제3장 언어 설계와 파서 구현

숙명여대 창병모

구문법을 표현하는 문법

↑

귀치 적용해서 string 생성해보기

가능하면 맞는문법!

〈구문검사의 기초〉 ⇒ 파서가구현

3.1 프로그래밍 언어 S

일종의 샘플언어

샘플 프로그래밍 언어의 주요 설계 목표

(1) 간단한 교육용 언어로 쉽게 이해하고 구현할 수 있도록 설계한다.

(2) 대화형 인터프리터 방식으로도 동작할 수 있도록 설계한다.

↳ Python처럼! 하나씩 테스트해보기 좋음

(3) 프로그래밍 언어의 주요 개념을 쉽게 이해할 수 있도록 설계한다.

수식, 실행 문장, 변수 선언, 함수 정의, 예외 처리, 타입 검사 등

(4) 블록 중첩을 허용하는 블록 구조 언어를 설계한다.

전역 변수, 지역 변수, 유효범위 등의 개념을 포함.

지역변수를 선언하는 block??

샘플 프로그래밍 언어의 주요 설계 목표

(5) 실행 전에 타입 검사를 수행하는 강한 타입 언어로 설계한다.

안전한 타입 시스템을 설계하고 이를 바탕으로 타입 검사기를 구현.

(6) 주요 기능을 점차적으로 추가하면서 이 언어의

어휘분석기, 파서, AST, 타입 검사기, 인터프리터 등을 순차적으로 구현.

[언어 S의 문법]

<program> → {<command>}

<command> → <decl> | <stmt> | <function>

<decl> → <type> id [=<expr>];

<stmt> → id = <expr>;

| '{' <stmts> '}'

| if (<expr>) then <stmt> [else <stmt>]

| while (<expr>) <stmt>

| read id;

| print <expr>;

| let <decls> in <stmts> end;

<stmts> → {<stmt>}

<decls> → {<decl>}

<type> → int | bool | string

프로그래밍 언어 S

- 언어 S의 프로그램
  - 명령어(<command>)들로 구성된다.

- 명령어
  - 변수 선언(<decl>)
  - 함수 정의(<function>)
  - 실행 문장(<stmt>)

프로그래밍 언어 S

- 실행 문장
  - 대입문, 조건 if 문, 반복 while 문,
  - 입력 read 문, 출력 print 문
  - 복합문 : 괄호로 둘러싸인 일련의 실행 문장들
  - let 문: 지역 변수를 선언과 일련의 실행 문장들

- 변수 선언
  - 변수 타입은 정수(int), 부울(bool), 스트링(string)

예제 프로그램

[예제 1]

```
>> print “hello world!”;
hello world!
>> int x = -5;
>> print x;
-5
>> x = x+1;
>> print x*x;
16
>> if (x>0)
then print x; else print -x;
4
```

예제 프로그램

[예제 2]

```
let int x = 0; in
    x = x + 2;
    print x;
end;
```

[예제 3]

```
let int x; int y; in
    read x;
    if (x>0) then
        y = x;
    else y = -x;
    print y;
end;
```

예제 프로그램

[예제 4]

```
let int x=0; int y=1; in
    read x;
    while (x>0) {
        y = y * x;
        x = x-1;
    }
    print y;
end;
```

예제 프로그램

[예제 5]

```
>> fun int square(int x) return x*x;
>> print square(5);
25
```

[예제 6]

```
>> fun int fact(x)
     if (x==0) then return 1;
     else x*fact(x-1);
>> print fact(5);
120
```

3.2 추상 구문 트리

파서와 AST

- 어휘 분석기(lexical analyzer)
  - 입력 스트링을 읽어서 토큰 형태로 분리하여 반환한다.
- 파서(parser)
  - 입력 스트링을 (재귀 하강) 파싱한다.
  - 해당 입력의 AST를 생성하여 반환한다
- 추상 구문 트리(abstract syntax tree, AST)
  - 입력 스트링의 구문 구조를 추상적으로 보여주는 트리
- 인터프리터(Interpreter)
  - 각 문장의 AST를 순회하면서 각 문장의 의미에 따라 해석하여 수행한다.

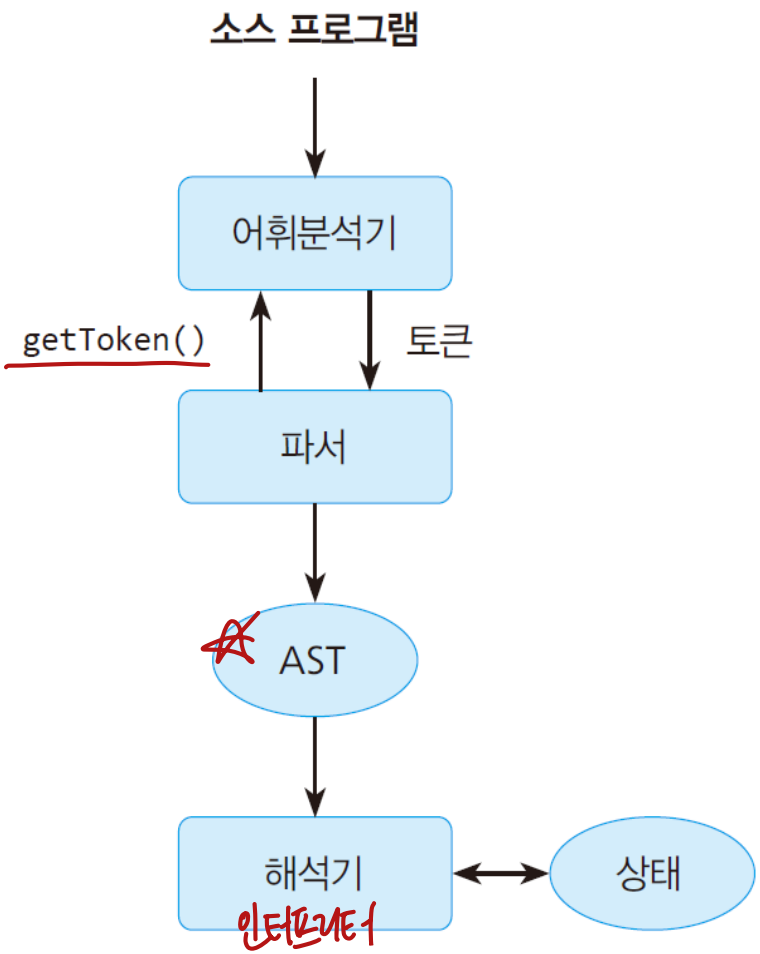


그림 3.1 어휘분석기, 파서, 해석기 구현

유도 트리

앞에서 배운 내용!

파서가 유도트리를 만들어서 쓰면 안되는가?!
→ 세세한 과정을 포함하기 때문에 복잡함
→ 요약한 AST를 사용하는 것이 좋음!

- [수식 문법 1]

  <expr> → <term> {+ <term>}

  <term> → <factor> {* <factor>}

  <factor> → [-] (number | id | '('<expr>')')

