

## 오염지하수 유입방지를 위한 압축패커 그라우팅 장치 개발

조희남 · 최상일\*

광운대학교 환경공학과

### Development of the Compressed Packer Grouting Device for Preventing the Inflow of Polluted Groundwater

Heuy-nam Cho and Sang-il Choi\*

Department of Environmental Engineering, Kwangwoon University

압축패커장치는 지하수관정의 지표하부오염방지시설의 개선을 위하여 개발한 장치이다. 이 장치는 안전잠금장치의 해제와 케이싱의 압축조작이 단순하여 시공이 간편하고, 4.5 kg/cm<sup>2</sup>의 내압성을 갖고 있어 지하수 누출이 없도록 수밀성을 갖추고 있으며, 단일케이싱을 설치하며 그라우팅을 위한 확공은 300 mm로 굴착 가능하므로 시공비를 절약할 수 있다. 압축패커의 재질은 실리콘 고무를 사용하여 신장율이 590%이고 Pb, Cd, 페놀 등의 유해성분이 기준치 이하거나 불검출되어 우수한 환경성을 가지고 있다. 또한 시공비가 기존의 그라우팅 공법의 35~62% 이하, 환경신기술 제 47호인 팽창패커 공법의 87% 이하로 시공이 가능한 경제적인 방법이며, 지하수 수질보전에 관한 규칙, 제주도 지하수개발·이용 시설 설치 및 관리기준, 환경부와 농림수산식품부의 소규모수도시설 운영관리 방안 지침 등 관련 법령규정에 적합한 제품이다.

주요어 : 압축패커, 그라우팅, 안전잠금장치, 지표하부오염방지시설, 지하수 오염

The compressed packer device is designed to improve the underground contamination prevention facilities of ground water wells. As for the device, the installation is simple because of the safety lock device and the compression of the casing are simple the installation is simple. There is no leakage of ground water because the pressure resistance with 4.5 kg/cm<sup>2</sup> makes it equipped with the watertightness The single casing is installed and the reaming for grouting is possible with 300 mm excavation so that installation cost can be saved. Silicon rubber is used for the compressed packer so that the extension rate is 590%. In terms of environmental pollution, it is an environmental friendly product which does not contain harmful ingredients such as Pb, Cd, and phenol. below the standard or undetectable level Furthermore, the installation costs are 35 to 62% or lower than the conventional grouting construction method and are 87% or lower than the expansion packer construction method, the new environmental technology No.47 Also, the device is designed to meet the relevant regulations such as Rules on Preserving the Ground Water Quality, The Standard on Jeju Island Ground Water Development and Facility Installation and Management, and The Plan and Guideline on Operating and Managing the Small-Scale Tap Water Facilities of Ministry of Environment and Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries.

**Keyword:** compressed packer, grouting, safety lock device, underground contamination prevention facility, ground water contamination

#### 서 론

최근 들어 지표수는 물론 오염되기 쉬운 층적층지하수의 오염과 함께 토양의 오염도 급속히 증가하고 있으며,

이로 인하여 암반대수층 역시 많은 곳에서 오염에 직면하고 있다. 암반대수층의 오염요인 중 주요한 원인은 지하수개발 과정에서 오염된 층적층지하수가 여과과정 없이

\*Corresponding author: sichoi@kw.ac.kr

자연스럽게 암반대수층으로 유입, 층적층지하수를 차단하기 위하여 설치하는 케이싱의 부적정 설치 등에 기인하며, 그 다음으로 지하수 사용과정에서 케이싱의 노후화, 오염물질의 지하수 공내 무단 투기 등이 있다. 따라서 지하수개발 과정에서 암반대수층 지하수를 오염된 상층 지하수로부터 얼마나 잘 보호할 수 있는지가 매우 중요한 과제이다. 이를 위하여 지하수오염방지시설을 설치하는데 이에는 지표상부보호공과 지표하부보호벽 등 두 종류의 오염방지시설이 있다. 지표상부보호공은 밀폐형보호장치가 개발되어 환경부 인증을 받아 사용되고 있어 문제점이 없다. 그러나 지하수관정의 지표하부보호벽을 형성시키는 지하수오염방지시설이나 장치(이하 지표하부오염방지시설)에는 여러 가지 공법과 특허제품이 있으나 모두 사용상 문제점이 있다.

