

# 콘크리트 슬래브 표면의 균열 정보 분석

노대경\* · 김광백\*\*

\*신라대학교 컴퓨터공학과

\*\*신라대학교 컴퓨터정보공학부

## Cracks Information Analysis of Concrete Slab Surface

Dae-Kyeung No\* · Kwang-Beak Kim\*\*

\*Dept. of Computer Engineering, Silla University

\*\*Division of Computer and Information Engineering, Silla University

### 요 약

콘크리트 슬래브 표면의 영상처리 목적은 구조물의 균열발생을 최소화 하고 발생한 균열에 대해서 지속적인 기록 관리로 균열의 진행 상태를 분석하여 보수 시기 및 보수방법 적용의 합리적 운영체계를 수립하고자 하는 것이다. 일반적으로 콘크리트에서의 균열은 육안으로 분간할 수 있을 정도로 큰 반면 프리스트레스트 콘크리트의 균열은 기기를 사용하여야 측정, 분별할 수 있다. 본 논문에서는 균열의 명함도와 인접한 표면의 명함도 차이를 이용하여 균열과 잡음을 분리한다. 그리고 균열과 잡음 영역에서 형태학적인 정보를 이용하여 잡음 영역만을 제거한다. 잡음 영역이 제거된 균열 영역에서도 미세한 잡음이 존재하므로 균열 영역을 평활화를 한 후, 미세 잡음을 하나의 객체로 인식하여 제거하고 끊어진 영역의 균열을 미디언 필터를 이용하여 균열을 연결한다. 그리고 제안된 방법으로 추출된 균열을 원본 영상에 적용하여 최종적으로 균열만을 검출한다. 검출된 균열에서 균열의 특징부분을 선택하고 선택되어진 균열 영상을 대상으로 균열의 길이, 방향, 폭을 순차적으로 분석한다. 실제 균열 영상을 대상으로 실험한 결과, 균열이 비교적 정확히 검출되었고 균열 검사기가 한번에 측정할때에 비해 비교적 빠르고 적은 노력으로 측정할 수 있는 것을 확인하였다.

### 키워드

모폴로지, 메디안 필터, 평활화

## 1. 서 론

콘크리트는 일반적으로 압축강도는 크나, 인장강도와 신장능력이 작기 때문에 시공 중 또는 시공 후에 나타나는 체적변화와 구속조건 및 외력의 작용 등에 기인하여 균열이 발생하기 쉽다. 콘크리트 균열은 여러 가지 원인으로 콘크리트 경화 전후에 발생하며, 균열이 표면에 관찰될 때는 이미 콘크리트 내부조직에는 미세균열로 조직이 상당히 손상되었을 가능성이 있어 이러한 균열을 그대로 방치할 경우 균열을 통해 이물질이 침투하여 균열이 점차 커지게 되어 콘크리트의 내구성에 문제를 일으킬 소지가 있다[1]. 미세한 균열은 구조물의 내력을 크게 손상시키지 않으나, 과다한 균열은 내력이나 내구성 저하에 영향을 끼치며 콘크리트 구조물이 어떤 원인에 의해 변형되었을 경우 대부분 균열 발생을 수반하게 된다.

로 콘크리트 구조물 타설 후 지속적인 균열발생 및 발전정도의 관찰이 필요함에 있어서 구조물의 내력, 내구성, 방수성 및 미관 등에 악영향을 미치기 때문에 빠르고 정확한 계측이 필요하다[2]. 현재 균열측정은 기계이용 및 사람이 수작업으로 균열을 측정하고 있으나 균열을 측정할 때 시간적 측면이 비효율적이고 개인의 주관이 개입될 수 있다. 이에 컴퓨터를 통해 객관적으로 계측할 수 있는 기법의 필요성이 더욱 확대되고 있다. 영상 처리 기법을 이용한 균열 계측 기법은 컴퓨터가 균열을 자동으로 인식하는 검출 기법과, 검출된 균열의 특징들(폭, 길이, 방향)을 계산하는 분석 기법으로 구분할 수 있다[3,4]. 전자의 경우, 콘크리트 구조물에서 발생하는 균열은 형상이 랜덤하여 수학적 모델링이 불가능할 뿐만 아니라 콘크리트 구조물은 시공을 한 후, 바로 외부 환경

에 노출되기 때문에 균열만을 완벽히 검출할 수 있는 기법은 아직 소개되어 있지 않으며, 후자의 경우에는 정확한 길이 및 폭을 검출하는 방법이 다양하며, 그에 따른 오차가 생긴다.