- a + b * c의 유도 과정

  <expr>

  => <term> + <term>

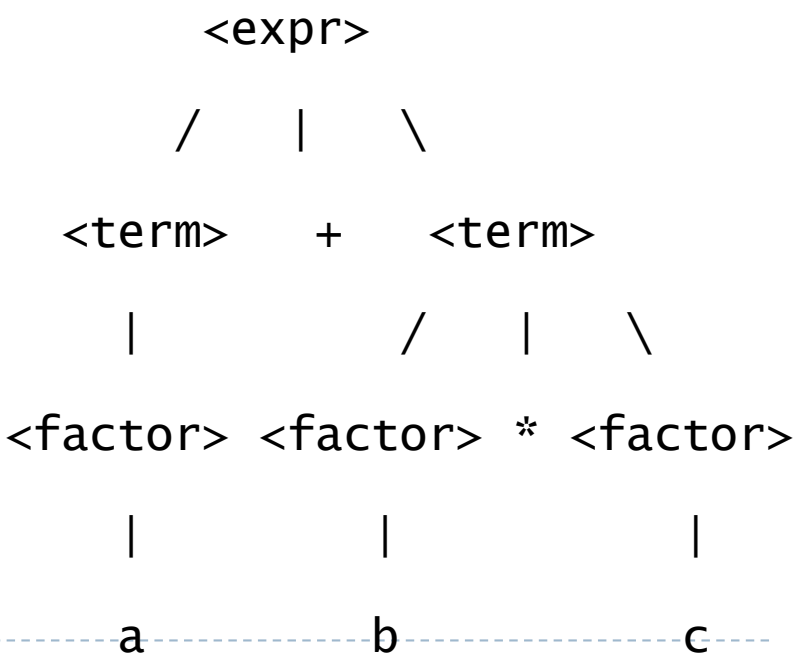
  => <factor> + <term>

  => <factor> + <factor> * <factor>

  => a + b * c

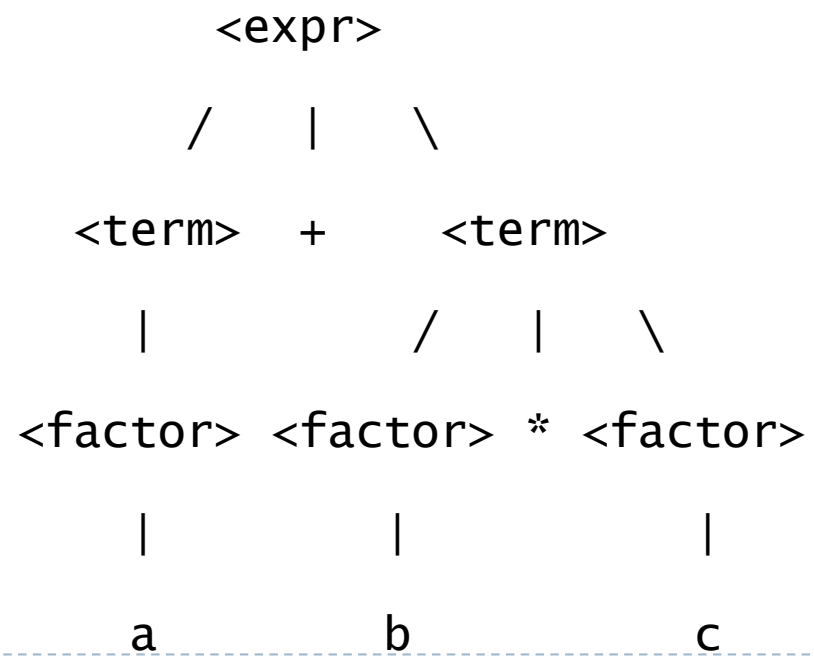
- 실제 파싱에서 a, b, c와 같은 변수 이름들은 모두 id로 처리되나 여기서는 이해를 위해 이름을 그대로 사용함

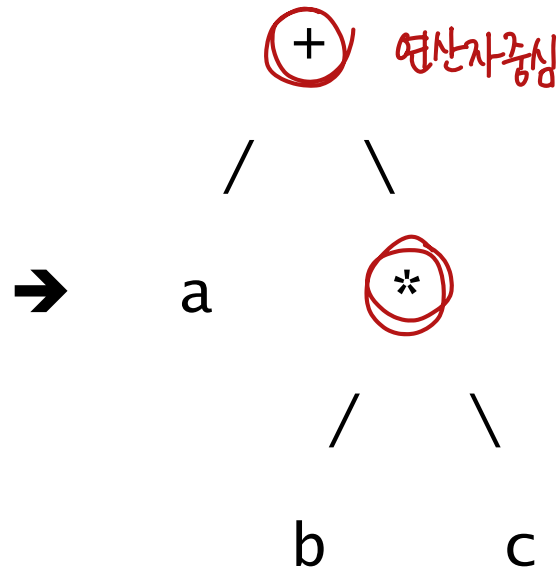
유도 트리



추상 구문 트리

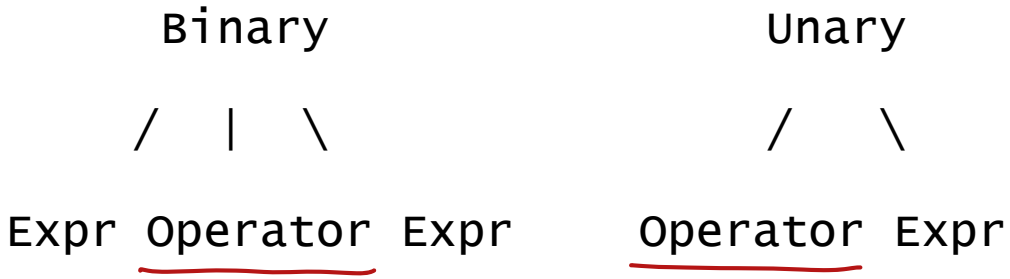
- 추상 구문 트리(abstract syntax tree, AST)
  - 입력 스트링의 구문 구조를 추상적으로 보여주는 트리
  - 실제 유도 트리에 나타나는 세세한 정보를 모두 나타내지는 않음.
- 수식의 AST
  - 연산을 중심으로 요약해서 표현



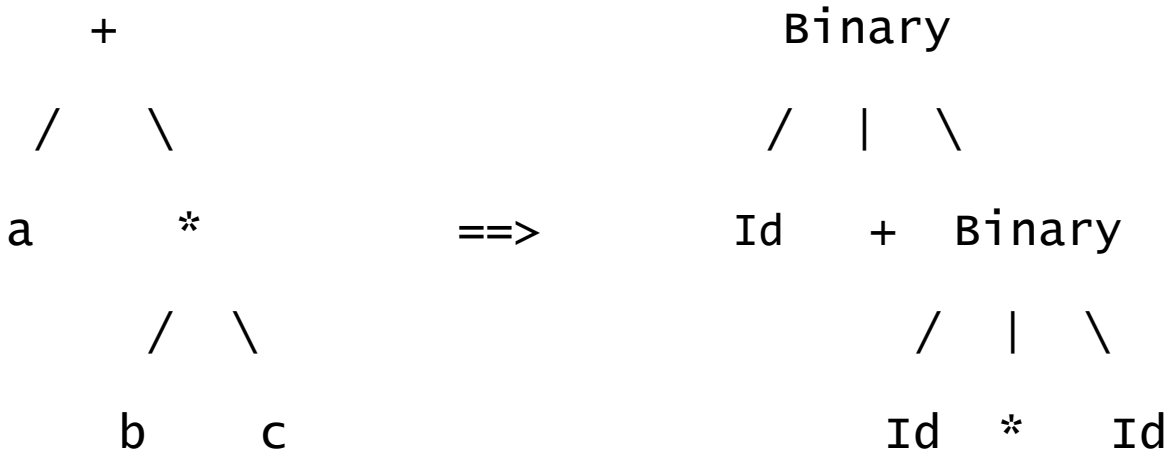


수식 Expr의 AST

- 수식(Expr)의 AST
  - 이항연산(Binary) 수식과 단항연산(Unary) 수식으로 구분하여 구현



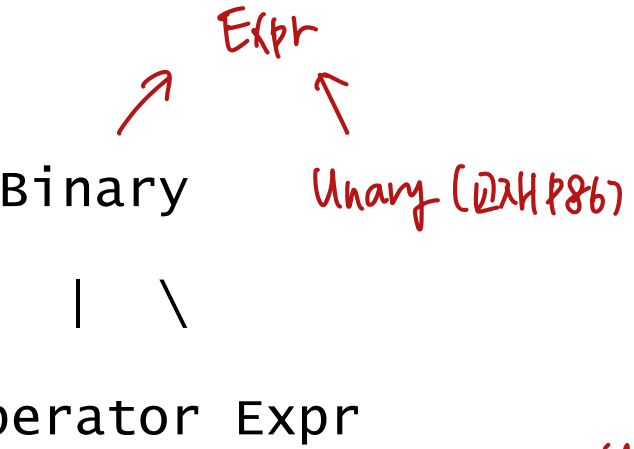
- 예 : a + b * c



수식의 AST 구현

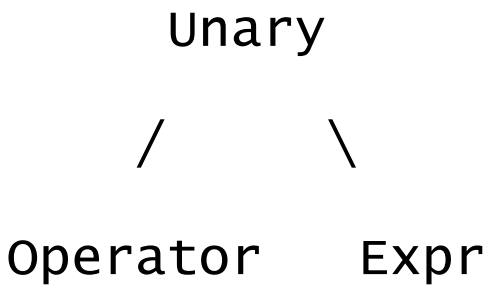
- 이항 연산(Binary) 수식의 AST 구현

```
class Binary extends Expr {
    // Binary = Operator op; Expression expr1, expr2
    Operator op;
    Expr expr1, expr2;
    Binary (Operator o, Expr e1, Expr e2) {
        op = o; expr1 = e1; expr2 = e2;
    } // binary
}
```



