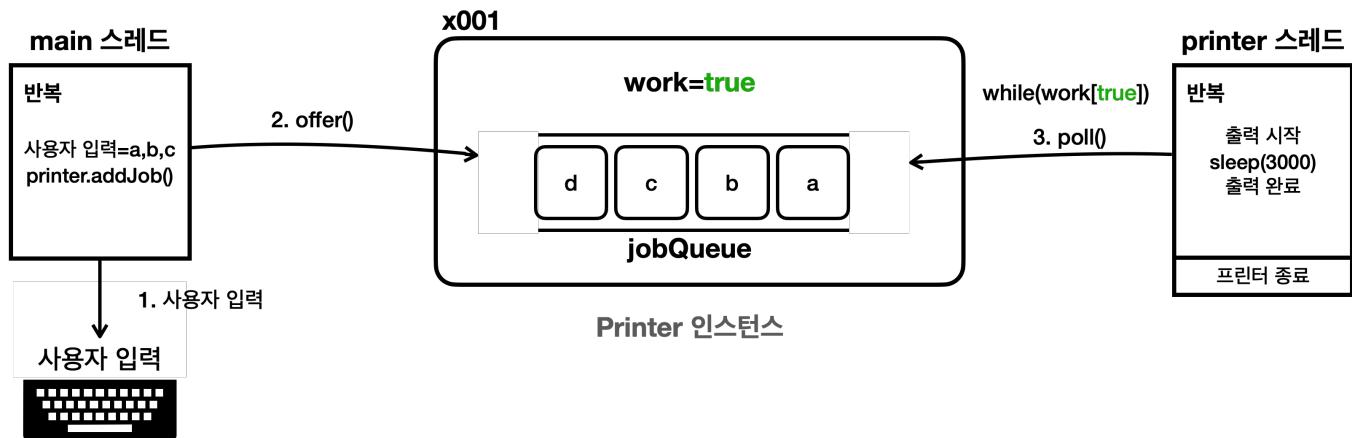
16:35:05.172 [      main] 프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q):
16:35:06.965 [  printer] 출력 완료: a
16:35:06.966 [  printer] 출력 시작: b, 대기 문서: [c, d]
16:35:09.971 [  printer] 출력 완료: b
16:35:09.972 [  printer] 출력 시작: c, 대기 문서: [d]
16:35:12.974 [  printer] 출력 완료: c
16:35:12.975 [  printer] 출력 시작: d, 대기 문서: []
16:35:15.977 [  printer] 출력 완료: d
q
16:35:18.118 [  printer] 프린터 종료

```

실행 결과는 보기 쉽게 다듬었다.

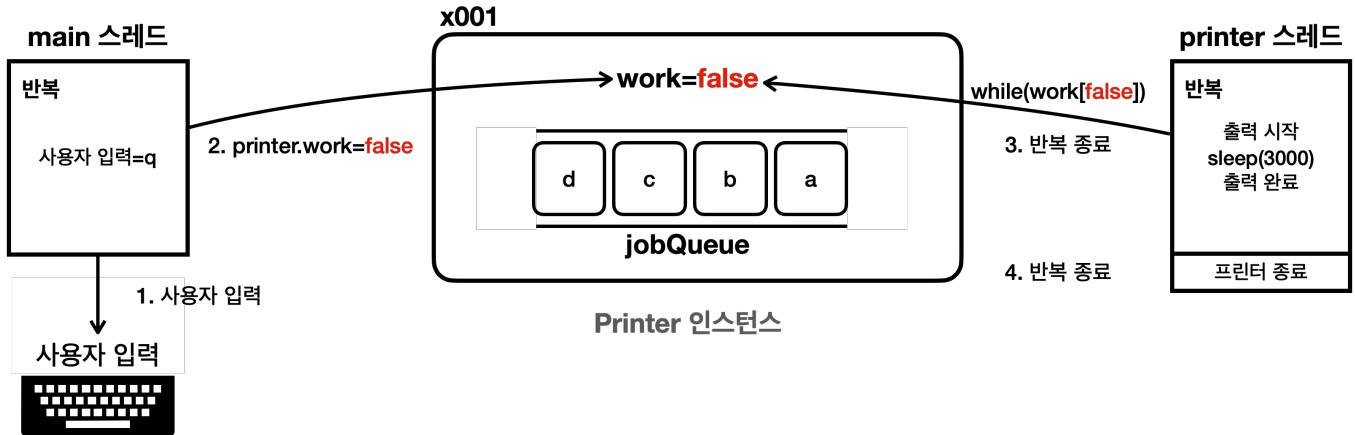
- 입력으로 a, b, c, d를 사용했다.

프린터 작동 그림



- **main 스레드:** 사용자의 입력을 받아서 Printer 인스턴스의 `jobQueue`에 담는다.
- **printer 스레드:** `jobQueue`가 있는지 확인한다.
 - `jobQueue`에 내용이 있으면 `poll()`을 이용해서 꺼낸 다음에 출력한다.
 - ◆ 출력하는데는 약 3초의 시간이 걸린다. 여기서는 `sleep(3000)`를 사용해서 출력 시간을 가상으로 구현했다.
 - ◆ 출력을 완료하면 while문을 다시 반복한다.
 - 만약 `jobQueue`가 비었다면 `continue`를 사용해서 다시 while문을 반복한다.
 - 이렇게 해서 `jobQueue`에 출력할 내용이 들어올 때 까지 계속 확인한다.

프린터 종료 그림



- **main 스레드**: 사용자가 q를 입력한다. `printer.work`의 값을 false로 변경한다.
 - `main` 스레드는 while문을 빠져나가고 `main` 스레드가 종료된다.
- **printer 스레드**: while문에서 `work`의 값이 false인 것을 확인한다.
 - `printer` 스레드는 while문을 빠져나가고, "프린터 종료"를 출력하고, `printer` 스레드는 종료된다.

앞서 살펴보았듯이 이 방식의 문제는 종료(q)를 입력했을 때 바로 반응하지 않는다는 점이다. 왜냐하면 `printer` 스레드가 반복문을 빠져나오려면 while문을 체크해야 하는데, `printer` 스레드가 `sleep(3000)`을 통해 대기 상태에 빠져서 작동하지 않기 때문이다. 따라서 최악의 경우 q를 입력하고 3초 이후에 프린터가 종료된다.

이제 인터럽트를 사용해서 반응성이 느린 문제를 해결해 보자.

프린터 예제2 - 인터럽트 도입

앞서 만든 예제에 인터럽트를 도입해보자.