따라서 본 논문에서는 균열의 명암도와 인접한 표면의 명암도 차이를 이용하여 균열과 잡음을 분리한다. 그리고 균열과 잡음 영역에서 형태학적인 정보를 이용하여 잡음 영역만을 제거한다. 잡음 영역이 제거된 균열 영역에서도 미세한 잡음이 존재하므로 균열 영역을 평활화한 후, 미세 잡음을 하나의 객체로 인식하여 제거하고 끊어진 영역의 균열을 미디언 필터를 이용하여 균열을 연결한다. 그리고 제안된 방법으로 추출된 균열을 원본 영상에 적용하여 최종적으로 균열만을 검출한다. 검출된 균열에서 균열의 특정부분을 선택하고 선택되어진 균열 영상을 대상으로 균열의 길이, 방향, 폭을 순차적으로 분석한다.

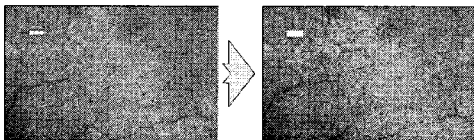
## II. 균열의 명암도와 인접한 표면 명암도 차이를 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 검출

### 2.1 눈금자 제거

콘크리트 영상에는 균열 이외에 측정을 위한 눈금자가 존재한다. 이 눈금자는 균열 검출 시 균열로 추출 될 가능성이 있기 때문에 잡음으로 인식하여 제거한다. 눈금자 영역의 제거 과정은 식(1)과 같이 이진화를 적용하고 눈금자의 크기정보를 이용하여 눈금자를 제거한다.

$$h(x,y) = \begin{cases} 255, & \text{if } (f(x,y) > \text{임계치}) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

그림 1은 눈금자를 제거한 영상이다.



(a) 원 영상 (b) 눈금자 제거된 영상

그림 1. 눈금자 제거

### 2.2 미디언 필터와 평활화를 이용한 균열 강조

콘크리트 영상은 저 대비 영상이며 명암도 스펙트럼에서 균열 영역과 인접 잡음 영역이 유사한 범위를 형성하고 있다. 따라서 본 논문에서는 균열을 강조하기 위해 평활화 및 미디언 필터를 이용하여 균열을 강조시킨다.

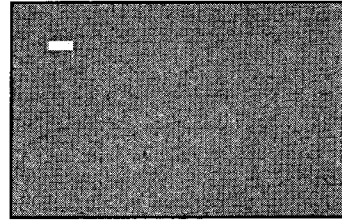


그림 2. 평활화 및 미디언필터를 이용한 균열강조

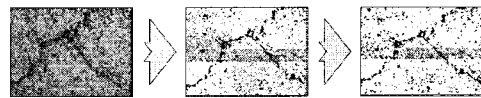
### 2.3 밀도와 평균 명암도를 이용한 잡음 제거

그림 2와 같이 균열 영역은 낮은 밀도와 낮은 명암도를 가지며, 잡음 영역은 높은 밀도와 높은 명암도를 가진다.

따라서 각 영역에 대하여 밀도와 평균 명암도의 정보를 이용하여 잡음을 제거한다. 밀도 측정은 식(2)와 같다.

$$f_{\sigma} = \frac{A_{ob}}{MAX(A_x, A_y)^2} \quad (2)$$

식(2)에서  $A_x, A_y$ 는 각각 객체를 외접하는 직사각형의 폭과 높이를 의미하고,  $A_{ob}$ 는 객체의 면적을 의미한다. 그림 3은 밀도와 명암도를 이용한 잡음 제거 과정이다.