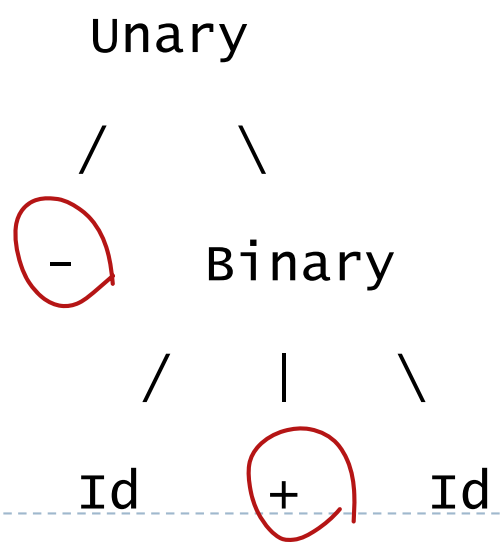
단항 연산 수식의 AST

- 단항 연산(Unary) 수식의 AST



산술연산뿐만아니라
논리/비교연산도 AST 가능!

- 예 : -(a+b)의 AST



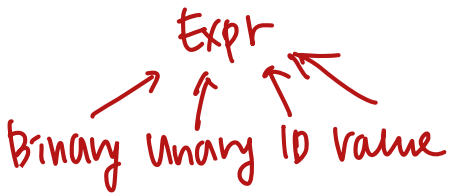
수식(Expr)의 AST

- 어떤 것들이 수식이 될 수 있는가?
  - 이항 연산(Binary), 단항 연산(Unary)
  - 그 외의 수식은 없는가?
  - 식별자(Identifier), 값(Value)도 하나의 수식이 될 수 있다.

↳ number, true/false, …

- 수식(Expr)의 AST 노드
  - Expr = Identifier | Value | Binary | Unary

식별자 → x
값 → 2



변수 선언의 AST

- 구문법

  <type> id = <expr>

- AST

  - Decl = Type type; Identifier id; Expr expr

선언

```
          Decl
        /  |  \
   Type  Id  Expr
```

안내올수있지만 표현가능하게 AST 디자인
→ 없으면 null (혹은 Integer의 경우 0으로 초기화하도록?)

- 예 int x = 0;

```
          Decl
        /  |  \
   Type  Id  Value
```

대입문 Assignment의 AST

- 구문법
  - id = <expr>;

- AST
  - Assignment = Identifier id; Expr expr

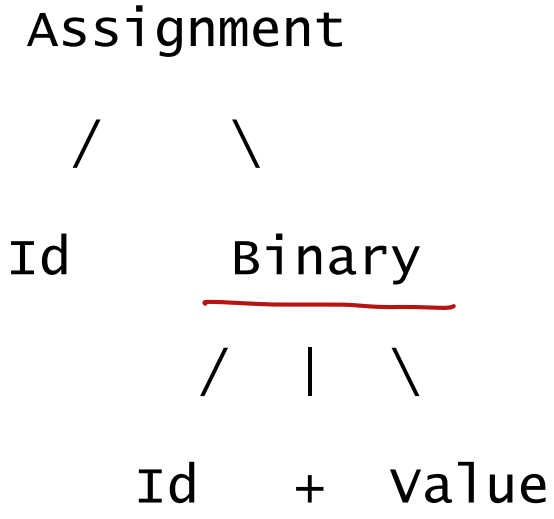
```
Assignment
   /    \
Id      Expr
```

```
class Assignment extends Stmt {
    Identifier id;
    Expr expr;
    Assignment (Identifier t, Expr e) {
        id = t;
        expr = e;
    }
}
```

대입문 Assignment 문의 AST

- 예

```
x = x + 1;
```



Read 문, Print 문의 AST

- read, print 문의 구문법

  read id; print <expr>;

- read, print 문의 AST

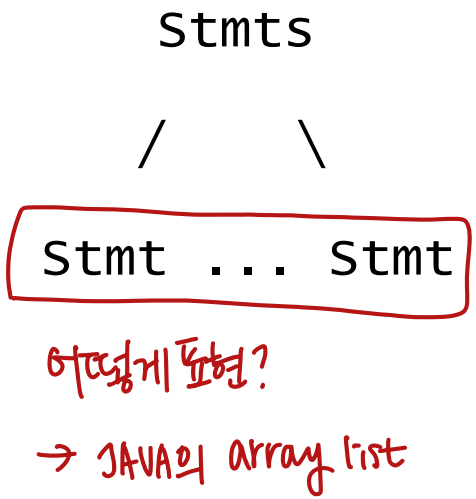
복합문의 AST

- 구문법 — 일종의 statement

  <stmts> → {<stmt>}

- AST

  Stmts = Stmt* — 여러개




```
class Stmts extends Stmt {
    public ArrayList<Stmt> stmts =
    new ArrayList<Stmt>( );
}
```

ArrayList ↓

크기제한이 없음

원소에 접근할때 for each loop 사용

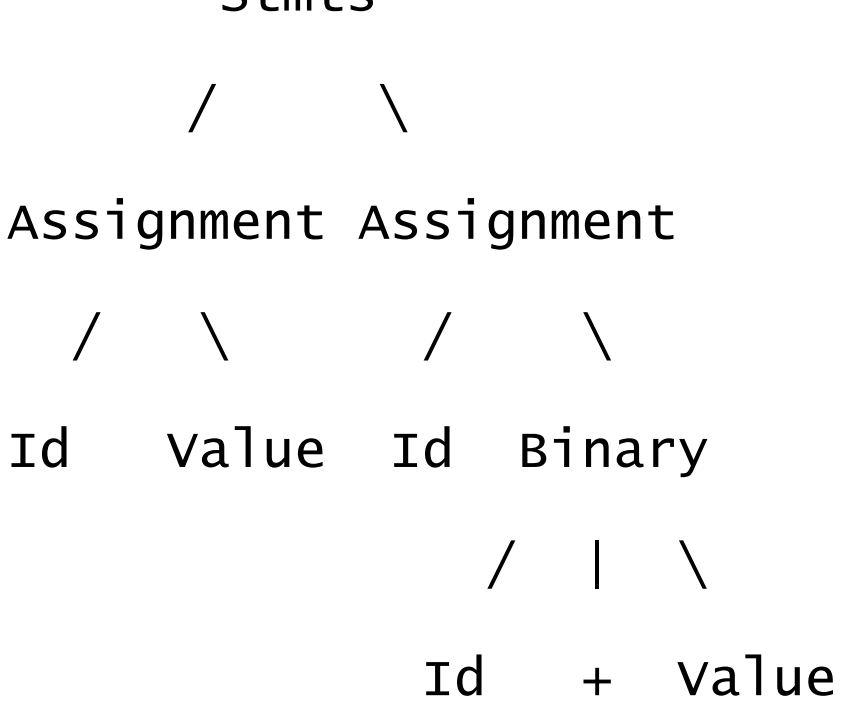
↓

for(int i : arrayName){...}

복합문의 AST

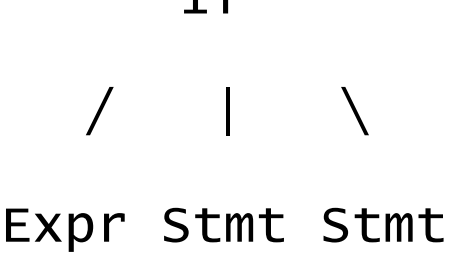
- 예

```
{
   x = 0;
   x = x + 1;
}
```



