

---

# 로봇 감정의 강도를 표현하기 위한 LED의 색과 깜빡임 제어

## Color and Blinking Control to Support Facial Expression of Robot for Emotional Intensity

김민규, Min-gyu Kim\*, 이희승, Hui Sung Lee\*\*, 박정우, Jeong Woo Park\*\*, 조수훈, Su Hun Jo\*\*, 정명진, Myung Jin Chung\*\*\*

---

요약 앞으로 로봇은 더욱 사람과 가까워 질 것이고, 따라서 사람과 로봇간의 상호작용도 활발해질 것이다. 이 때 직관적인 소통수단이 필수적이기 때문에, 로봇이 표정을 통해 감정을 표현할 수 있도록 하는 연구가 활발히 진행되어왔다. 기존에는 얼굴 표정을 주로 이용하였는데, 사람처럼 감정의 강도를 표현하기 위해서는 얼굴 외의 다른 방법도 필요하다. 로봇이 감정의 강도를 표현하기 위해서는 팔의 제스처, 움직임, 소리, 색깔 등을 이용할 수 있다. 본 논문에서는 LED를 이용할 수 있도록 색과 깜빡임에 대해 연구하였다. 색깔과 감정의 관계에 대해서는 기존에 연구가 많이 되어 있지만, 실제로 로봇에 구현하기에는 정량적 자료가 부족하여 어려움이 있다. 본 논문에서는 6 가지 기본 감정(화남, 슬픔, 혐오, 놀람, 기쁨, 공포)을 효과적으로 나타낼 수 있는 색과 깜빡임 주기를 결정하고, 아바타를 이용하여 감정의 강도를 설문조사 하였다. 결과적으로, 슬픔, 혐오, 화남의 경우 색깔과 깜빡임을 통해 감정의 강도를 높일 수 있었다. 공포, 기쁨, 놀람의 경우 색깔과 깜빡임이 감정 인식에 큰 영향을 미치지 못했는데, 이는 그 감정에 해당하는 색깔이나 깜빡임을 수정해서 개선할 수 있을 것이다.

Abstract Human and robot will have closer relation in the future, and we can expect that the interaction between human and robot will be more intense. To take the advantage of people's innate ability of communication, researchers concentrated on the facial expression so far. But for the robot to express emotional intensity, other modalities such as gesture, movement, sound, color are also needed. This paper suggests that the intensity of emotion can be expressed with color and blinking so that it is possible to apply the result to LED. Color and emotion definitely have relation, however, the previous results are difficult to implement due to the lack of quantitative data. In this paper, we determined color and blinking period to express the 6 basic emotions (anger, sadness, disgust, surprise, happiness, fear). It is implemented on avatar and the intensities of emotions are evaluated through survey. We figured out that the color and blinking helped to express the intensity of emotion for sadness, disgust, anger. For fear, happiness, surprise, the color and blinking didn't play an important role; however, we may improve them by adjusting the color or blinking.

**핵심어:** 감정의 강도, 로봇, LED, 색, 깜빡임

---

본 논문은 산업자원부 21세기 프론티어 R&D 프로그램의 지능형 로봇 개발 프로그램의 지원에 의하여 연구되었음.

\*주저자, 교신저자 : KAIST 전기및전자공학전공 학생; e-mail: mgkim@cheonji.kaist.ac.kr

\*\*공동저자 : KAIST 전기및전자공학전공 학생

\*\*\*공동저자 : KAIST 전기및전자공학전공 교수

## 1. 서론

앞으로 로봇은 더욱 사람과 가까워 질 것이고, 따라서 사람과 로봇간의 상호작용도 활발해질 것이다. 이 때 로봇과 사람간의 직관적인 소통수단이 필수적이기 때문에, 로봇이 표정을 통해 감정을 표현할 수 있도록 하는 연구가 활발히 진행되어왔다. 기존에는 얼굴 표정을 주로 이용하였는데, 이것만으로도 에크만의 6 가지 기본 감정[1]을 표현하는 데에는 무리가 없다. 하지만, 실제로 사람간의 소통에서는 상황에 따라 감정이 여러 방식으로, 다양한 강도로 표현된다. 예를 들어, 조금 화가 났을 때에는 화난 표정을 짓지만, 더 화났을 때에는 얼굴이 붉어지거나, 행동이 격렬해지는 것이다. 이는 결국 사람이 “화가 났다”는 것만 표현하는 것이 아니라, “얼마나 화가 났는지”도 표현한다는 뜻이다.