```

package thread.control.printer;

import java.util.Queue;
import java.util.Scanner;
import java.util.concurrent.ConcurrentLinkedQueue;

import static util.MyLogger.log;

public class MyPrinterV2 {

    public static void main(String[] args) {
        Printer printer = new Printer();
        Thread printerThread = new Thread(printer, "printer");
        printerThread.start();
    }
}

```

```
Scanner userInput = new Scanner(System.in);
while (true) {
    System.out.println("프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): ");
    String input = userInput.nextLine();
    if (input.equals("q")) {
        printer.work = false;
        printerThread.interrupt();
        break;
    }
    printer.addJob(input);
}
}

static class Printer implements Runnable {
    volatile boolean work = true;
    Queue<String> jobQueue = new ConcurrentLinkedQueue<>();

    @Override
    public void run() {

        while (work) {
            if (jobQueue.isEmpty()) {
                continue;
            }

            try {
                String job = jobQueue.poll();
                log("출력 시작: " + job + ", 대기 문서: " + jobQueue);
                Thread.sleep(3000); // 출력에 걸리는 시간
                log("출력 완료: " + job);
            } catch (InterruptedException e) {
                log("인터럽트!");
                break;
            }
        }
        log("프린터 종료");
    }

    public void addJob(String input) {
        jobQueue.offer(input);
    }
}
```

```
    }  
}
```

실행 결과

```
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): a  
17:13:16.994 [ printer] 출력 시작: a, 대기 문서: []  
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): b  
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): c  
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): d  
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q):  
17:13:19.999 [ printer] 출력 완료: a  
17:13:20.001 [ printer] 출력 시작: b, 대기 문서: [c, d]  
q  
17:13:20.920 [ printer] 인터럽트!  
17:13:20.921 [ printer] 프린터 종료
```

종료(q)를 입력하면 즉시 종료되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 반응성이 매우 좋아진다.

종료시 main 스레드는 work 변수도 false로 변경하고, printer 스레드에 인터럽트도 함께 호출한다.

```
if (input.equals("q")) {  
    printer.work = false;  
    printerThread.interrupt();  
    break;  
}
```

이렇게 둘 다 함께 적용하면, printer 스레드가 sleep()을 호출한 상태는 물론이고, while (work) 코드가 실행되는 부분에서도 빠져나올 수 있어서 반응성이 더 좋아진다.

- interrupt(): sleep() 상태에서 빠져나온다.
- work=false: while문을 체크하는 곳에서 빠져나온다.

프린터 예제3 - 인터럽트 코드 개선

이번에는 앞서 작성한 예제의 코드를 개선해보자.

인터럽트의 상태를 직접 확인하면, `work` 변수를 제거할 수 있다.