지하수관정의 지표하부오염방지시설에는 그라우팅 공법, 수팽창고무를 사용한 오염방지장치(성익환, 1999)와 팽창패커튜브를 이용한 지하수차폐장치 등이 있다. 그라우팅 공법은 지하수개발 과정에서 암반층 상부의 무너짐과 지하수 유입을 방지하기 위하여 설치하는 케이싱과 굴착된 지하수공벽 사이를 시멘트 등으로 그라우팅을 시공하는 방법이나, 그라우팅을 시공하는 과정에서 정밀한 시공이 되지 못하는 경우가 있다. 수팽창고무를 사용한 오염방지장치는 지정된 시간내에 적절한 팽창력을 확보하기 어려워 지하수 누출이 없는 정밀 시공에 어려움이 있으며, 팽창패커튜브를 이용한 지하수차폐장치는 시공이 어렵고 공벽이 매끄럽지 못할 경우 튜브의 파손이 잦은 문제점이 있어 적절한 시공이 되지 못하는 경우가 자주 발생되고 있다.

본 연구의 목적은 누구나 손쉽게 간편하게 시공할 수 있는 보편적인 지하수오염방지장치를 개발하여 위와 같은 문제점을 해결하고자 하였다. 즉, 신규 지하수개발 관정에도 적용되고, 오염된 기설관정에도 사용하여 수질개선과 관정복원에 사용할 수 있는 장치를 개발하여 실용화하는 것이다. 이를 위하여 기존에 사용하고 있는 지표하부오염방지시설이나 장치의 문제점을 파악하여 새로운 장치를 개발하였고, 개발장치의 시공방법과 안전성, 편의성, 경제성, 내구성, 환경의 적정성, 관련규정이나 법령에 대한 만족성 등을 분석하여 장치의 적합여부를 파악하고, 기존 장치나 공법과 비교하였다.

### 기존 지표하부오염방지시설의 종류와 문제점

그라우팅 공법은 지표하부오염방지시설 중 가장 많이 사용되고 있는 방법이며 비용이 저렴하고 시공이 간편한

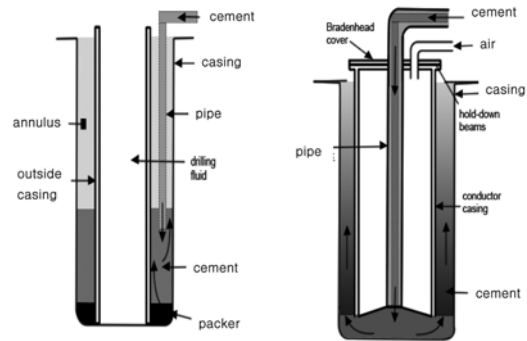


Fig. 1. Tremie Method(left) and Bradenhead Method(right).

방법이다. 일반적으로 트래미 방법과 브래드헤드 방법을 사용하는데(Fig. 1), 지하수공 굴착시 암반층 상부까지 굴착 후 케이싱을 설치하고 케이싱과 공벽사이에 그라우팅을 실시하여 상부지하수를 차단하는 방법이다. 그러나 지표하부오염방지시설 시공 후 암반층 굴착과정에서 지하수의 수량이 목표에 미달하거나 수질이 불량할 경우 공을 메워 원래의 상태로 복원(주, 원상복구라 함)하여야 하는데 이 경우 지표하부오염방지시설 설치비용이 모두 손실되어 비경제적인 면이 있다.

지표하부오염방지장치 중 패커장치는 여러 가지 형태로 개발되고 있는데 대표적인 장치 중 팽창패커튜브를 이용하여 케이싱과 관정공벽사이를 차폐하는 장치는 설치와 조작이 단순하고 간편하다는 장점이 있다. 이 장치는 “팽창패커를 이용하여 상층 지하수의 공내 유입을 억제하는 지하수 관정 그라우팅기술”로 환경신기술(제47호)을 받은 장치이다. 그러나 팽창패커튜브의 특성상 팽창을 시키기 위해서는 압축공기의 주입과 팽창력 확보가 필요하며, 지표로부터 통상 30m 이상의 심도까지 케이싱에 장착하여 설치하는 과정에서 Fig. 2와 같이 지하수공벽과의 마찰과 충격으로 파손되는 일이 종종 발생하였다. 더욱이 삽입설치가 완료된 이후에도 적정 팽창압력을 계산하여 팽창패커튜브가 파열되지 않게 하면서 그라우팅 주입재 누출 없이 시공하기 위해서는 높은 기술력을 갖고 있는 한정된 특수기술자들에 의해서만 시공이 가능한 한계가 있었다.