If 문의 AST

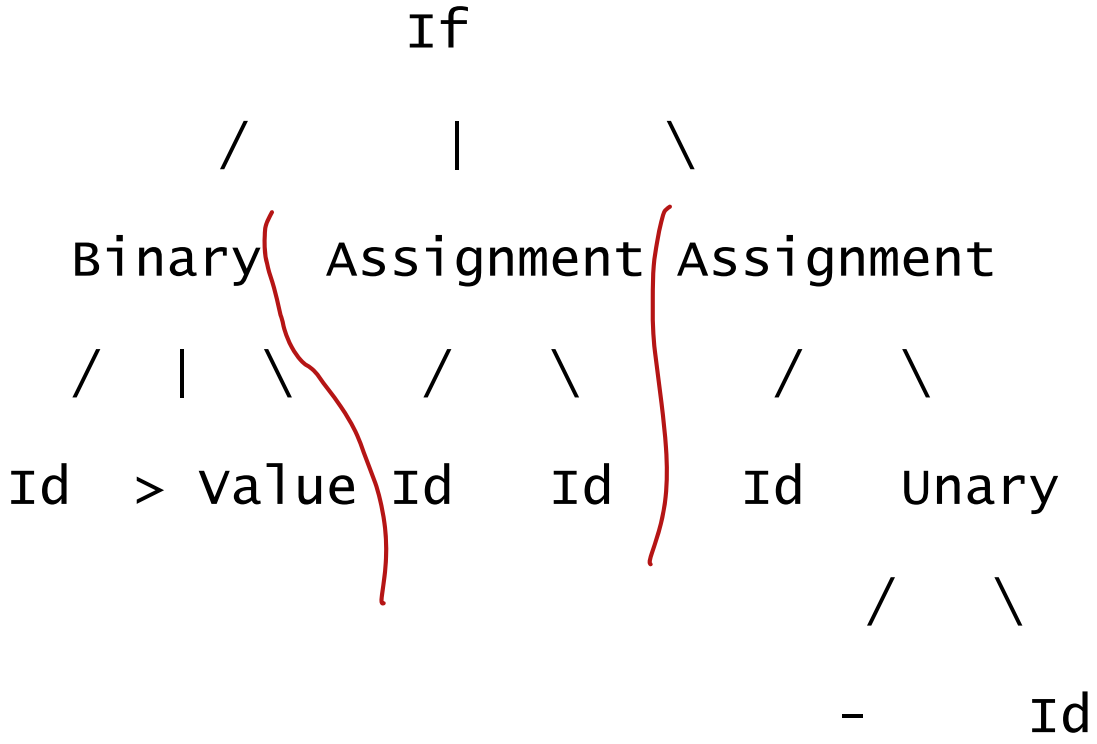
- 구문법
  - if (<expr>) then <stmt> [else <stmt>]
- AST
  - If = Expr expr; Stmt stmt1; Stmt stmt2



If 문의 AST 예

- 예

```
if (x > 0) then y = x;
else y = -x;
```

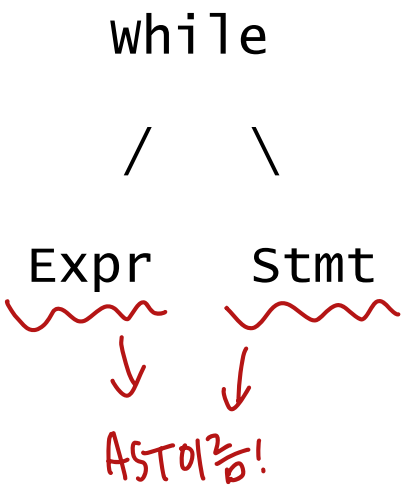


While 문의 AST

- 구문법
  - while '('<expr>')'<stmt>

꼭 필요한 경우만 '' 써놨지만 원칙적으로는 모든 경우에 '' 붙여야함!

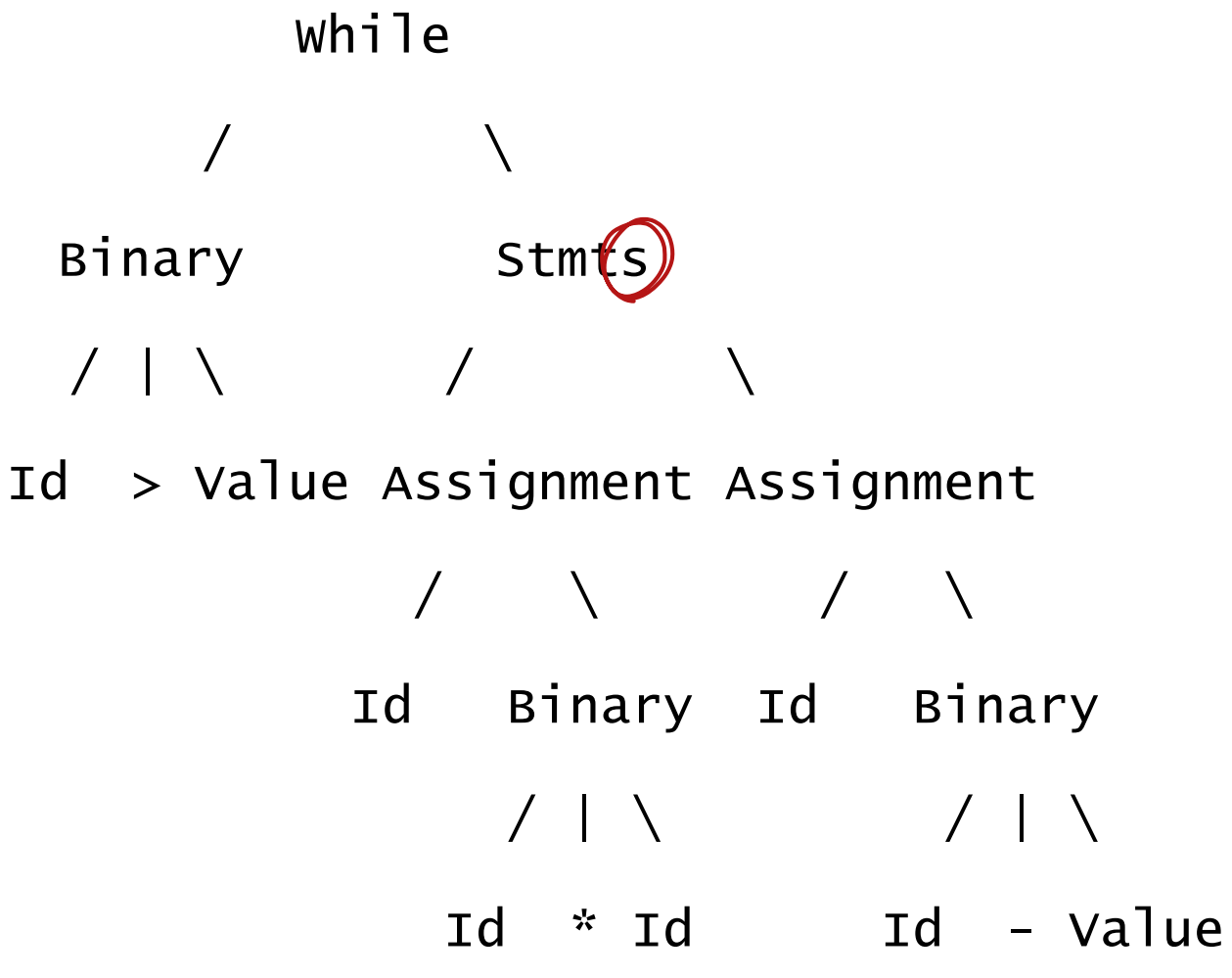
- AST
  - While = Expr expr; Stmt stmt;



While 문의 AST 예

- 예

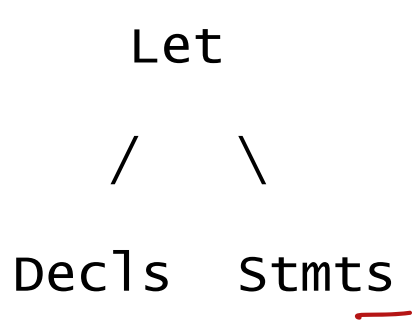
```
while (x > 0) {
    y = y * x;
    x = x - 1;
}
```



Let 문의 AST

↳ 지역변수선언을위함.

