

# 콘크리트 내 수량증감에 의한 내구 품질 변동에 관한 연구

## A Study on Durability Variation of Concrete due to Water Content Changes

우 영 제\* / 류 화 성\*\* / 정 상 화\*\*\* / 권 기 준\*\*\*\*

Woo, Young Je / Ryu, Hwa Sung / Jung, Sang Hwa / Kwon, Ki Jun

### Abstract

When the water content within concrete swells, diverse problems occur such as drop in durability. Due to this reason, a change is being managed in the unit water contents by using electric capacity measurements, high frequency heating methods, and unit-volume mass measurements, which are methods of measuring the unit water contents. Particularly, Japan is prescribing the guideline of management on a change in unit water content unit quantity ( $\pm 10, 15, 20\text{kg}/\text{m}^3$ , etc.). However, the guideline of Japan dose not consider a fall in durability, and is decided on the value of pass-fail criteria by random fabrication errors and measurement errors. Consequently, this study was aimed to investigate the influence of a change in water content within concrete due to an addend caused by management error and to an artificial addend, upon drop in durability.

**key words** : water content, electric capacity, high frequency heating, unit-volume mass

### 요 지

콘크리트내의 수량이 증가하면 내구성저하등에 다양한 문제점이 발생한다. 이러한 이유로 단위수량의 측정 방법인 정전용량법, 고주파가열법, 단위용적질량법을 이용하여 단위수량의 변동을 관리하고 있다. 특히 일본에서는 단위수량 변동( $\pm 10, 15, 20\text{kg}/\text{m}^3$  등)에 대한 관리지침을 규정하고 있다. 그러나 일본의 지침은 내구성 저하를 고려하지 않고 있으며, 제조오차와 측정오차를 확률적으로 고려하여 합부 판정기준 값을 정하고 있다. 이에 본 연구에서는 관리오차에 의한 가수 및 인위적인 가수 등에 의한 콘크리트 내의 수량 변화가 콘크리트의 내구성저하에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

**핵심용어** : 콘크리트, 내구성, 단위수량, 가수

### 1. 서 론

콘크리트에 있어서 물은 콘크리트 타설 및 제조를

위한 일정 수준의 유동성, 강도 발현을 위한 수화반응 등을 위하여 반드시 필요한 재료이다. 일반적으로 콘크리트 내의 수량이 증가하면 그림 1과 같이 재료분리 발생, 건조수축 증대에따른 수축균열 발생, 블리딩이

\* 한국건설자재시험연구원 선임연구원 (e-mail: imgod@kicm.re.kr)

\*\* 한국건설자재시험연구원 연구원

\*\*\* 한국건설자재시험연구원 책임연구원, 공학박사

\*\*\*\* 정회원 · 국립한경대학교 안전공학과, 교수

증가하여 철근이나 골재 저면에 공극을 발생시켜 부착력 저하, 침하균열, 수분의 이동에 의한 표면성상의 악화, 자유수 증가에 따른 내부 공극률 증가로 염분, 물, 기체 등의 침투저항성이 저하되는 등 내구성에 다양한 문제점을 야기시키게 된다. 그러나 레미콘 제조시 그림 3와 같이 공급자(레미콘)와 시공자간의 레미콘 공급계약과 상이한 품질의 콘크리트를 요구하는 수급관계의 문제점과 공급자의 레미콘 제조 및 운반 등에 대한 미비한 품질관리, 부적절한 잔수 처리 등에 따라 인위적인 가수 및 관리오차에 따른 가수 등이 발생하고 있는 실정이다.