### 압축패커장치의 개발

#### 압축패커장치의 원리

압축패커장치의 개발 목적은 케이싱과 지하수공벽사이를 차단함으로써 신규개발관정에서는 지하수오염을 방



Fig. 2. Broken expansion packer tube.

지하고, 오염된 기설관정은 오염물질 유입을 차단하여 재사용할 수 있도록 하는 것이다. 이 장치는 그라우팅 공법이나 팽창패커튜브를 이용한 패커장치의 단점을 보완하여 오염물질의 유입을 완전히 차단할 수 있도록 실리콘 고무를 사용한 압축패커와 이를 수축확장하기 위한 수축관, 패커를 안전하게 작동할 수 있도록 안전잠금장치를 사용하였다. 또한 경제적이며 유지관리가 쉽고 내구성이 큰 재료를 사용하였으며, 간편하게 사용될 수 있도록 제작하였다(조희남, 2007).

압축패커장치는 굴착된 지하수관정 내부로 삽입하여 외부케이싱 최하단부와 암반 최상부(주, 케이싱과 공벽사이를 말함)에 걸쳐서 설치한 후 안전잠금장치에서 안전핀을 제거하여 내·외부수축관을 압박하면 패커가 압축되면서 횡 방향으로 확장되어 공벽사이를 차단하게 된다(Fig. 3).

안전잠금장치는 압축패커가 계획된 깊이에서만 작동될 수 있도록 와이어를 사용하여 지상에서 작동하며 안전핀은 스텐봉으로 제작하여 압축패커장치 측면에 부착하였다. 안전잠금장치는 외부수축관에 경사진 유도홈을 만들고, 내부

수축관에는 돌기부로 만들어 외부수축관 유도홈에 판형의 안전핀을 삽입하였다. 안전핀이 삽입된 상태에서는 내부수축관은 외부수축관 안쪽으로 슬라이딩할 수 없으나, 안전핀을 잡아당기면 내부수축관의 돌기부가 유도홈을 따라 올라가게 되면서 슬라이딩되고 압축패커는 수축하게 된다.

**장치 주요부의 특징**

압축패커는 수축과 확장성이 크고 지하수 수질 위해 성분이 검출 혹은 용출되지 않는 실리콘 고무를 사용하였다. 실리콘 고무는 시험결과 인장강도가 96.6 kgf/cm<sup>2</sup> 이고, 신장율이 590% 이며, 지하수의 수온에 대한 영향을 받지 않고, Pb, Cd, 페놀 등 유해성분의 검출과 용출이 없었다. 실리콘 고무를 230°C에서 70시간 동안 열화시키는 내열성시험 결과 약 -54%의 인장강도 변화와 -54%의 신장률 변화가 있었으나, 시멘트 경화시의 최대발열온도는 약 45°C 정도였으므로 시멘트의 경화발열에 따른 실리콘 고무의 손상은 없었다. 또한 실리콘 고무의 환경위해성을 평가한 결과 모든 항목에서 기준치 이하거나 불검출 되었다(Table 1). 또한, 실리콘 고무는 최종 가수분해를 통해 Si와 H<sub>2</sub>O로 분해되기 때문에 우수한 환경성을 가지고 있다.