```
package thread.control.printer;

import java.util.Queue;
import java.util.Scanner;
import java.util.concurrent.ConcurrentLinkedQueue;

import static util.MyLogger.log;

public class MyPrinterV3 {

    public static void main(String[] args) {
        Printer printer = new Printer();
        Thread printerThread = new Thread(printer, "printer");
        printerThread.start();

        Scanner userInput = new Scanner(System.in);
        while (true) {
            System.out.println("프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): ");
            String input = userInput.nextLine();
            if (input.equals("q")) {
                printerThread.interrupt();
                break;
            }
            printer.addJob(input);
        }
    }

    static class Printer implements Runnable {
        Queue<String> jobQueue = new ConcurrentLinkedQueue<>();

        @Override
        public void run() {

            while (!Thread.interrupted()) {
                if (jobQueue.isEmpty()) {
                    continue;
                }

                try {
                    String job = jobQueue.poll();

```

```

        log("출력 시작: " + job + ", 대기 문서: " + jobQueue);
        Thread.sleep(3000); // 출력에 걸리는 시간
        log("출력 완료: " + job);
    } catch (InterruptedException e) {
        log("인터럽트!");
        break;
    }
}
log("프린터 종료");
}

public void addJob(String input) {
    jobQueue.offer(input);
}

}

```

- `Thread.interrupted()` 메서드를 사용하면 해당 스레드가 인터럽트 상태인지 아닌지 확인할 수 있다.
- 따라서 while에서 체크하던 `work` 변수를 제거할 수 있다.
 - `work` 변수로 확인하는 대신에 해당 스레드의 인터럽트 상태만 확인하면 된다.

`printer` 스레드는 자신이 인터럽트 상태인지 다음 코드로 확인하면 된다.

```
while (!Thread.interrupted())
```

`main` 스레드도 `work` 변수의 사용을 제거하고, 인터럽트만 걸어주면 된다.

```

if (input.equals("q")) {
    printerThread.interrupt();
    break;
}

```

실행 결과

```

프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): a
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): b
17:29:16.919 [ printer] 출력 시작: a, 대기 문서: []
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): c

```

```
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): d
프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q):
17:29:19.923 [ printer] 출력 완료: a
17:29:19.925 [ printer] 출력 시작: b, 대기 문서: [c, d]
q
17:29:21.367 [ printer] 인터럽트!
17:29:21.368 [ printer] 프린터 종료
```

실행 결과는 기존과 같다.

yield - 양보하기

어떤 스레드를 얼마나 실행할지는 운영체제가 스케줄링을 통해 결정한다. 그런데 특정 스레드가 크게 바쁘지 않은 상황이어서 다른 스레드에 CPU 실행 기회를 양보하고 싶을 수 있다. 이렇게 양보하면 스케줄링 큐에 대기 중인 다른 스레드가 CPU 실행 기회를 더 빨리 얻을 수 있다.

예제를 통해 알아보자.

```
package thread.control.yield;

import static util.ThreadUtils.sleep;

public class YieldMain {

    static final int THREAD_COUNT = 1000;

    public static void main(String[] args) {
        for (int i = 0; i < THREAD_COUNT; i++) {
            Thread thread = new Thread(new MyRunnable());
            thread.start();
        }
    }

    static class MyRunnable implements Runnable {
        public void run() {
            for (int i = 0; i < 10; i++) {
                System.out.println(Thread.currentThread().getName() + " - " +
i);
            }
        }
    }
}
```

```

        // 1. empty
        //sleep(1); // 2. sleep
        //Thread.yield(); // 3. yield
    }
}
}
}

```

- 1000개의 스레드를 실행한다.
- 각 스레드가 실행하는 로직은 아주 단순하다. 스레드당 0~9까지 출력하면 끝난다.
- `run()`에 있는 1, 2, 3 주석을 변경하면서 실행해보자.

여기서는 3가지 방식을 사용한다.

1. `Empty`: `sleep(1)`, `yield()` 없이 호출한다. 운영체제의 스레드 스케줄링을 따른다.
2. `sleep(1)`: 특정 스레드를 잠시 쉬게 한다.
3. `yield()`: `yield()`를 사용해서 다른 스레드에 실행을 양보한다.

Empty

실행 결과 - 1. Empty