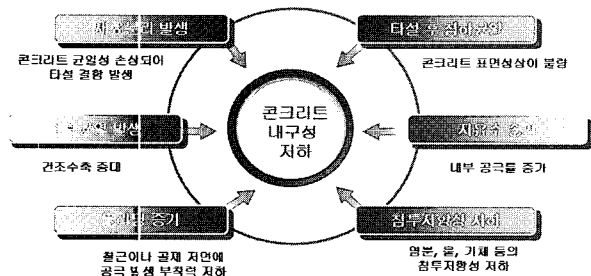


그림 1. 수량 증감에 따른 내구성 저하

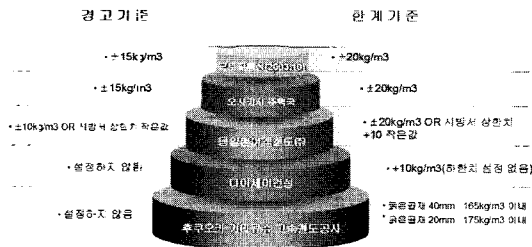


그림 2. 단위수량에 대한 일본의 관리지침<sup>1),2),3)</sup>

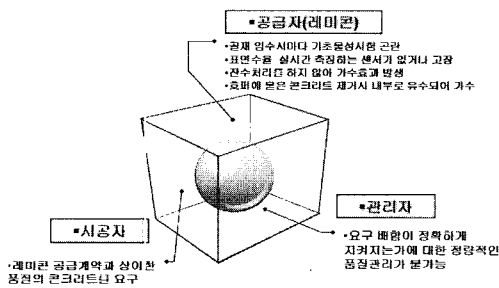


그림 3. 단위수량과 관련된 국내현황

상기 등의 이유로 현장에서 정전용량법, 고주파가열법, 단위용적질량법 등의 신속측정방법을 이용하여 단위수량의 변동을 관리하고 있으며, 특히 일본의 경우에는 그림 2과 같이 단위수량 변동( $\pm 10, 15, 20\text{kg/m}^3$  등)에 대한 관리지침을 규정하여 관리하고 있다.<sup>4),5),6)</sup> 그러나 일본에서 규정하고 있는 각종 지침들

이 내구성 저하도를 고려하지 않은 상태에서 제조오차와 측정오차를 확률적으로 고려하여 합부 판정기준값을 정하고 있는 실정이다. 일본 국토교통성의 경우 단위수량 판정기준치를 레미콘 제조 오차  $\pm 10\text{kg/m}^3$ , 단위수량 측정오차  $10\text{kg/m}^3$  등의 확률적 오차를 고려한  $\sqrt{10^2 + 10^2} \approx \pm 15\text{kg/m}^3$ 를 합부 판정 기준값으로 정하고 있다.<sup>7),8),9),10)</sup>

이에 본 연구에서는 관리오차에 의한 가수 및 인위적인 가수 등에 의한 콘크리트 내의 수량 변화가 콘크리트의 내구성 저하에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 및 콘크리트의 배합은 표 1에 나타난 바와 같이 기존 레미콘 3개 제조사에서 가장 많이 사용되는 배합을 참조하여 단위수량  $175\text{kg/m}^3$ 을 기준으로 수량 증감에 따른 5단계( $155, 165, 175, 185, 195\text{kg/m}^3$ )를 설정하였다. 그리고 레미콘 플랜트에서의 단위수량 변동에 따른 문제점 검토를 위해 각 단위수량에서 4단계의 수량의 증가( $0, +15, +25, +35\text{kg/m}^3$ )를 실험인자로 설정하였으며, 경화콘크리트를 대상으로 재령별 압축강도 및 염소이온 침투저항성, 동결융해 저항성 등을 평가하였다.

표 1. 실험계획 및 콘크리트 배합

W/C (%)	S/A (%)	Unit Weight ( $\text{kg/m}^3$ )			
		W	C	S	G
48	155	0	320	885	1050
		+15			
		+25			
		+35			
52	165	0	320	872	1036
		+15			
		+25			
		+35			
55	175	0	320	860	1021
		+15			
		+25			
		+35			
58	185	0	320	848	1007
		+15			
		+25			
		+35			
61	195	0	320	836	993
		+15			
		+25			
		+35			

## 2.2 사용재료

본 연구에서 콘크리트 실험에 사용한 재료의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 사용재료의 물리적 성질

시멘트	종류 : 보통포틀랜드 시멘트 (I종) 밀도 : 3.15g/cm <sup>3</sup> , 분말도 : 3,200cm <sup>2</sup> /g	
골재	잔골재	종류 : 바다모래 밀도 : 2.61g/cm <sup>3</sup> , 조립율 : 2.57
	굵은 골재	종류 : 부순자갈 최대치수 : 25mm 밀도 : 2.64g/cm <sup>3</sup> , 조립율 : 6.96

## 2.3 실험항목 및 방법

실험항목 및 내구성관련 실험방법은 표 3과 같이 KS 규격에 준하여 실시하였다.