Table 1. Test result of environmental sanitation in compressed packer rubber

Item	Unit	Standards	Test result	Suitability
Pb	mg/kg	100	0.0	Suitable
Cd	mg/kg	100	0.0	
2-Mercaptoimidazole	-	None	None	
Phenol	mg/l	Below 5.0	Below 5.0	
Formaldehyde	mg/l	Below 4.0	Below 4.0	
Heavy metal	mg/l	Below 1.0	Below 1.0	
Total Solids	mg/l	Below 60	41.5	
Zinc	mg/l	Below 15	0.0	

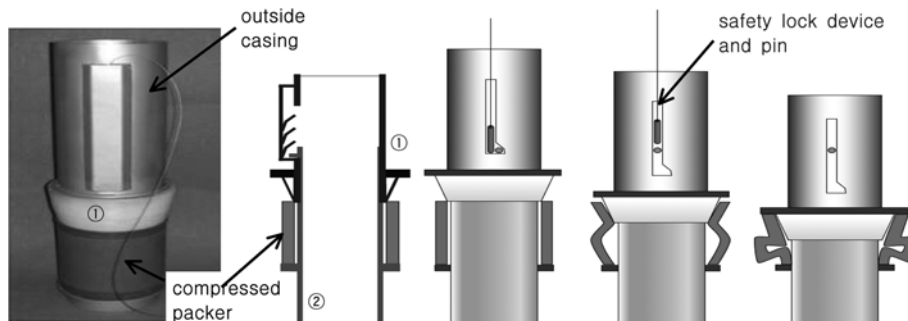


Fig. 3. Contraction and expansion of compressed packer using the safety lock device (① external contraction tube ② internal contraction tube).

또한 압축패커의 확장능은 250 mm용이 52 mm, 200 mm용이 56 mm로 각각 23%와 35%로 수축확장 후 관경 굴착직경의 불규칙한 공벽 면(약 10~30 mm)을 모두 차폐할 수 있다(Table 2).

**수압에 의한 압축패커장치의 설치 안전성 검토**

압축패커장치는 압축패커 설치와 속경성 시멘트 양생 후에 보통 시멘트를 채움으로써 속경성 시멘트가 상부의 보통 시멘트 무게를 견딜 수 있게 하였으며, 패커 팽창 후 패커가 속경성 시멘트, 보통 시멘트와 물의 무게를 견딜 수 있도록 설계되어 있다.

Fig. 4는 패커 상부에 속경성과 보통 시멘트를 채운 후 패커 상하부관과 압벽과의 사이를 모두 물로 채웠을 경우, 패커에 대한 힘의 평형도를 나타낸다. 여기서  $F_w$ 는 패커 상층부에 있는 물의 자중(weight),  $F_c$ 는 시멘트의 자중,  $F_p$ 는 패커의 자중,  $F_b$ 는 물속에 잠겨 있을때 패커에 작용하는 부력(buoyant force),  $h$ 는 지하수의 심도,  $h_1$ 은 패커의 너비,  $h_2$ 는 속경성 시멘트의 두께이다.

패커가 외부로부터 받는 힘은 (1)과 같다. 힘의 평형 관계에 있어 패커 아래 부분이 물로 채워져 있으면 패커는 부력을 받는다. 부력은 연직상방향으로 작용하기 때문에 패커에 대한 보다 극한상태는 부력이 존재하지 않는 경우이다. 따라서 패커 아래 부분에 지하수가 존재하더라도 지하수가 패커 하단부까지 채워져 있지 않고 패커와 지

하수면 사이에 작은 공간이 형성될 경우 부력은 존재하지 않는다. 즉, 패커에 부력이 작용하지 않는 것이 힘의 평형관계에서 보다 극한적인 상태가 되므로, 부력  $F_b=0$ 인 상태에서 힘의 평형상태를 고려하면 패커가 받는 외력  $F$ 는 (6)과 같이 표시된다.

$$F = F_w + F_c + F_p + F_B \tag{1}$$

$$F_w = \gamma_w \cdot V_3, V_3 = \pi \{ (D+t)^2 - D^2 \} h, \gamma_w = \rho_w \cdot g \tag{2}$$

$$F_c = \gamma_c \cdot V_2, V_2 = \pi \{ (D+t)^2 - D^2 \} h_2, \gamma_c = \rho_c \cdot g \tag{3}$$

$$F_p = \gamma_p \cdot V_1, V_1 = \pi \{ (D+t)^2 - D^2 \} h_1, \gamma_p = \rho_p \cdot g \tag{4}$$

$$F_b = \gamma_w \cdot V_1 \tag{5}$$

$$F = F_w + F_c + F_p \tag{6}$$

일반적으로 지하수 관정을 설치할 때 굴착공의 직경은 350 mm이고 관의 외경(D)은 250 mm이므로 관과 굴착공 사이의 간격(t)는 50 mm이다. 또한 패커 상단부에 주입 되는 속경성 시멘트의 길이( $h_2$ )는 1 m 정도이므로, 패커가 물을 차단하는 기능을 유지할 수 있는 패커의 최대 설치깊이(d)를 산정할 수 있다.