(a) 원 영상

(b) 밀도를 이용한 잡음제거

(c) 평균 명암도를 이용한 잡음제거

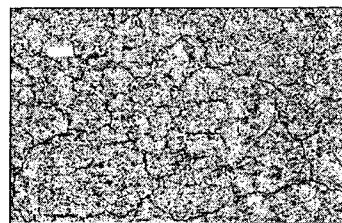


그림 3. 밀도와 명암도를 이용한 잡음제거

그림 3과 같이 밀도와 명암도를 이용하여 잡음이 제거된 영상은 균열과 인접한 배경이 분리되지만, 균열이 끊어져 있다. 따라서 본 논문에서는 미디언 필터를 적용하여 균열을 연결시킨 후, 평활화 및 잡음의 형태학적 정보를 이용하여 잡음을 제거한다. 잡음이 제거된 영상에서 모폴로지 기법을 이용하여 아직 연결되지 않은 균열을 연결시킨 뒤 형태학적 정보를 이용하여 잡음을 제거한다.

2.4 미디언 필터와 평균 명암도 이용 잡음제거

그림 3과 같이 미세균열을 하나의 객체로 인식하여 균열과 인접한 부분의 잡음을 제거한 이후에도 잡음이 존재한다. 그 이유는 균열과 비슷한 명암도와 특징을 가진 잡음이 존재하기 때문이다. 이것을 해결하기 위해 미디언 필터와 평균 명암도를 이용하여 균열로 인식되는 잡음을 완전한 잡음 형태로 만들어 제거한다. 잡음이 제거된 영상에서 균열을 연결시키기 위하여 미디언 필터를 적용한 후 평균 명암도 보다 높은 명암도 값을 가지는 영역을 제거한다. 균열이 연결된 영상에서 4 방향 윤곽선 추적 기법을 이용하여 객체를 추출한다. 식 (3)과 같이 객체들의 형태학적 정보인 밀도와 크기를 이용하여 잡음을 제거한다.

$$\text{if}(A_{g(avg)} > th_g \ \&\& \ A_{cr} > th_d) \quad (3)$$

$$\text{Result} = 255;$$

식 (3)에서  $A_{g(avg)}$ 는 객체의 평균 명암도이고  $A_{cr}$ 는 객체의 밀도이다.

그림 4는 미디언 필터와 평균 명암도를 이용하여 잡음을 제거하는 과정을 나타낸 것이다.

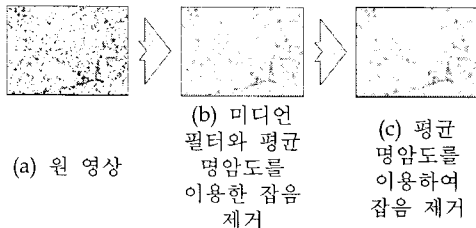


그림 4. 미디언 필터와 평균 명암도 이용한 잡음제거 과정

2.5 균열에 인접한 잡음 객체 및 제거

미디언 필터와 평균 명암도를 이용하여 잡음을 제거된 영상은 균열과 인접한 영역에서 잡음이 남아 있다. 따라서 본 논문에서는 잡음의 형태학적인 특징을 이용하여 미세균열을 하나의 객체로 정의한다. 그림 5는 균열과 잡음의 특징이다.

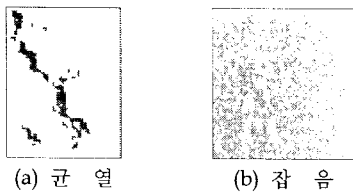


그림 5. 균열과 잡음의 특징  
그림 6은 미세균열을 하나의 객체화하여 제거하는 과정이다.

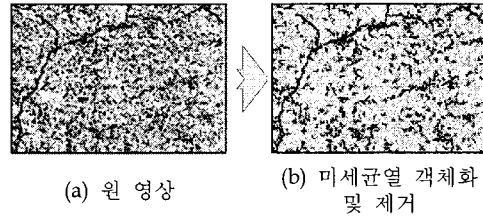


그림 6. 미세균열 객체화 및 제거

그림 5와 같이 잡음의 형태학적인 특징을 이용하여 그림 6과 같이 미세균열을 하나의 객체로 인식하여 균열과 인접한 부분의 잡음을 제거한다.

2.6 밀도와 평균 명암도를 이용한 잡음 제거

그림 6과 같이 미디언 필터와 평균 명암도를 이용한 잡음 제거 과정 이후 균열과 균열 유사영역으로 나눌 수 있다. 균열 유사 영역은 잡음이 균열과 비슷한 명암도의 특징을 가지고 있다. 이것을 분리하기 위해서 밀도와 평균 명암도를 동시에 이용함으로써 그림 7과 같이 균열 유사 영역의 잡음을 제거한다.