```

Thread-998 - 2
Thread-998 - 3
Thread-998 - 4
Thread-998 - 5
Thread-998 - 6
Thread-998 - 7
Thread-998 - 8
Thread-998 - 9
Thread-999 - 0
Thread-999 - 1
Thread-999 - 2
Thread-999 - 3
Thread-999 - 4
Thread-999 - 5
Thread-999 - 6
Thread-999 - 7
Thread-999 - 8
Thread-999 - 9

```

- 특정 스레드가 쭉~ 수행된 다음에 다른 스레드가 수행되는 것을 확인할 수 있다.

- 참고로 실행 환경에 따라 결과는 달라질 수 있다. 다른 예시보다 상대적으로 하나의 스레드가 쭉~ 연달아 실행되다가 다른 스레드로 넘어간다.
- 이 부분은 운영체제의 스케줄링 정책과 환경에 따라 다르지만 대략 0.01초(10ms)정도 하나의 스레드가 실행되고, 다른 스레드로 넘어간다.

sleep()

실행 결과 - 2. sleep()

```
Thread-626 - 9
Thread-997 - 9
Thread-993 - 9
Thread-949 - 7
Thread-645 - 9
Thread-787 - 9
Thread-851 - 9
Thread-949 - 8
Thread-949 - 9
```

- `sleep(1)`을 사용해서 스레드의 상태를 1밀리초 동안 아주 잠깐 `RUNNABLE` → `TIMED_WAITING`으로 변경한다. 이렇게 되면 스레드는 CPU 자원을 사용하지 않고, 실행 스케줄링에서 잠시 제외된다. 1 밀리초의 대기 시간 이후 다시 `TIMED_WAITING` → `RUNNABLE` 상태가 되면서 실행 스케줄링에 포함된다.
- 결과적으로 `TIMED_WAITING` 상태가 되면서 다른 스레드에 실행을 양보하게 된다. 그리고 스케줄링 큐에 대기 중인 다른 스레드가 CPU의 실행 기회를 빨리 얻을 수 있다.

하지만 이 방식은 `RUNNABLE` → `TIMED_WAITING` → `RUNNABLE`로 변경되는 복잡한 과정을 거치고, 또 특정 시간 만큼 스레드가 실행되지 않는 단점이 있다.

예를 들어서 양보할 스레드가 없다면, 차라리 나의 스레드를 더 실행하는 것이 나은 선택일 수 있다. 이 방법은 나머지 스레드가 모두 대기 상태로 쉬고 있어도 내 스레드까지 잠깐 실행되지 않는 것이다. 쉽게 이야기해서 양보할 사람이 없는데 혼자서 양보한 이상한 상황이 될 수 있다.

yield()

실행 결과3 - yield

```
Thread-805 - 9
Thread-321 - 9
Thread-880 - 8
Thread-900 - 8
```

```
Thread-900 - 9  
Thread-570 - 9  
Thread-959 - 9  
Thread-818 - 9  
Thread-880 - 9
```

자바의 스레드가 `RUNNABLE` 상태일 때, 운영체제의 스케줄링은 다음과 같은 상태들을 가질 수 있다.

- **실행 상태(Running):** 스레드가 CPU에서 실제로 실행 중이다.
- **실행 대기 상태(Ready):** 스레드가 실행될 준비가 되었지만, CPU가 바빠서 스케줄링 큐에서 대기 중이다.

운영체제는 실행 상태의 스레드들을 잠깐만 실행하고 실행 대기 상태로 만든다. 그리고 실행 대기 상태의 스레드들을 잠깐만 실행 상태로 변경해서 실행한다. 이 과정을 계속 반복한다. 참고로 자바에서는 두 상태를 구분할 수는 없다.

`yield()`의 작동

- `Thread.yield()` 메서드는 현재 실행 중인 스레드가 자발적으로 CPU를 양보하여 다른 스레드가 실행될 수 있도록 한다.
- `yield()` 메서드를 호출한 스레드는 `RUNNABLE` 상태를 유지하면서 CPU를 양보한다. 즉, 이 스레드는 다시 스케줄링 큐에 들어가면서 다른 스레드에게 CPU 사용 기회를 넘긴다.

자바에서 `Thread.yield()` 메서드를 호출하면 현재 실행 중인 스레드가 CPU를 양보하도록 힌트를 준다. 이는 스레드가 자신에게 할당된 실행 시간을 포기하고 다른 스레드에게 실행 기회를 주도록 한다. 참고로 `yield()`는 운영체제의 스케줄러에게 단지 힌트를 제공할 뿐, 강제적인 실행 순서를 지정하지 않는다. 그리고 반드시 다른 스레드가 실행되는 것도 아니다.

`yield()`는 `RUNNABLE` 상태를 유지하기 때문에, 쉽게 이야기해서 양보할 사람이 없다면 본인 스레드가 계속 실행될 수 있다.

참고로 최근에는 10코어 이상의 CPU도 많기 때문에 스레드 10개 정도만 만들어서 실행하면, 양보가 크게 의미가 없다. 양보해도 CPU 코어가 남기 때문에 양보하지 않고 계속 수행될 수 있다. CPU 코어 수 이상의 스레드를 만들어야 양보하는 상황을 확인할 수 있다. 그래서 이번 예제에서 1000개의 스레드를 실행한 것이다.

참고: `log()` 가 사용하는 기능은 현재 시간도 획득해야 하고, 날짜 포맷도 지정해야 하는 등 복잡하다. 이 사이에 스레드의 컨텍스트 스위칭이 발생하기 쉽다. 이런 이유로 스레드의 실행 순서를 일정하게 출력하기 어렵다. 그래서 여기서는 단순한 `System.out.println()` 을 사용했다.

프린터 예제4 - yield 도입

앞서 개발한 프린터 예제를 보면 `yield()` 를 적용하기 딱 좋은 곳이 있다.