표 3. 실험항목 및 방법(규격)

실험항목	관련규격
압축강도	3, 7, 28일 KS F 2405
동결융해	0, 50, 100, 150Cycle KS F 2456 KS F 2437
염화이온 침투저항성	28일 KS F 2711

압축강도는  $\phi 10 \times 20$ cm의 원주형 실험체를 대상으로 재령 3, 7, 28일에 만능재료시험기를 사용하여 측정하였다.

염소이온 침투저항성 실험체의 제작은 그림 4에 나타난 바와 같이 소요의 재령까지 수중양생을 실시한  $\phi 10 \times 5$ cm의 원주형 공시체를 사용하여 제작한 후, 수분의 증발을 방지하기 위하여 에폭시를 도포하여 원주면을 보호하였다. 염소이온 침투저항성 시험은 Tang & Nilsson이 제안한 전기촉진시험방법<sup>4)</sup>과 염화이온침투저항성(염소이온 확산계수 표준화 연구 2006. 02 연세대학교 산업자원부, 기술표준원)<sup>11)</sup>을 참조하여 0.3M의 NaOH 수용액을 양극으로, 3% NaCl 수용액을 음극으로 하여 15V의 전압을 가하였을 때 0.2 $\Omega$ 의 저항에 걸리는 전류와 확산셀 내부의 온도를 8시간 동안 측정하였다. 염소이온의 침투깊이는 시험이 종료한 후 시험편을 할렬하여 0.1N AgNO<sub>3</sub>를 분무하였을 때 변색되는 부위를 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다.

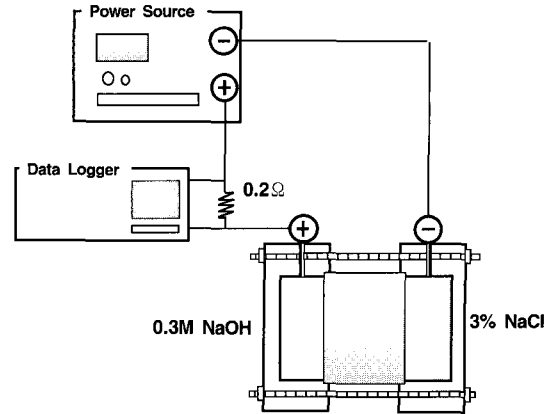


그림 4. 염소이온 시험기기 모식도

동결융해 저항성 실험은 각형 10×10×40cm의 실험체를 대상으로 KS F 2456(급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항실험 방법)의 B방법인 공기중에서 동결하고 수중에서 융해하는 시험방법으로 4시간동안 온도범위 -18℃~+4℃로 동결융해 하는 것을 1 사이클로 하여 0, 50, 100, 150, 사이클 동안 실험하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 수량에 따른 압축강도 실험결과

그림 5는 가수에 의한 콘크리트 내 수량변화에 따른 압축강도 실험결과는 재령 3, 7, 28일로 증가할수록 압축강도도 증가하는 것으로 나타났으며, 물시멘트비와 단위수량이 낮을수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타나 콘크리트 내의 수량이 증가할수록 압축강도는 전체적으로 저하하는 경향을 보이고 있다.

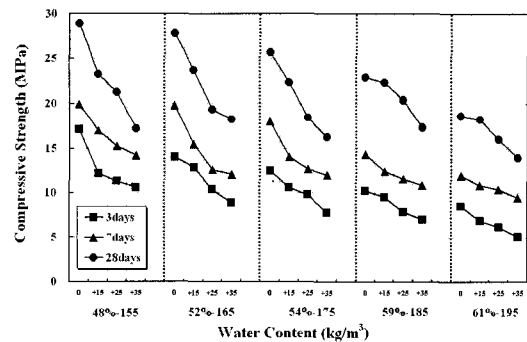


그림 5. 수량 증감에 따른 콘크리트 압축강도

각각의 물시멘트비-단위수량에서 가수를 하지 않은 W0의 재령 28일 압축강도를 100으로 하였을 때 가수에 따른 상대 압축강도비를 백분율로 나타낸 그림 6에서와 같이 A Class의 경우, +15kg/m<sup>3</sup> 가수일 때

상대압축강도비가 84~87%, +25kg/m<sup>3</sup> 가수일 때 상대압축강도비가 67~76%, +35kg/m<sup>3</sup> 가수일 때 상대압축강도비가 61~62% 까지 압축강도가 저하되는 것으로 나타났다.