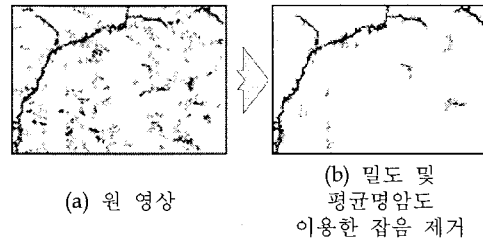


그림 7. 밀도 및 평균 명암도 이용한 잡음 제거

2.7 최종 균열영역 추출

그림 7은 아직 유사 균열 잡음이 존재하고 있는 것을 확인할 수 있다. 따라서 위의 잡음 객체화 및 밀도와 평균 명암도 적용을 반복함으로써 최종 균열을 검출한다. 콘크리트 영상은 빛에 의해 명암도가 변하기 때문에 임의의 명암도 값으로 균열을 판단하기 어렵다. 따라서 본 논문에서 지금까지 적용한 기법으로 정확한 균열을 검출하기 힘들기 때문에 지역적 히스토그램 균등화를 수행하여 명암도 값을 평균화한 영상에서 균열을 추출한다.



IV. 실험 및 결과 분석

본 논문에서 제안한 방법을 Intel Pentium-IV 2.8GHz CPU와 512MB RAM이 장착된 IBM 호환 PC상에서 VC++ 6.0을 구현하여 실험하였다. 실험에 적용된 균열 영상은 CANON사의 350D 디지털 카메라를 사용하여 2496×1664 크기를 가진 영상을 획득하여 실험에 적용하였다.

기존의 콘크리트 균열 검출 방법[6]은 콘크리트 표면이 빛에 의해 명암도가 변하거나, 콘크리트 표면의 명암도의 차이가 거의 없는 경우에는 효과적으로 균열을 검출할 수 없는 문제점이 있다. 그리고 다양한 영상에 적용 하였을 때 균열 검출이 어려운 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 균열의 명암도와 인접한 표면의 명암도 차이를 이용하여 균열과 잡음을 분리한다. 그리고 균열과 잡음 영역에서 형태학적인 정보를 이용하여 잡음 영역만을 제거하였다. 잡음 영역이 제거된 균열 영역에서도 미세한 잡음이 존재하므로 균열 영역을 평활화를 한 후, 미세 잡음을 하나의 객체로 인식하여 제거하고 끊어진 영역의 균열을 미디언 필터를 이용하여 균열을 연결하였다. 그리고 밀도와 평균 명암도이용 잡음을 제거하여 추출된 균열을 원본 영상에 적용하여 최종적으로 균열만을 검출하였다. 검출된 균열에서 균열의 특징부분을 선택하고 선택되어진 균열 영상을 대상으로 균열의 길이, 방향, 폭을 순차적으로 분석하였다. 실제 균열 영상을 대상으로 실험한 결과, 균열이 비교적 정확히 검출되었고 균열점사기가 한번에 측정할때에 비해 비교적 빠르고 적은 노력으로 측정할 수 있는 것을 확인하였다.

그림 11은 제안된 방법을 적용하여 균열을 추출한 결과이며, 표 1은 추출된 각각의 균열들에 대한 방향, 길이, 폭을 계산한 결과이다. 표 1에서 길이와 폭은 균열의 화소 수를 이용하여 실제 거리를 계산한 값으로 나타내었다.

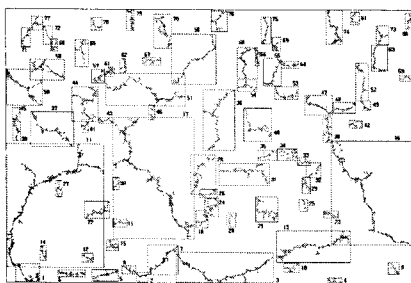
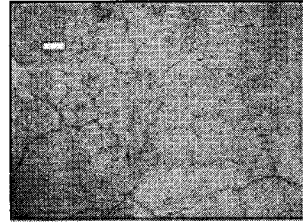


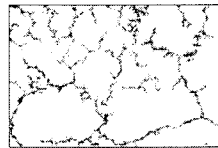
그림 11. 균열 추출 결과

그림 12는 기존의 콘크리트 균열 추출방법[6]과 제안된 콘크리트 균열 방법간의 결과를 비교한 영상이다. 제안된 균열 추출 방법은 균열 영역에

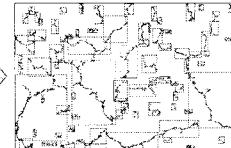
존재하는 미세 균열들이 잡음으로 간주된 부분과 거친 콘크리트 표면으로 인해 균열로 추출된 잡음 영역에 대해서 기존의 추출 방법보다 개선된 것을 확인할 수 있었다.