로봇과 사람과의 맥락에서의 예를 들자면, 비서로봇이 약속시간을 알려주는 경우가 있다. 약속시간 30 분 전에는 단순히 알려주면 되지만, 약속시간 10 분 전에는 다급함을 전해야 하며, 약속시간 5 분 전에는 최대한 강렬하게 메시지를 전달해야만 한다. 이러한 예를 통해 알 수 있듯이, 사람뿐만 아니라 로봇도 다양한 방법을 통해 감정의 강도를 표현할 필요가 있다.

로봇이 감정의 강도를 표현하기 위해서는 팔의 제스처, 움직임, 소리, 색깔 등을 이용할 수 있다.

색깔과 감정의 관계에 대한 연구는 Valdez[2], Mahnke[3], Hemphill[4] 등에 의해 수행되었다. Valdez 는 색의 채도(saturation)와 명도(brightness)가 어떤 PAD(Pleasure-Arousal-Dominance)[5]를 갖는지에 대해 연구하였으며, Mahnke 는 주요 색이 어떤 감정을 불러 일으키는지에 대해 연구하였다. 하지만 Valdez[2]와 Mahnke[3]의 연구는 실제로 로봇에 구현하기에는 정량적 자료가 부족하여 어려움이 있다.

Ekman 은 감정이 자율신경계에 어떤 영향을 미치는지 조사하였는데[6], 이 연구에 따르면, 화남, 공포, 슬픔의 경우 사람의 심장 박동을 빠르게 하며, 기쁨, 놀람, 혐오의 경우 심장 박동에 큰 영향은 미치지 않는다. 따라서 색과 깜빡임을 이용하면 사람이 로봇의 감정을 느끼게 하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

본 논문에서는 LED 를 이용하여 감정의 강도를 표현할 수 있도록, 색과 깜빡임에 대해 연구하였다. LED 를 이용하는 방식은 감정의 강도를 효과적으로 표현할 수 있으면서도, 기계적으로 움직이는 부분이 없어서 안전하며 저렴하고, 다양한 조건에 쉽게 적용할 수 있다는 장점이 있다. 강도를 표현하는 감정은 Ekman 이 제안한 6 가지 기본 감정(화남, 슬픔, 혐오, 놀람, 기쁨, 공포)을 이용하였다. 구현된 색과 깜빡임은 마스크트형 얼굴 로봇 '돌도리'[7]의 모습을 딴 아바타의 귀에 적용하였고, 색깔과 깜빡임이 적용된 아바타와 그렇지 않은 아바타를 실험 참가자에게

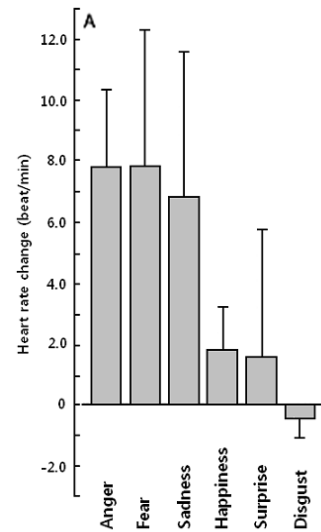


그림 1 감정에 따른 심박수 변화[6]

보여준 다음, 실험 참가자가 아바타에서 느끼는 감정의 강도를 답하게 하였다. 그렇게 했을 때, Ekman 의 6 가지 기본 감정 중 화남, 슬픔, 혐오의 경우 색깔과 깜빡임을 통해 감정의 강도를 높일 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

## 2. 구현 과정

본 논문에서는 Ekman 이 제안한 6 가지 기본 감정의 강도를 표현하기 위해 색깔과 깜빡임을 이용하였다. 각 감정에 해당하는 깜빡임 주기와 색을 결정하는 과정은 다음과 같다.

### 2.1. 감정에 적합한 깜빡임 주기 결정

그림 1 에 나타난 Ekman 의 연구결과에 따르면, 감정에 따라 자율신경계의 동작이 달라지는데, 화남, 공포, 슬픔의 경우 심장 박동이 상대적으로 빠르고, 기쁨, 혐오, 놀람의 경우 심장 박동이 상대적으로 느리다. 이러한 심장 박동수는 LED 를 깜빡임으로써 로봇에서도 표현할 수 있으며, 이러한 깜빡임은 사람이 로봇의 감정을 유추하는데 도움을 줄 것이다.