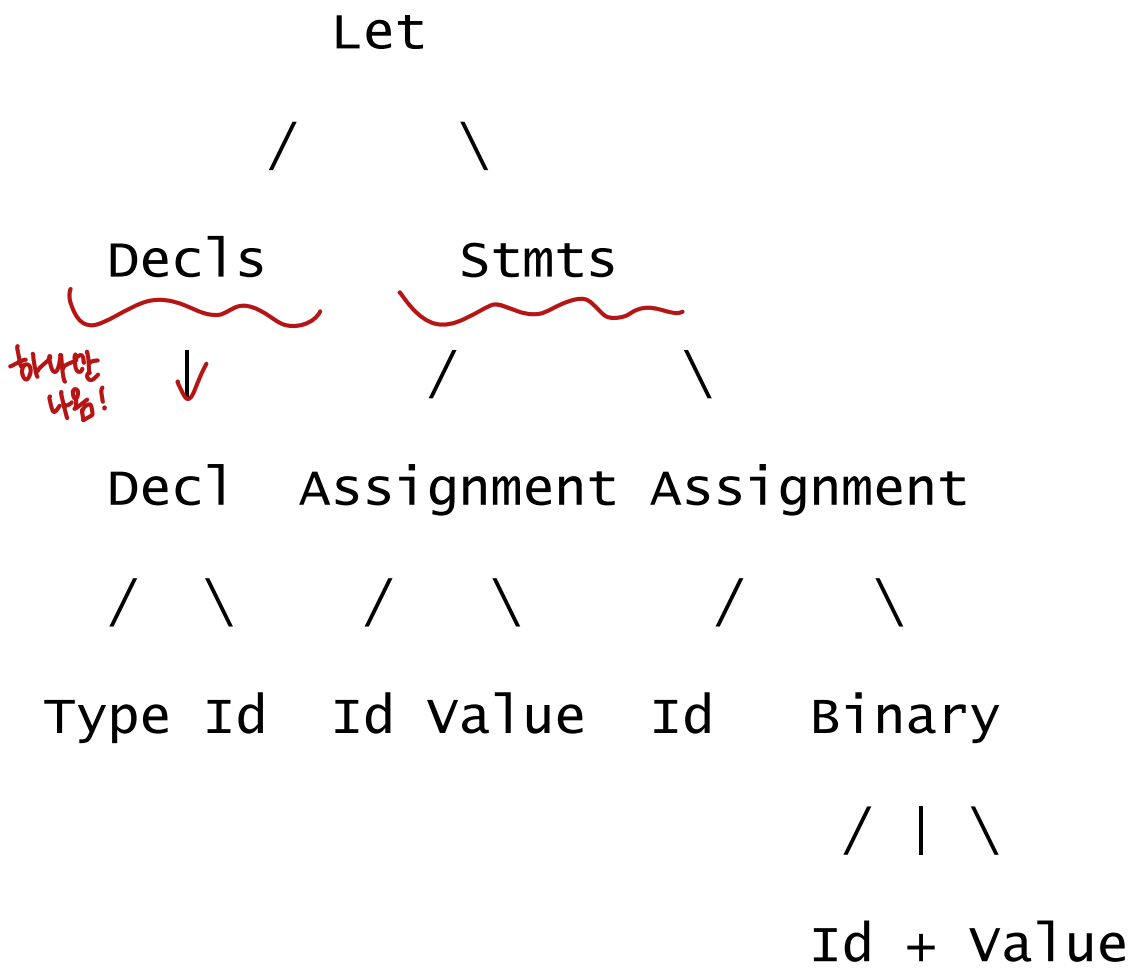
- 구문법
  - let <decls> in <stmts> end
- AST
  - Let = Decls decls; Stmts stmts;



Let 문의 AST 예

- 예

```
let int x; in
    x = 0;
    x = x + 1;
end;
```



3.3 어휘 분석기 구현

어휘분석과 토큰

- 어휘 분석(lexical analysis)
  - 소스 프로그램을 읽어 들여 토큰(token)으로 분리
  - 어휘 분석기(lexical analyzer) 또는 스캐너(scanner)

- 토큰
  - 문법에서 터미널 심볼에 해당하는 문법적 단위
  - 식별자(identifier)
  - 상수 리터럴(constant) → number, string 등
  - 예약어(keyword) → if, else, while, …
  - 연산자(operator)
  - 구분자(delimiter) → ; 등

예약어

- 예약어 또는 키워드
  - 언어에서 미리 그 의미와 용법이 지정되어 사용되는 단어

- 언어 S의 예약어 이름과 해당 스트링
  - BOOL("bool"), TRUE("true"), FALSE("false"), IF("if"),
  - THEN("then"), ELSE("else"), INT("int"), STRING("string"),
  - WHILE("while"), VOID("void"), FUN("fun"), RETURN("return"),
  - LET("let"), IN("in"), END("end"), READ("read"), PRINT("print")

"bool"에 해당하는 토큰 BOOL

식별자

- 식별자
  - 변수 혹은 함수의 이름을 나타내며 토큰 이름은 ID라고 하자.
  - 식별자는 첫 번째는 문자이고 이어서 0개 이상의 문자 혹은 숫자들로 이루어진 스트링

- 정규식(regular expression) 형태로 표현
  - ID = letter(letter | digit)* letter 뒤에 letter나 digit이 여러번
  - letter = [a-zA-Z] 대문자~소문자
  - digit = [0-9] 숫자

정규식

[정의 1] M과 N이 정규식이면 다음은 모두 정규식이다.

(1) x　　문자 x를 나타낸다.
(2) M | N　　M 또는 N을 표현한다.
(3) MN　　M 다음에 N이 나타나는 접합을 표현한다.
(4) M*　　M이 0번 이상 반복됨을 표현한다.

추가적으로 다음과 같은 간단 표기법을 사용할 수 있다.

M^+　　MM*를 나타내며 M이 1번 이상 반복됨을 표현한다.
M?　　M이 0번 또는 1번 나타남을 표현한다.
[..]　　문자 집합을 나타낸다.

정규식

- 문자 집합 예
  - 모음 집합 [aeiou] = a | e | i | o | u
  - 대문자 집합 [A-Z]
  - 숫자 집합 [0-9]

- 예
  - letter = [a-zA-Z]
  - digit = [0-9]
  - 정수리터럴 NUMBER = $digit^+$
    하나 이상의 숫자들로 이루어진 스트링
  - 식별자 ID = letter(letter | digit)*

연산자/구분자

- 연산자
  - 언어 S에서 사용되는 연산자
  - ASSIGN("="), EQUAL("=="), LT("<"), LTEQ("<="), GT(">"),
  - GTEQ(">="), NOT("!"), NOTEQ("!="), PLUS("+"), MINUS("-"),
  - MULTIPLY("*"), DIVIDE("/"), AND("&"), OR("|")
- 구분자
  - 언어 S에서 사용되는 구분자
  - LBRACE("{"), RBRACE("}"), LBRACKET("["), RBRACKET("]"),
  - LPAREN("("), RPAREN(")"), SEMICOLON(";"), COMMA(","),
  - EOF("<<EOF>>")

토큰 구현

나열형 → class처럼 사용할수있음

```
enum Token {
    BOOL("bool"), TRUE("true"), FALSE("false"), IF("if"),
    THEN("then"), ELSE("else"), INT("int"), STRING("string"),
    WHILE("while"), VOID("void"), FUN("fun"), RETURN("return"),
    LET("let"), IN("in"), END("end"), READ("read"), PRINT("print"),
    EOF("<<EOF>>"),
    LBRACE("{"), RBRACE("}"), LBRACKET("["), RBRACKET("]"),
    LPAREN("("), RPAREN(")"), SEMICOLON(";"), COMMA(","),
    ASSIGN("="), EQUAL("=="), LT("<"), LTEQ("<="), GT(">"),
    GTEQ(">="), NOT("!"), NOTEQ("!="), PLUS("+"), MINUS("-"),
    MULTIPLY("*"), DIVIDE("/"), AND("&"), OR("|"),
    ID(""), NUMBER(""), STRLITERAL("");
    private String value;   → field
    private Token (String v) { value = v; }   → method
    public String value( ){ return value; }
    ...
```

ID, NUMBER 같은 토큰은 실제 값을 알아야 사용할수 있음

어휘분석기 getToken 메소드

- getToken( ) 메소드
  - 호출될 때마다 다음 토큰(token)을 인식하여 리턴한다.