여기서 시멘트의 비중을 안전측으로 2.0, 패커의 비중을 0.8로 설정하면, 물의 자중( $F_w$ ), 시멘트의 자중( $F_c$ )과 패커의 자중( $F_p$ )은 각각 (7-9)와 같이 구해진다.

$$F_w = \gamma_w \cdot \frac{\pi}{4} \{ (D+t)^2 - D^2 \} h$$

$$= 0.98 \times \frac{3.14}{4} (0.35^2 - 0.25^2) \times h = 0.462h \text{ (kN)} \tag{7}$$

$$F_c = \gamma_c \cdot \frac{\pi}{4} \{ (D+t)^2 - D^2 \} h_2$$

$$= 2.0 \times 0.98 \times \frac{3.14}{4} (0.35^2 - 0.25^2) \times 1 = 0.923 \text{ (kN)} \tag{8}$$

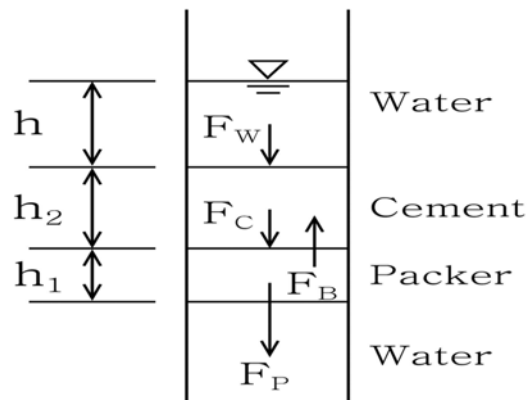
$$F_p = \gamma_p \cdot \frac{\pi}{4} \{ (D+t)^2 - D^2 \} h_1$$

$$= 0.8 \times 9.8 \times \frac{3.14}{4} (0.35^2 - 0.25^2) \times 0.25 = 0.092 \text{ (kN)} \tag{9}$$

한편, 압축패커에 대하여 한국화학시험연구원에 의뢰 하여 수압시험을 시행한 결과 3분간 0.25 MPa의 수압 (stress)을 받는 상태에서도 패커에서 누수가 전혀 발생 하지 않았다. 따라서 패커에 작용하는 외력  $F$ 가 0.25 MPa를 넘지 않는다면, 패커의 안전성은 확보된다고 할 수 있다. 여기서 0.25 MPa = 250 KPa = 250 kN/m<sup>2</sup> 이므로 관의

**Table 2.** Size difference of before and after in compressed packer

Size	Before	After	Size difference
250 mm	223 mm	275 mm	+52 mm
200 mm	160 mm	216 mm	+56 mm



**Fig. 4.** Power equation of compressed packer

외경과 압벽사이에 작용하는 전수압은 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{전수압}(P) &= \text{수압(stress)} \times \text{수압이 작용하는 면적}(A)(10) \\ &= 250\text{kN/m}^2 \times \frac{\pi}{4} \{(D+t)^2 - D^2\} \text{m}^2 \\ &= 250 \times \frac{\pi}{4} (0.35^2 - 0.25^2) = 11.775\text{kN} \end{aligned}$$

따라서 패커에 작용하는 외력 F는 (11)과 같으며, 수심 h는 (12)와 같다.

$$\begin{aligned} F &= F_w + F_c + F_p = 0.462 h(\text{kN}) + 0.923(\text{kN}) + 0.092(\text{kN}) \\ F &= 11.775(\text{kN}) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\therefore h = 23.3 \text{ m} \quad (12)$$

즉, 패커를 설치한 후 시멘트를 1 m 깊이로 주입하여 시멘트가 양생되기 전까지 관정과 압벽사이에 물이 23.3 m 이내로 채워졌을 경우에는 수압에 의하여 패커의 안정성을 확보할 수 있으므로 패커 설치깊이(d)는 최대 23.3 m가 된다.