일반적으로 성인의 경우 70~75bpm(beat per minute) 정도의 심박수를 유지한다고 알려져 있다. 그리고 Ekman 의 연구결과에서는 화남, 공포, 슬픔의 감정에서 평균적으로 약 8bpm 정도 심박수가 증가하였다. 이 값을 LED 의 깜빡임에 그대로 적용하는 경우, 변화의 폭이 크지 않기 때문에 감정에 따른 깜빡임 속도 변화가 잘 느껴지지 않는다. 따라서 이 변화의 폭이 더 크도록 구현 하였다. 심박수가 높은 감정(화남, 공포, 슬픔)은 성인 평균 심박수보다 높은 85bpm 으로

깜빡이고, 기쁨, 혐오, 공포의 경우 50bpm 으로 깜빡이도록 하였다.

## 2.2. 감정에 적합한 색 결정

색깔과 감정 사이에 관계가 존재한다는 것은 이미 많이 연구되어 있다.[2][3][4] 하지만, 기존의 연구 결과는 실제로 로봇에 구현하기에는 구체적이고 정량적인 자료가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 이전의 연구결과를 취합하여 각 감정을 나타낼 수 있는 색을 다음과 같이 결정하였다.

Valdez[2]는 색과 감정 사이의 관계에서, 색조 보다는 채도와 명도가 큰 영향을 미친다고 주장하였다. 이에 따라, 채도와 명도가 감정의 PAD(Pleasure-Arousal-Dominance)에 어떤 영향을 미치는지를 수식 (1), (2), (3)과 같이 제시하였다.

$$Pleasure = 0.69 \times Brightness + 0.22 \times Saturation \quad (1)$$

$$Arousal = -0.31 \times Brightness + 0.60 \times Saturation \quad (2)$$

$$Dominance = -0.76 \times Brightness + 0.32 \times Saturation \quad (3)$$

이 결과를 적용하기 위해서는, 각 감정의 PAD 값을 알고 있어야 하는데, PAD 값 자체가 정량적으로 명확하게 정의되지 않기 때문에, 정확히 알 수 없다. 따라서 본 연구에서는 Havlena[8]의 연구결과를 이용하여 각 감정의 PAD 값을 결정하였다. (표 1)

Valdez 와 Havlena 의 결과를 이용해서, 수식 (4) 같이 의사 역행렬(pseudo-inverse matrix)을 통해, 각 감정의 채도와 명도를 구한다.

$$\hat{X} = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (4)$$

감정	Pleasure	Dominance	Arousal
기쁨	0.93	-0.12	0.45
공포	-0.58	0.30	-0.41
화남	-0.85	0.23	-0.32
슬픔	-0.77	0.15	-0.48
혐오	-0.89	0.23	-0.37
놀람	-0.63	0.29	-0.44

표 1 각 감정의 PAD 값[8]

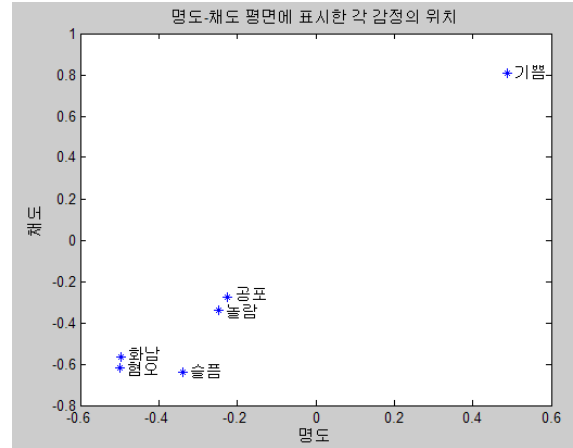


그림 2 명도-채도 평면에 표시한 각 감정의 위치

$$A = \begin{bmatrix} 0.69 & 0.22 \\ -0.31 & 0.60 \\ -0.76 & 0.32 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} P_i \\ A_i \\ D_i \end{bmatrix}$$

$$\hat{X} = \begin{bmatrix} B_i \\ S_i \end{bmatrix}$$

이 때,  $P_i$ ,  $A_i$ ,  $D_i$  는 PAD scale 에서 각 감정의 Pleasure, Arousal, Dominance 값이고,  $B_i$ ,  $S_i$  는 각 감정의 명도, 채도 값이다.