- (1) 읽은 문자가 알파벳 문자: 식별자 아니면 예약어
  - 다음 문자가 알파벳 문자나 숫자인 한 계속해서 다음 문자를 읽는다.
  - 읽은 문자열이 식별자인지 예약어인지 구별하여 해당 토큰을 리턴한다.

- (2) 읽은 문자가 숫자: 정수리터럴 NUMBER
  - 다음 문자가 숫자인 한 계속해서 읽어 정수리터럴을 인식하고
  - 이를 나타내는 NUMBER 토큰을 리턴한다.

- (3) 나머지는 읽은 문자에 따라 연산자, 구분자 등을 인식하여 리턴한다.

어휘 분석

- Lexer
  - 입력을 읽어서 호출될 때마다 하나의 토큰을 반환한다.
  - 키워드, 수, 변수 이름, 기타 문자 처리한다.

```
public class Lexer {
    . . .
    public Token getToken( ) {
        • 예약어(예 if)     return Token.IF;
                  …
        • 예약어(예 print) return Token.PRINT;
        • 정수                 return Token.NUMBER.setValue(s);
        • 식별자               return Token.ID.setValue(s);
        • 연산자(예 +)     return Token.PLUS;
        • 구분자(예 ;)     return Token.SEMICOLON;
    }
}
```

실제 ID의 값 셋팅

어휘분석기능 제공됨!

3.4 파서 구현

어휘분석기가 읽은 토큰을 파서에게 줌

파서의 구성

- 어휘 분석기(lexical analyzer)
  - 입력 스트링을 읽어서 토큰 형태로 분리하여 반환한다.
- 파서(parser)
  - 입력 스트링을 재귀 하강 파싱한다.
  - 해당 입력의 AST를 생성하여 반환한다
- 추상 구문 트리(abstract syntax tree, AST)
  - 입력 스트링의 구문 구조를 추상적으로 보여주는 트리

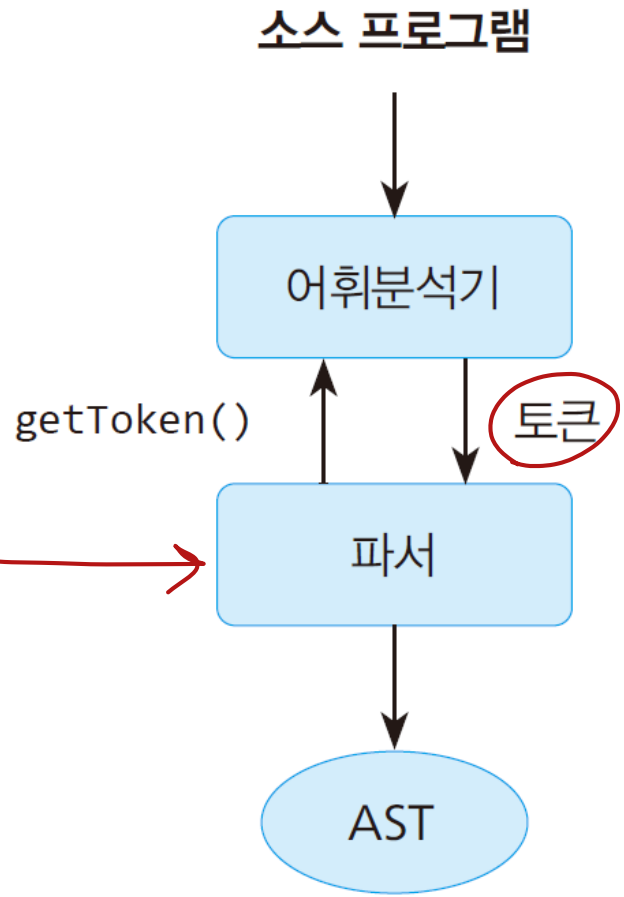


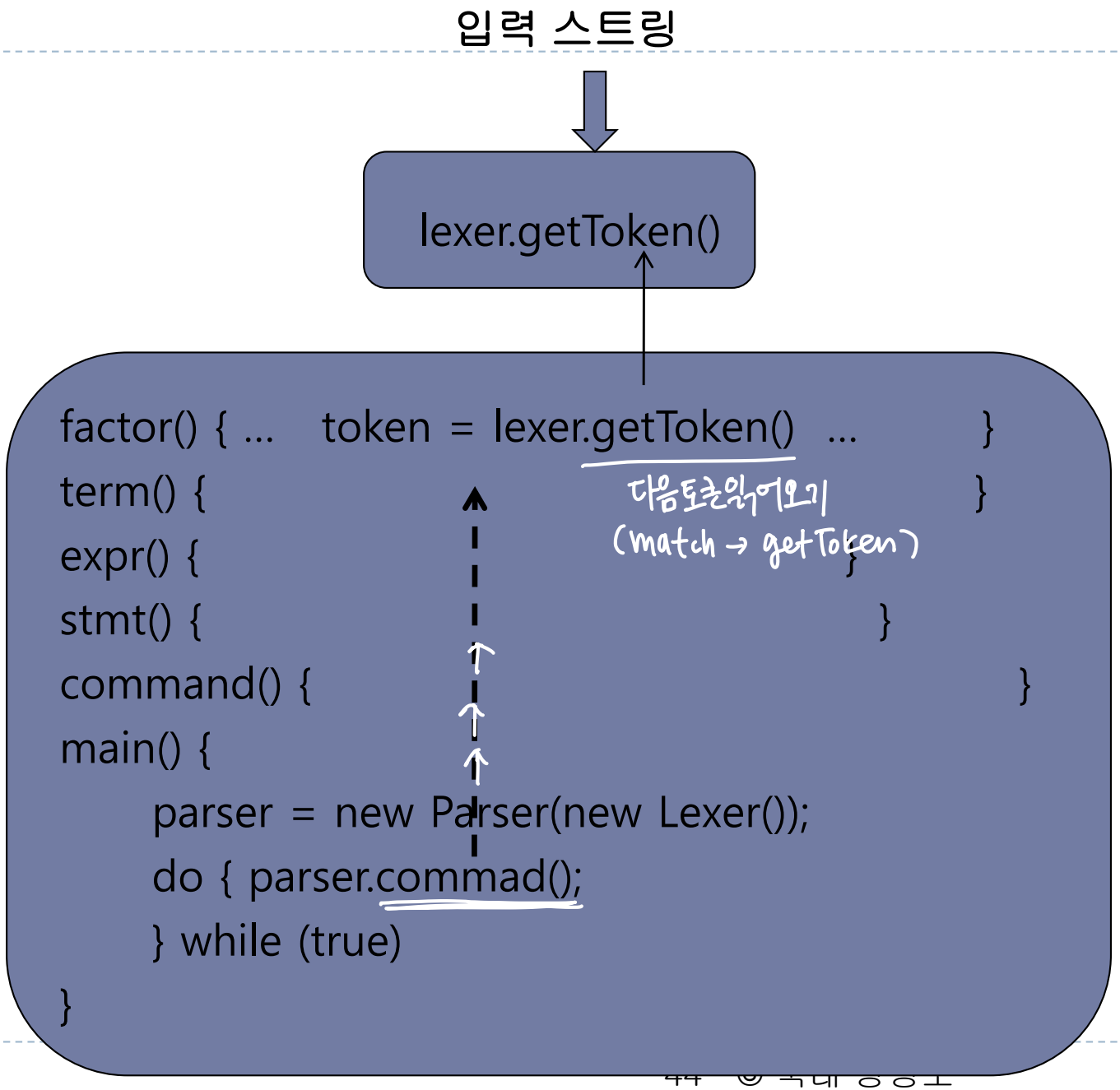
그림 3.2 파서의 구조

언어 S의 파서 구성

↳ (command 들어가줘짐
(변수선언 / 실행문장)