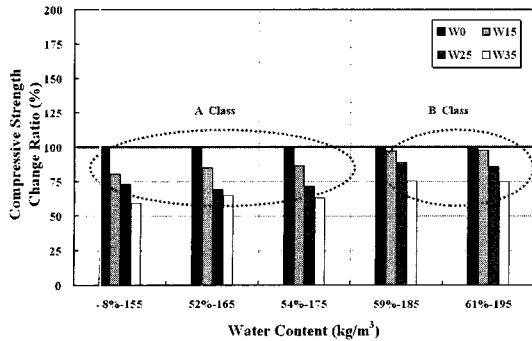


그림 6. 수량 증감에 따른 압축강도 감소율

이는 배합강도 계산시 설계기준강도에 안전율을 할증하여 계산하고 있으나 +25kg/m<sup>3</sup>이상의 가수가 되었을 경우에는 설계기준강도 이하의 압축강도 결과가 나타날 수 있음에 따라 유의할 필요성이 있을 것으로 판단된다. 또한 A Class에 비해 상대적으로 저강도 영역인 B Class의 압축강도 저하가 +15kg/m<sup>3</sup>일 때 2~3%, +25kg/m<sup>3</sup>일 때 13~14%, +35kg/m<sup>3</sup>일 때 24~25%로 상대적으로 적은 것으로 나타났는데, 이는 일정수준 이하의 저강도 영역에서는 재료분리 등의 영향으로 가수로 인한 강도저하가 미비한 것으로 사료된다.

### 3.2 동결융해저항성 실험 결과

동결융해저항성 관련 실험은 현재 150cycles 까지 측정하였으며, 그림 7에서와 같이 동결융해저항성 실험결과의 전체적인 경향도 콘크리트 내의 수량이 증가할수록 상대동탄성계수도 저하하는 것으로 나타났다. 150cycles에서 48%~155의 상대동탄성계수비가 73~75%, 52%~165의 상대동탄성계수비가 61~71%로 가수가 많이 될수록 상대동탄성계수비도 저하하는 것으로 나타났으나 가수에 의한 큰 차이를 보이지는 않고 있다. 그러나 54%~175, 59%~185의 경우에는 가수에 의한 영향이 두드러지게 나타나 150cycles에서 +15kg/m<sup>3</sup> 가수한 경우에는 W0과 유사한 결과를 나타내고 있으나, +25, +35 kg/m<sup>3</sup> 가수한 공시체가 파괴되어 측정이 불가능한 것으로 나타났다. 특히 61%~195 경우에는 모든 시험체가 150cycles에서 파괴되는 것으로 나타났다. 이상의 결과에서 압축강도가 클수록 동결융해에 대한 저항성도

증가하는 것으로 나타났으며, 가수에 의해 압축강도도 저하됨으로 가능한 +25kg/m<sup>3</sup> 이상의 가수가 이루어지지 않도록 관리할 필요성이 있다.