위와 같이 최소제곱 선형회귀(Linear Least Square Regression)방법을 통해 각 감정의 명도와 채도를 구해서 그래프를 그려보면 그림 2와 같다.

하지만 그림 2의 결과에서, 각 축의 의미는 알 수 있지만(명도, 채도), 각 축 값의 정량적 의미는 정확히 알 수 없다. 또한, 각 감정의 명도와 채도 값을 정확히 알 수 있다고 해도, 정확히 그 색을 구현한다는 것은 현실적으로 힘들다. 아바타의 경우, 실제로 사람들이 이용하는 컴퓨터마다 다르고, LED의 경우도 마찬가지로 LED마다 크게 차이가 나기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 그림 2의 결과를 바탕으로, 감정을 표 2와 같이 세 가지 범주로 분류하였다.

HSL(Hue-Saturation-Luminance)[9]을 이용하여 RGB 값을 구할 때에는 색조 정보와 채도 정보, 그리고

범주	해당하는 감정	명도	채도
밝은 색 감정	기쁨	높음	높음
중간 색 감정	공포, 놀람	중간	중간
어두운 색 감정	화남, 혐오, 슬픔	낮음	낮음

표 2 명도와 채도로 구분한 감정의 범주

감정	대응되는 색
기쁨	빨강, 노랑
공포	검정 (파랑)
화남	빨강
슬픔	파랑, 보라, 갈색, 자주
혐오	검정, 빨강
놀람	N/A (노랑)

표 3 각 감정에 대응되는 색[3]

명도 정보가 필요한데, 위와 같이 채도와 명도 정보를 얻었다. 따라서 마지막으로, 색조 정보를 여기에 추가해야 한다.

이 색조 정보는 Mahnke[3]의 연구결과를 이용하였다. Mahnke 는 색과 감정간의 관계에 대해 언급하였는데, 구체적인 색 정보 보다는 대략적인 색조만 제시하였다. 주요 6 가지 감정에 대해 Mahnke 가 대응시킨 색은 표 3 과 같다.

표 3 의 결과 중, 괄호 안에 써 있는 색깔은 Mahnke 에 의해 언급되지 않은 색이다. 공포를 뜻하는 검정색의 경우, 모니터에서는 표현할 수 있지만, LED 를 이용해서는 표현할 수 없고, 놀람의 경우 언급이 되지 않았으므로, 그 외에 적절히 대응될 수 있는 색으로 선정하였다. 공포의 경우 영화나 드라마에서 공포 장면에서 주로 파란색 조명을 이용하는 것에서 착안하였다. 놀람의 경우 강한 대비를 이용하면 적절히 표현할 수 있을 것이기 때문에, 노랑을 이용하였다.

표 2 와 표 3 의 결과를 이용하면, 각 감정에 대응되는 RGB(Red-Green-Blue)값을 찾아낼 수 있다. 다만, 명도와 채도의 구체적인 값이 있어야 하는데, 이는 객관적으로는 구할 수 없다. 따라서 높은 명도/채도에는 각각 130/240 을, 중간 명도/채도에는 각각 85/168 을, 낮은 명도/채도에는 70/150 을

감정	색조	명도/채도	RGB 값
기쁨	빨강, 노랑	높음	(255, 21, 21) (255, 255, 21)
공포	파랑	중간	(27, 27, 154)
화남	빨강	중간	(121, 28, 28)
슬픔	파랑, 보라	낮음	(28, 28, 121) (121, 28, 121)
혐오	빨강	낮음	(121, 28, 28)
놀람	노랑	낮음	(154, 154, 27)

표 4 각 감정에 대응되는 RGB 값



그림 5 마스크트형 얼굴로봇 '돌도리'의 아바타[7]



그림 3 설문조사에 이용한 이미지 예시

이용하였다. 그리고는 이 HSL(Hue-Saturation-Luminance)값을 RGB 값으로 변환하였다.[9] PC 상의 아바타를 이용하여 설문조사를 실시하기 위해, 0~255 사이의 RGB 값을 생성하였으며, 그 결과는 표 4 와 같다.