Lexer

Parser



파서

- 입력 스트링을 명령어 단위로 파싱하면서 AST를 생성하여 반환한다.

```
public class Parser {
    Token token;          // 다음 토큰 저장 변수
    Lexer lexer;

    public Parser(Lexer l) {
        lexer = l;
        token = lexer.getToken();      // 처음 토큰 읽기
    }
    public static void main( ) {  // <program> -> { <command> }
        parser = new Parser(new Lexer());
        System.out.print(">> ");
        do {
            Command command = parser.command();
            System.out.print("₩n>> ");
        } while(true);
    }
```

lexer가 String을 읽어서 token으로 뽑아 → token 변수에 저장

→ 다음 token을 항상 미리 읽어둠

→ 주로 변수선언 / 실행문장

파서

- Command command( )
  - 명령어(변수 선언, 함수 정의, 문장)를 읽고 파싱하면서 해당 AST를 구성하여 반환한다.
  - <command> → <decl> | <stmt> | <function>
    선언 문장 함수정의
- Decl decl( )
  - 변수 선언을 읽고 파싱하면서 해당 AST를 구성하여 반환한다.
- Stmt stmt( )
  - 각 문장을 읽고 파싱하면서 해당 AST를 구성하여 반환한다.
- Expr expr( )
  - 수식을 읽고 파싱하면서 해당 AST를 구성하여 반환한다.

파서 구현: 명령어

```
public Command command( ) {
    // <command> -> <decl> | <function> | <stmt>
    if (isType()) {
        Decl d = decl( );                    // 변수 선언 파싱
        return d;
    }
    if (token == Token.FUN) {
        Function f = function( );            // 함수 정의 파싱
        return f;
    }
    if (token != Token.EOF)) {
        Stmt s = stmt( );                    // 실행 문장 파싱
        return s;
     }
    return null;
}
```

type 이름인 경우 → 변수선언

↳ End Of File

파서 구현: 변수 선언

- 구문법

<decl> → <type> id [=<expr>];
<type> → int | bool | string

빨간색글씨 : 문법을 그대로 옮긴것!

```
private Decl decl () {
    Type t = type();                    // 타입 이름 파싱
    String id = match(Token.ID);        // 변수 이름(식별자) 매치
    Decl d = null;
    if (token == Token.ASSIGN) {
        match(Token.ASSIGN);            // 대입 연산자 매치
        Expr e = expr( );               // 초기화 수식 파싱
        d = new Decl(id, t, e);         // 초기화 있는 AST 생성
    } else d = new Decl(id, t);         // 초기화 없는 AST 생성
    match(Token.SEMICOLON);             // 세미콜론 매치
    return d;                           // AST 리턴
}
```

넌터미널

터미널이니까 match

identifier, type 이름, expression

Statement 파싱

```
Stmt stmt( ) {
    // <stmt> -> <assignment> | <ifStmt> | <whileStmt> | '{' <stmts> '}' | <letStmt> | ...
    Stmt s;
    switch (token) {
    case ID:                    // 대입문 파싱: assignment
        s = assignment( );  return s;
    case LBRACE:
        match(Token.LBRACE); s = stmts( ); match(Token.RBRACE);
        return s;
    case IF:                    // if 문 파싱: ifStmt
        s = ifStmt( );  return s;
    case WHILE:                 // while 문 파싱: whileStmt
        s = whileStmt( ); return s;
    case LET:                   // let 문 파싱: letStmt
        s = letStmt( ); return s;
    ...
    default: error("Illegal statement"); return null;
    }
}
```

파서 구현: Assignment 문

- 구문법
  - <assignment> → id = <expr>;
- 파서 구현

```
Assignment assignment() {
  √ Identifier id = new Identifier(match(Token.ID));  // 식별자 매치
    match(Token.ASSIGN);          // 대입 기호 '=' 매치
  √ Expr e = expr( );             // 수식(expr) 파싱
    match(Token.SEMICOLON);       // 세미콜론
    return new Assignment(id, e); // AST 노드 생성하여 리턴
}
```

match 함수

- match( )
  - 현재 토큰을 매치하고 다음 토큰을 읽는다

```
private String match(Token t) {
    String value = token.value();
    if (token == t)
        token = lexer.getToken();
    else
        error(t);
    return value;
}
```

파서 구현: 복합문

- 구문법 (문장만여러개파싱)

  <stmts> → { <stmt> }

- 파서 구현

```
Stmts stmts ( ) {
    Stmts ss = new Stmts( );        //  빈 복합문 AST 생성
    while((token != Token.RBRACE) && (token != Token.END))
        ss.stmts.add(stmt( ));      // 문장 파싱하고 그 AST를 복합문 AST에 추가
    return ss;                      // 복합문 AST 리턴
}
```

(ss.stmts → array list)

(return ss → array list로 저장)

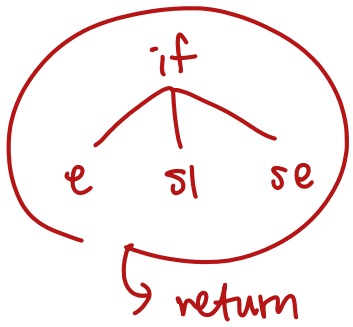
파서 구현: If 문

- 구문법

  <ifStmt> → if (<expr>) then <stmt>
  [else <stmt>]

- 파서 구현

```
If ifStmt ( ) {
    match(Token.IF);
    match(Token.LPAREN);
    Expr e = expr( );
    match(Token.RPAREN);
    match(Token.THEN);
    Stmt s1 = stmt( );
    Stmt s2 = new Empty();
    if (token == Token.ELSE){
        match(Token.ELSE);
        s2 = stmt( );
    }
    return new If(e, s1, s2);
}
```



else가 나오면 S2에 넣음
안나오면 empty state인 그대로둠

파서 구현: While 문

- 구문법

  <whileStatement> → while (<expr>) <stmt>

- 파서 구현

```
While whileStmt ( ) {
    match(Token.WHILE);          // while 토큰 매치
    match(Token.LPAREN);         // 왼쪽 괄호 매치
    Expr e = expr( );            // 수식 파싱
    match(Token.RPAREN);         // 오른쪽 괄호 매치
    Stmt s = stmt( );            // 본체 문장 파싱
    return new While(e, s);      // AST 구성 및 리턴
}
```

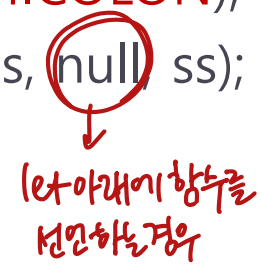
let-문 파싱

- 구문법

  <letStatement> → let <decls> in <stmts> end;

- 파서 구현

```
Let letStatement () {
    match(Token.LET);                  // let 토큰 매치
    Decls ds = decls( );               // 변수 선언 파싱
    match(Token.IN);                   // in 토큰 매치
    Stmts ss = stmts( );  // 본체 문장들 파싱
    match(Token.END);   // end 토큰 매치
    match(Token.SEMICOLON);    // 세미콜론 매치
    return new Let(ds, null, ss);    // AST 구성 및 리턴
}
```