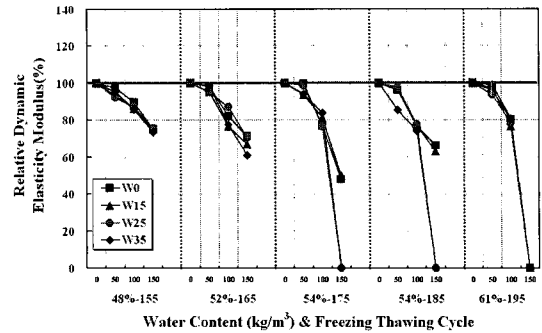


그림 8. 상대동탄성계수 측정결과

### 3.3 염화이온침투저항성 실험 결과

가수에 따른 염화이온침투저항성 실험 결과를 나타낸 그림 8에서도 전체적인 경향은 콘크리트 내의 수량이 증가할수록 염화이온침투깊이도 증가하는 것으로 나타났다. 특히 W0(가수하지 않은 상태)와 비교한 모든 경우에서 있어서 +15, +25kg/m<sup>3</sup> 가수하였을 경우에는 염화이온침투 깊이가 0.08~2.55mm로 유사한 것으로 나타났으나, +35kg/m<sup>3</sup> 가수하였을 경우에는 염화이온침투 깊이가 3.23~7.97mm로 +15, +25kg/m<sup>3</sup> 가수하였을 경우에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 표 4는 단위수량에 따른 염화물 침투 깊이는 나타내고 있다. 이에 따라 인위적인 가수 및 관리 및 제조오차상의 가수로 인해 콘크리트 내의 수량이 증가하더라도 보통강도 영역에서 염화이온침투 저항성의 고려 차원에서 +35kg/m<sup>3</sup> 이상의 가수가 되지 않도록 유의할 필요가 있을 것으로 판단된다. 수량 증감에 따른 전기촉진시험방법에 의한 염소이온 확산 계수 측정결과를 그림 9에 나타내었다. 염소이온 확산 계수의 전체적인 경향은 콘크리트 내의 수량이 증가

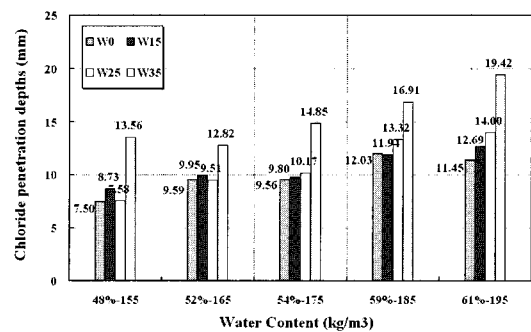


그림 8. 수량 증감에 따른 염소이온 침투깊이

할수록 염소이온 확산계수가 다소 높게 나타나고 있으며, W0(가수하지 않은 상태)와 +15, +25kg/m<sup>3</sup> 가수하였을 경우 모두 유사하게 나타나고 있으나, +35kg/m<sup>3</sup> 가수하였을 경우에는  $4.23 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec} \sim 7.34 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{sec}$ 의 범위로 특히 크게 나타나고 있다. 표 4는 수량 증감에 따른 염화물 침투깊이 사진을 나타낸다.

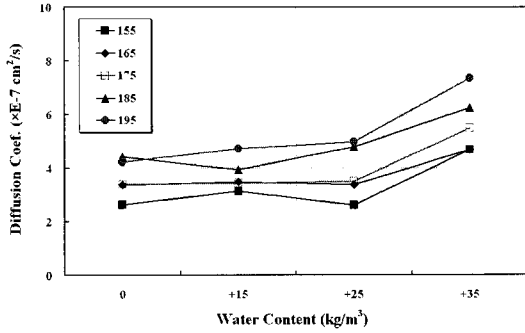


그림 9. 수량 증감에 따른 염분확산계수

표 4. 수량 증감에 따른 염화물 침투깊이 사진

재령 종류	W0	W15	W25	W35
155				
165				
175				
185				
195				

#### 4. 결론

콘크리트 내 수량 증감에 따른 내구 품질 변동에 관한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압축강도 실험결과 +15kg/m<sup>3</sup> 가수한 경우 상대압축강도비가 84~87%, +25kg/m<sup>3</sup> 가수한 경우 상대압축강도비가 67~76%, +35kg/m<sup>3</sup> 가수한 경우 상대압축강도비가 61~62% 까지

압축강도가 저하되는 것으로 나타나 +25kg/m<sup>3</sup> 이상의 가수가 되었을 경우에는 설계기준 강도 이하의 압축강도 결과가 나타날 수 있음에 따라 유의할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