(a) 원 영상



(b) 기존 균열 검출



(c) 제안된 균열 검출

그림 12. 기존의 콘크리트 검출 방법과 제안된 콘크리트 균열 검출 방법의 결과비교

표 1. 각 위치의 균열 특징 계산

	angle(°)	length(cm)	width(cm)
1균열	36.62	3.07	0.23
2균열	41.48	1.53	0.22
3균열	16.91	10.49	0.42
4균열	19.37	1.61	0.08
5균열	23.80	2.93	0.18
6균열	13.96	2.90	0.22
7균열	43.61	4.37	0.29
8균열	29.39	1.66	0.10
9균열	47.39	1.70	0.08
10균열	29.81	1.84	0.40
11균열	51.80	15.93	0.49
12균열	36.49	1.51	0.10
13균열	23.05	8.26	0.47
14균열	65.80	1.63	0.08
15균열	41.50	1.74	0.18
16균열	52.05	13.44	0.40
17균열	55.83	14.93	0.46
18균열	55.71	2.22	0.32
19균열	28.84	1.69	0.08
20균열	55.69	1.72	0.07
21균열	47.91	3.48	0.35
22균열	34.46	3.09	0.25
23균열	26.82	1.66	0.10
24균열	53.70	2.34	0.35
25균열	54.96	1.57	0.15
26균열	26.35	1.95	0.17
27균열	67.71	1.80	0.30
28균열	57.08	4.78	0.37
29균열	62.53	1.88	0.20

	angle(°)	length(cm)	width(cm)
30균열	62.24	1.43	0.20
31균열	23.62	5.06	0.38
32균열	44.38	2.17	0.15
33균열	30.65	1.57	0.10
34균열	29.64	2.36	0.23
35균열	26.38	2.25	0.22
36균열	62.64	6.96	0.37
37균열	38.53	5.65	0.28
38균열	70.16	2.80	0.22
39균열	67.86	2.12	0.23
40균열	48.81	4.43	0.31
41균열	59.04	1.46	0.32
42균열	30.76	1.63	0.22
43균열	22.13	1.64	0.08
44균열	52.60	4.36	0.44
45균열	57.86	1.54	0.25
46균열	67.98	1.60	0.35
47균열	35.44	3.48	0.26
48균열	26.74	2.48	0.15
49균열	42.59	1.40	0.15
50균열	44.48	5.23	0.38
51균열	21.58	8.84	0.48
52균열	71.87	4.02	0.23
53균열	27.82	2.71	0.18
54균열	30.96	2.33	0.23
55균열	56.70	3.37	0.25
56균열	48.45	6.86	0.23
57균열	46.74	1.95	0.25
58균열	31.32	4.14	0.30
59균열	23.63	1.46	0.05
60균열	57.16	3.75	0.32
61균열	43.53	1.38	0.18
62균열	67.29	1.55	0.13
63균열	58.15	3.16	0.17
64균열	21.61	1.90	0.10
65균열	63.99	3.08	0.17
66균열	74.22	1.59	0.28
67균열	22.15	2.03	0.20
68균열	59.60	1.45	0.12
69균열	56.63	1.64	0.10
70균열	62.25	3.97	0.32
71균열	63.43	2.20	0.27
72균열	63.03	2.13	0.12
73균열	57.22	2.34	0.12
74균열	63.66	3.87	0.32
75균열	68.62	2.97	0.18
76균열	50.84	2.67	0.15
77균열	50.86	1.85	0.12
78균열	46.95	1.73	0.08
79균열	68.75	2.25	0.17
80균열	68.30	1.76	0.08
81균열	54.61	1.55	0.08

그림 13은 다양한 영상에 대해 제안된 방법으로 균열을 검출 한 결과 영상이다.