표 4 에서 슬픔과 기쁨은 RGB 값이 두 개씩 대응된다. 이는 Mahnke 가 이 감정에 대해 2 개 이상의 색조를 제시했기 때문인데, 깜빡임을 구현할 때 ON/OFF 대신 이 두 색을 번갈아 가며 나타냄으로써 구현할 수 있다.

### 3. 실험 방법 및 결과

#### 3.1. 실험 방법

위와 같이 결정된 색을 그림 5 과 같은 아바타의 귀 부분에 적용하여 설문조사를 실시하였다.

설문조사 이미지에서, 바탕에는 중간 톤의 회색으로 칠했으며, 귀는 제시한 색깔 한가지만 이용하였다. 또한, 얼굴 표정에 대한 정보는 화면 가장자리에 그림 3 와 같이 제시했다.

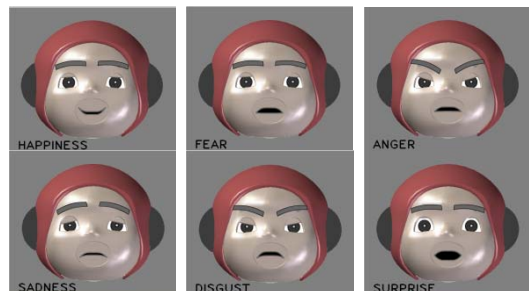


그림 4 Ekman 의 6 가지 표정 (100% 강도)

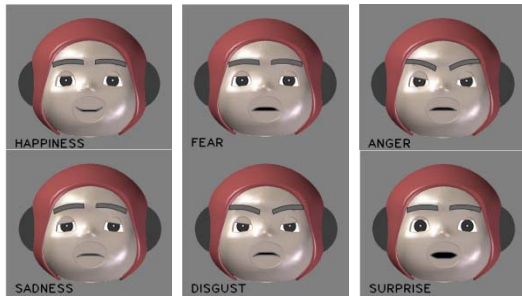


그림 6 Ekman의 6가지 표정 (70% 강도)

설문에 이용한 감정은 총 6 가지인데, 기하학적 표정 강도를 100%(그림 4) 와 70%(그림 6) 두 가지로 이용하여 비교하도록 하였다. 6 가지 표정에 대해 표 5 와 같은 3 가지 경우를 비교하게 하였으므로, 총 문항 수는 18 문항 이다.

한 문항 내에서는 기준영상 하나와 실험 영상 하나를 차례로 3 초 이상씩 보여주었다. 그 다음, “앞의 표정과 이번 표정 중 어느 쪽 감정이 더 강하게 느껴집니까?” 라는 질문을 해서, 사용자에게 인지된 감정의 강도를 평가하도록 요구하였다. 질문은 객관식으로 “앞의 표정”, “모르겠다”, “이번 표정” 의 3 가지 버튼을 만들어서 답할 수 있도록 하였다.

각 질문에 대한 대답에는 점수를 부여했다. “앞의 표정” 을 선택한 경우는 0 점, “모르겠다” 는 1 점, “이번 표정” 을 선택한 경우는 2 점을 부여했다.

### 3.2. 실험 결과

앞서 언급한 총 18 가지 문항을 20 명의 참가자에게 설문 조사하였다. 이 참가자는 20 대 남성과 여성으로 구성되어 있다. 이렇게 설문조사를 실시한 다음, 평균을 낸 결과는 그림 7 과 같다. “감정의 강도” 가 1 이면 실험 영상과 기준 영상의 강도가 비슷하다고 평가한 것이고, 2 이면 모든 참가자가 실험 영상의 강도가 더 높다고 평가한 것이며, 0 이면 모든 참가자가 실험 영상의 강도가 더 낮다고 평가한 것이다.