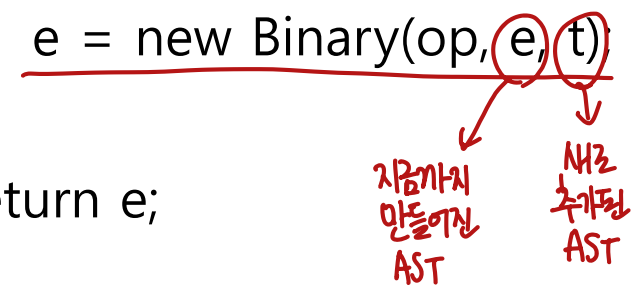
파서 구현: 수식

- 구문법

  <aexp> → <term> {+ <term> | - <term>}

- 파서 구현
  - 수식을 파싱하고 수식을 위한 AST를 구성하여 리턴한다.

```
Expr aexp() {
    Expr e = term( );                    // 첫번째 항(term) 파싱
    while (token==Token.PLUS || token== Token.MINUS) {   // + 혹은 -
        Operator op = new Operator(match(token));        // 연산자 매치
        Expr t = term( );                // 다음 항(term) 파싱
        e = new Binary(op, e, t);        // 수식 AST 구성
    }
    return e;                            // 수식 AST 리턴
}
```



파서 구현: term 함수

- 구문법

  <term> → <factor> {* <factor> | / <factor>}

- 파서 구현
  - 항(term)을 파싱하고 항(term)을 위한 AST를 구성하여 리턴한다.

```
Expr term () {
    Expr t = factor( );                  // 첫번째 인수(factor) 파싱
    while (token==Token.MULTIPLY || token==Token.DIVIDE) { // * 혹은 /
        Operator op = new Operator(match(token));          // 연산자 매치
        Expr f = factor( );              // 다음 인수(factor) 파싱
        t = new Binary(op, t, f);        // 항의 AST 구성
    }
    return t;                            // 항의 AST 리턴
}
```

파서 구현: factor 함수

```
Expr factor() {
    Operator op = null;
    if (token == Token.MINUS)
        Operator op = new Operator(match(token));  // 단항 – 연산자 매치
    Expr e = null;
    switch(token) {
    case ID:
        Identifier v = new Identifier(match(Token.ID));  // 식별자 매치
        e = v;  break;
    case NUMBER: case STRLITERAL:
        e = literal( );  break;                  // 정수 혹은 스트링 리터럴 파싱
    case LPAREN:
        match(Token.LPAREN);                     // 왼쪽 괄호 매치
        e = expr( );                             // 괄호 수식 파싱
        match(Token.RPAREN);                     // 오른쪽 괄호 매치
        break;
    default:  error("Identifier | Literal");
    }
    if (op != null) return new Unary(op, e);  // 단항 연산 AST 구성 및 리턴
    else return e;
}
```

실습 #2 언어 S의 파서 구현

재귀하향다상방식

1. 언어 S의 파서

실습1 : 수식을 파싱해서 값 계산 후 출력
→ 실습2 : 파싱해서 AST를 리턴

(1) 이 언어의 추상 구문 트리(AST)를 기초로 파서 구현을 완성한다.

- 수식 또는 문장을 파싱하면서 AST를 구성하여 리턴한다.
- 비교 및 논리 연산 추가 (binary AST 생성 후 return)
- while, read, print 문 등 추가

(2) AST 노드를 트리 형태로 출력한다.

- 각 AST 노드에 대해서 들여쓰기 레벨을 이용하여 트리 형태로 출력하는 display 메소드를 구현하여 AST를 출력한다.

실습 #2 언어 S의 파서 구현

- **언어 S를 위한 문법(EBNF)**

<expr> → <bexp> {& <bexp> | '|' <bexp>} | !<expr> | true | false

<bexp> → <aexp> [<relop> <aexp>]

<relop> → == | != | < | > | <= | >=

<aexp> → <term> {+ <term> | - <term>}

<term> → <factor> {* <factor> | / <factor>}

<factor> → [-] (number | (<aexp>) | id) | strliteral

```
private Expr aexp () {
        // <aexp> -> <term> { + <term> | - <term> }
        Expr e = term();
        while (token == Token.PLUS || token == Token.MINUS) {
            Operator op = new Operator(match(token));
            Expr t = term();
            e = new Binary(op, e, t);
        }
        return e;
}
```

실습 #2 언어 S의 파서 구현

- **언어 S를 위한 문법(EBNF)**

<program> → {<command>}
<command> → <decl> | <stmt>
<decl> → <type> id [=<expr>];
<stmt> → id = <expr>;
| '{' <stmts> '}'
| if (<expr>) then <stmt> [else <stmt>]
| while (<expr>) <stmt>
| read id;
| print <expr>;
| let <decls> in <stmts> end;
<stmts> → {<stmt>}
<decls> → {<decl>}
<type> → int | bool | string

```
private Stmt assignment(){
        // <assignment> -> id = <expr>;
        Identifier id = new identifier(match(Token.ID));
        match(Token.ASSIGN);
        Expr e = expr(); → expression의 AST return
        match(Token.SEMICOLON);
        return new Assignment(id, e);
}
```

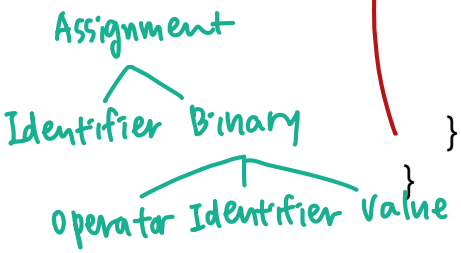
assignment의 AST node를 return

→ 구현해야할것!

잘가서 마저듣기

AST display : AST.java

```
>> int x=0;
Decl
  Type: int
  Identifier: x
  Value: 0
>> x = x+10;
Assignment
  Identifier: x
  Binary
    Operator:+
    Identifier: x
    Value: 10
>> let int y; in
    y = y + 1;
    x = x + y;
    end;
Let
  Decls
    Decl
      Type: int
      Identifier: y
  Stmts
    Assignment ✓
      ...
    Assignment ✓
      ...
```




```
class Indent {
    public static void display(int level, String s) {
        String tab = "";
        System.out.println();
        for (int i=0; i<level; i++)
            tab = tab + "  ";
        System.out.print(tab + s);
    }
}

abstract class Command {
    // Command = Decl | Function | Stmt
    Type type =Type.UNDEF;
    public void display(int l) { }
}
```

파싱된 AST를 출력

AST node의 이름

child → expression

레벨에 따라 출력

AST 노드중 가장 top에 있음!
; 변수선언 / 실행문장

아무것도 하지 않는 display 메서드
⇒ 이 display 메서드가 내려가며 상속되므로 재정의해서 사용하면 됨
(재정의하지 않으면 아무것도 하지 않는 display 그대로)

AST display : AST.java

abstract class로 되어있음
→ expression에 대한 display를 구현할 필요는 X

```
class Assignment extends Stmt {
    // Assignment = Identifier id; Expr expr
    Identifier id;
    Expr expr;
    Assignment (Identifier t, Expr e) {
        id = t;
        expr = e;
    }

    public void display(int level) {
        Indent.display(level, "Assignment");
        id.display(level+1);
        expr.display(level+1);
    }
}

class Let extends Stmt {
    // Let = Decls decls; Functions funs; Stmts stmts;
   ...
    public void display(int level) {
        Indent.display(level, "Let");
        decls.display(level+1);
        if (funs != null)
            funs.display(level+1);
        stmts.display(level+1);
    }
}
```

binary / unary / identifier / value

```
class Binary extends Expr {
// Binary = Operator op; Expr expr1; Expr expr2;
    Operator op;
    Expr expr1, expr2;

    Binary (Operator o, Expr e1, Expr e2) {
        op = o; expr1 = e1; expr2 = e2;
    } // binary

    public void display(int level) {
        Indent.display(level, "Binary");
        op.display(level+1);
        expr1.display(level+1);
        expr2.display(level+1);
    }
}
```

레벨만큼 indentation

child node들

AST 노드마다 display를 만들어서 AST를 출력하도록

AST display : Parser.java

```
...

Command command = null;
try {
        command = parser.command();
        if (command != null)
            command.display(0);
} catch (Exception e) {
        System.err.println(e);
}

...
```

command를 하나씩 파싱
→ AST가 이것을 가리킴

top레벨(0)로