- (2) 동결융해저항성 실험결과 압축강도가 클수록 동결융해에 대한 저항성도 증가하는 것으로 나타났으며, 가수에 의해 압축강도도 저하됨으로 가능한 +25kg/m<sup>3</sup> 이상의 가수가 이루어지지 않도록 관리할 필요성이 있다.
- (3) 염화이온침투저항성 실험결과 +15, +25kg/m<sup>3</sup> 가수의 경우 염화이온침투 깊이가 0.08~2.55mm로 W0와 유사한 것으로 나타났으나, +35kg/m<sup>3</sup> 가수하였을 경우에는 염화이온침투 깊이가 3.23~7.97mm로 +15, +25 kg/m<sup>3</sup> 가수하였을 경우에 비해 상대적으로 큰 것으로 나타나 인위적인 가수 및 관리/제조오차상의 가수로 인해 콘크리트 내의 수량이 증가하더라도 보통강도 영역에서 염화이온침투저항성의 고려 차원에서 +35kg/m<sup>3</sup> 이상의 가수가 되지 않도록 유의할 필요가 있을 것으로 판단된다.
- (4) 이상의 실험결과에서 압축강도의 경우에는 +25kg/m<sup>3</sup> 이상, 동결융해저항성의 경우 +25 kg/m<sup>3</sup> 이상, 염화이온침투저항성의 경우 +35 kg/m<sup>3</sup> 이상이 가수가 되었을 경우에는 성능 저하 효과가 크기 때문에 설계된 내구성능의 적정 수준이상을 유지하기 위해서는 배합 설계된 단위수량에 대한 품질관리에 유의할 필요가 있는 것으로 나타났다. 이에 따라 일본의 각종 지침에서 규정하고 있는 제조오차와 측정오차를 확률적으로 고려한 합부 판정기준값과 내구성 저하도를 함께 고려하였을 경우, 콘크리트 단위수량 품질 관리 기준은 배합 설계된 단위수량에 +15kg/m<sup>3</sup> 이하로 규정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 주관연구기관인 한국전자재시험연구원서 “건설생산성 향상을 위한 건설자재 표준화 연구” (과제번호 : 06기반구축A02)의 일환으로 건설교통부 건설기술기반구축사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

1. 日本建築學會 材料施工委員會 콘크리트試驗法小委員會, 콘크리트의試驗方法에關するシンポジウム報告集, 2003. 11
2. 日本콘크리트工學協會,フレッシュ콘크리트의單位水量迅速測定及び管理システム調査研究委員會報告書, 2004. 6
3. 小林 茂敏,フレッシュ콘크리트의單位水量迅速判定法에關する實驗的檢討, 日本콘크리트工學年次論文集, Vol.12, No.1, 1990
4. L.Tang and L.O.Nilsson, Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field, ACI MATERIALS Journal, Jan.-Feb., 1992, p.p.49-53
5. 友沢 史紀 ほか, 高周波加熱裝置を用いたフレッシュ콘크리트의單位水量簡易迅速試驗法の開發, 日本建築學會構造系論文報告集, 第400号, 1989. 6, pp.1~7
6. 豊福俊泰,フレッシュ콘크리트의單位水量の早期迅速試驗法에關する研究, 日本콘크리트工學年次論文集, Vol.11, No.1, 1989
7. 小林 茂敏,フレッシュ콘크리트의單位水量迅速判定法에關する實驗的檢討, 日本콘크리트工學年次論文集, Vol.12, No.1, 1990
8. 丸嶋紀夫 ほか, 水中質量法によるフレッシュ콘크리트의單位水量試驗方法の研究, 日本建築學會學術講演梗概集, 1997. 9, pp. 619~620
9. 江守 秀次,フレッシュ콘크리트의單位水量迅速推定法에關する研究, 日本콘크리트工學年次論文集, Vol.19, No.1, 1997
10. 田村 博 ほか, RI水分計を用いたポンプ配管中の콘크리트의水量連續モニタリング, 日本콘크리트工學年次論文報告集, Vol.20, No.1, 1998, pp.125~130
11. 염소이온 확산계수 표준화 연구, 연세대학교, 산업자원부 기술표준원, 2006. 02

◎ 논문접수일 : 2007년 04월 11일

◎ 심사의뢰일 : 2007년 04월 19일

◎ 심사완료일 : 2007년 05월 28일