그림 7 의 결과를 보면, 일반적으로 LED 가 감정의 강도를 증가시키는 것을 알 수 있다. 70% W/O LED 와

기준 영상	실험 영상
LED 없는 100% 표정	LED 없는 70% 표정
LED 없는 100% 표정	LED 있는 70% 표정
LED 없는 100% 표정	LED 있는 100% 표정

표 5 설문 문항의 종류

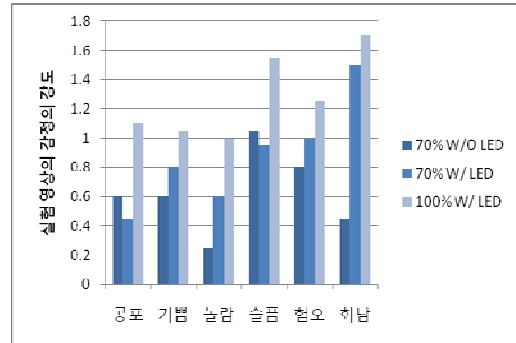


그림 7 설문조사 결과

70% W/ LED 를 비교해 보면, 6 가지 감정 중 4 가지 경우(기쁨, 놀람, 혐오, 화남)에서 색과 깜빡임을 이용했을 때, 감정의 강도가 높아졌다. 100% W/ LED 와 100% W/O LED 를 비교해 보면, 6 가지 감정 모두 1 점 이상으로, LED 가 켜졌을 때 감정의 강도가 약해진 않았으며, 3 가지 감정(슬픔, 혐오, 화남)의 경우에는 LED 를 이용하였을 때 1.2 점 이상으로 감정의 강도가 증가하였다.

이 중, 화남의 결과는 주목할 만 한데, 70% W/ LED 의 경우가 100% W/O LED 보다 훨씬 감정의 강도가 높게 나타난 것이다. 다시 말해, 기하학적 표정 강도를 낮추더라도, LED 를 이용하면 훨씬 더 강렬한 감정을 전달할 수 있다는 것이다. 이것은 원래 사람이 화나면 얼굴이 붉어지기 때문에[10], 본능적으로 붉은 색을 화남 것으로 대응시켜서 이러한 결과가 나온 것으로 보인다.

### 4. 결론

본 논문에서는 Ekman 의 6 가지 기본 감정의 강도를 로봇에서 효과적으로 나타낼 수 있는 색과 깜빡임 주기를 결정하였다. 그리고 마스크트형 얼굴 로봇 '돌도리'의 모습을 딴 아바타의 귀에 색깔이 깜빡이도록 구현하여 설문조사를 통해 검증하였다. 그 결과, 6 가지 기본 감정 중 화남, 슬픔, 혐오의 경우 색깔과 깜빡임을 통해 감정의 강도를 높일 수 있다는 것을 확인하였다. 기쁨, 공포, 놀람의 경우 색깔과 깜빡임이 감정 인식에 큰 영향을 미치지 못했는데, 이는 그 감정에 해당하는 색깔이나 깜빡임을 수정해서 개선할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

[1] P. Ekman and W. V. Friesen, Unmasking the Face, Malor Books, 2003

- [2] P. Valdez and A. Mehrabian, "Effects of Color on Emotions", *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol. 123, No. 4, pp.394~409, 1994
- [3] F. H. Mahnke, *COLOR, Environment, & Human Response*, John Wiley & Sons, pp. 60~66, 1996
- [4] M. Hemphill, "A Note on Adults' Color-Emotion Associations", *Journal of Genetic Psychology*, Vol. 157, No. 3, pp. 275~280, 1996
- [5] A. Mehrabian, "Pleasure-arousal-dominance: A general framework for describing and measuring individual differences in Temperament", *Current Psychology*, Vol. 14, No. 4, pp.261-292, 1996
- [6] P. Ekman, R. W. Levenson and W. V. Friesen, "Autonomic nervous system activity distinguishes among emotions", *Science*, Vol. 221, pp. 1208-1210, 1983
- [7] H. S. Lee, J. W. Park and M. J. Chung, "A Linear Affect-Expression Space Model and Control Points for Mascot-Type Facial Robots", *IEE Transactions on Robotics*, Vol. 23, No. 5, pp.863~873, 2007
- [8] W. J. Havlena and M. B. Holbrook, "The Varieties of Consumption Experience: Comparing Two Typologies of Emotion in Consumer Behavior", *Journal of Consumer Research*, Vol. 13, pp. 394~404, 1986
- [9] J. D. Foley and A. v. Dam, *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*, Addison-Wesley, pp. 617~619, 1982
- [10] T. Yamada and T. Watanabe, "Virtual Facial Image Synthesis with Facial Color Enhancement and Expression under Emotional Change of Anger", 16<sup>th</sup> IEEE International Conference on ROMAN, 2007