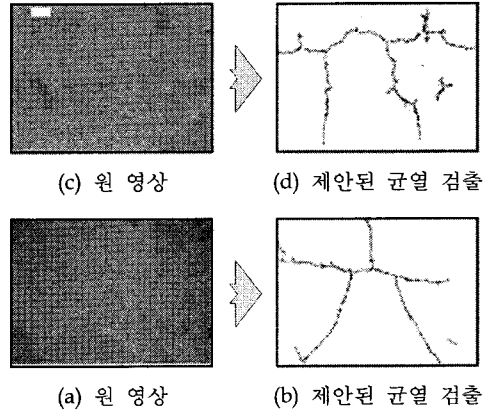


그림 13. 다양한 영상에 대한 제안된 균열 검출 결과

### V. 결 론

본 논문에서는 콘크리트 슬래브 표면 영상에서 콘크리트 균열을 검출 및 균열의 특징을 계산하는 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 디지털 카메라로 획득한 콘크리트 표면 영상에서 정확한 콘크리트 균열 추출을 위해 전처리 과정으로 균열로 추출될 가능성이 높은 눈금자를 잡음으로 간주하여 제거하였다. 또한 콘크리트 균열의 검출 성능을 향상시키기 위해 미디언 필터 및 평활화를 기법을 적용하여 균열을 강조하였고, 평균 명암도를 이용하여 잡음을 제거하는 과정을 거쳐 균열 후보 영역을 추출하였다. 추출된 균열 후보 영역에는 콘크리트 균열 영상의 대비 특징으로 구분되지 않는 잡음들이 내포되어 있으며 이러한 잡음 영역을 객체화 하고 밀도 및 평균 명암도를 이용하여 제거 과정을 거쳐 최종적으로 콘크리트 균열 영역을 추출하였다. 추출된 콘크리트 균열 영역에서 길이, 방향, 폭 등 세 가지 형태로 구분하여 균열을 분석하였다. 균열의 길이는 방향성을 고려하여 실제 거리를 계산하였고 방향은 균열의 시작과 끝점의 정보를, 폭은 균열 영역의 기울기 보정 과정을 거쳐 길이와 방향을 이용하여 계산하였다. 본 논문에서 제안한 균열 검출 방법은 균열의 원 형태를 유지하면서 균열의 특징을 찾아 잡음을 제거하였고, 콘크리트 균열 영역 중 기존의 균열 추출 방법에서 잡음으로 간주되어 제거된 미세 균열 영역과 콘크리트 표면에 거친 잡음이 많이 내포된 영상에 대해서도 효율적으로 균열을 추출하였다.

향후 연구 과제로 콘크리트 표면에 존재하는 균열의 진행도와 진행 방향을 정확히 분석하여 균열이 발생할 위치와 균열의 형태에 따른 균열

의 원인을 파악하고 미리 대처 할 수 있는 지능적인 균열 검출 및 분석 방법에 대해 연구할 것이다.

[참고문헌]

- [1] 金鎭根, "콘크리트 균열의 원인," 한국콘크리트학회논문집, 제6권 4호, pp.6-16, 1994.
- [2] 강준목, 오영철, 엄대용, "수치영상처리에 의한 콘크리트 구조물의 균열 정보 획득," 대한 토목학회논문집, 22권, 5-D호, pp.1001-1010, 2002.
- [3] 이방연, 박연동, 김진근, "콘크리트 표면 균열 패턴 인식 기법 개발," 한국콘크리트학회 논문집, 17권, 3호, pp.369-374, 2005.
- [4] K. B. Kim, K. B. Sim, S. H. Ahn, "Recognition of Concrete Surface Cracks using The ART1-based RBF Network," Lecture Notes in Computer Science, LNCS 3972, Springer, pp.669-675, 2006.
- [5] 김광백, "ART2 기반 RBF 네트워크를 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 추출 및 인식," 멀티미디어학회논문지, 10권, 8호, pp.1069-1077, 2007.
- [6] 성원구, 김광백, "ART2 기반 양자화를 이용한 콘크리트 슬래브 표면의 균열 검출," 한국멀티미디어학회 추계학술발표논문집, 10권 2호, pp.28-32, 2007.