```
while (!Thread.interrupted()) {  
    if (jobQueue.isEmpty()) {  
        continue;  
    }  
    ...  
}
```

이 코드를 보면 인터럽트가 발생하기 전까지 계속 인터럽트의 상태를 체크하고 또 `jobQueue` 의 상태를 확인한다. 문제는 쉴 틈 없이 CPU에서 이 로직이 계속 반복해서 수행된다는 점이다. 1초에 while문을 수억 번 반복할 수도 있다! 결과적으로 CPU 자원을 많이 사용하게 된다.

현재 작동하는 스레드가 아주 많다고 가정해보자.

인터럽트도 걸리지 않고, `jobQueue` 도 비어있는데, 이런 체크 로직에 CPU 자원을 많이 사용하게 되면, 정작 필요한 스레드들의 효율이 상대적으로 떨어질 수 있다.

차라리 그 시간에 다른 스레드들을 더 많이 실행해서 `jobQueue` 에 필요한 작업을 빠르게 만들어 넣어주는게 더 효율적일 것이다.

그래서 다음과 같이 `jobQueue` 에 작업이 비어있으면 `yield()` 를 호출해서, 다른 스레드에 작업을 양보하는게 전체 관점에서 보면 더 효율적이다.

```
while (!Thread.interrupted()) {  
    if (jobQueue.isEmpty()) {  
        Thread.yield(); // 추가  
        continue;  
    }  
    ...  
}
```

`MyPrinterV3` 프린터 예제를 개선해서 `MyPrinterV4` 를 만들어보자.

전체 코드는 다음과 같다. 기존 코드에 `yield()` 만 추가되었다.

```
package thread.control.printer;  
  
import java.util.Queue;  
import java.util.Scanner;  
import java.util.concurrent.ConcurrentLinkedQueue;
```

```
import static util.MyLogger.log;

public class MyPrinterV4 {

    public static void main(String[] args) {
        Printer printer = new Printer();
        Thread printerThread = new Thread(printer, "printer");
        printerThread.start();

        Scanner userInput = new Scanner(System.in);
        while (true) {
            System.out.println("프린터할 문서를 입력하세요. 종료 (q): ");
            String input = userInput.nextLine();
            if (input.equals("q")) {
                printerThread.interrupt();
                break;
            }
            printer.addJob(input);
        }
    }

    static class Printer implements Runnable {
        Queue<String> jobQueue = new ConcurrentLinkedQueue<>();

        @Override
        public void run() {

            while (!Thread.interrupted()) {
                if (jobQueue.isEmpty()) {
                    Thread.yield(); //추가
                    continue;
                }

                try {
                    String job = jobQueue.poll();
                    log("출력 시작: " + job + ", 대기 문서: " + jobQueue);
                    Thread.sleep(3000); //출력에 걸리는 시간
                    log("출력 완료: " + job);
                } catch (InterruptedException e) {
                    log("인터럽트!");
                    break;
                }
            }
        }
    }
}
```

```
        }
        log("프린터 종료");
    }

public void addJob(String input) {
    jobQueue.offer(input);
}

}
```

정리