**장치 시공 후 수질의 적합성**

질산성질소 농도가 음용수기준을 초과하는 지하수관정에 대하여 압축패커장치를 설치하고 난 후의 지하수 수질 상태 변화정도를 확인하기 위하여 관정 내부에 패커장치를 설치하였으며, 패커장치 상부와 하부로 구분하여 질산성질소 농도를 측정하였다. 시료채취 방법은 패커장치 상부는 채수기를 사용하여 시료를 채취하였고, 패커장치 하부는 수증펌프를 설치하여 48~72시간 정도를 양수한 후 채취하였다. 시료분석결과 패커장치 상부는 질산성질소의 농도가 10.3~14.6 ppm으로 모두 먹는물 기준을 초과하였으나 패커장치 하부의 지하수는 1.6~8.8 ppm으로 기준치 이하로 측정되었다. 특히 예천군 저우리의 경우 패커 상부 농도는 11.0 ppm 이었으나 패커 설치 후 패커 하부 농도는 1.6 ppm으로 85.5%나 저감되었다(Table 3).

**관련 법령규정에 대한 적합성**

**Table 3.** Comparison of nitrogen nitrate concentration for underground water of packer upper and lower part

Location	Well depth (m)	Pre-Packer depth(m)	Nitrogen density (ppm)	
			Upper part	Lower part
Yecheon gun sinwolli	100	27	10.3	5.0
Yecheon gun eosinli	102	26	11.3	8.8
Yecheon gun jeouli	124	28	11.0	1.6
Andong city hwoigokli	132	31	14.6	8.0

압축패커장치는 지하수의 수질보전등에 관한 규칙 제2조의 “지하수오염방지시설의 설치기준”에 해당하는 압반(연암층)선 아래로 1 m 이상 깊게 설치하더라도 손상되거나 기능상실이 되지 않으며, 케이싱 외부의 그라우팅 두께가 5 cm 이상이 될 수 있도록 충분히 압축팽창시켜 차폐 시킬 수 있으므로 오염된 상부 지하수가 관정내부로 유입되지 않아 지하수 오염을 방지할 수 있다.

제주특별자치도의 “제주도 지하수개발·이용시설 설치 및 관리기준”(제주도 고시 제2004-32호, 2004.09.06)에서 규정한 주변공간그라우팅에 적합한 기술로써 시공하한 깊이는 70 m에 달한다. 대수층이 지표층 이하 50 m 깊이에 있을 경우 이를 차폐하기 위해서는 2 kg/cm<sup>2</sup> 이상의 차폐성이 확보되어야 하는데 압축패커장치의 경우 4.5 kg/cm<sup>2</sup> 이상이 되므로 이를 충족하고 있다. 이 외에도 “소규모 수도시설 운영관리 방안” 지침(환경부와 농림수산식품부, 2008)에서 규정하고 있는 상층 오염물질 유입을 차단할 수 있도록 개발한 신기술인증 장치로서 현행 지하수관정의 지표하부오염방지시설 기준에 모두 적합한 것으로 판명되었다.

**압축패커장치의 특징**

압축패커장치는 수밀성과 내구성을 증대하였고, 현장에서의 사용 편의성과 안전성을 높였으며, 타 장치나 시설에 비해 비용이 저렴하도록 개발되었다. 또한 현행 지하수 수질보전 관련 규칙과 지침에 적합하도록 하였다.

**수밀성과 내구성**

압축패커장치를 설치하여 케이싱과 공벽 사이를 차폐하게 되면 차수재인 시멘트액의 하중과 케이싱과 공벽 사이의 수위차에 의한 수압을 완벽히 차단하여 누출 현상 없이 그라우팅을 시공하여야 하므로, 압축패커장치에 작용하는 수압 이상의 수밀성이 확보되어야 한다.

압축패커장치의 수밀성을 측정하기 위해서 자체시험 7회와 한국화학시험연구원 시험 3회 등 총 10회의 수압시험을 실시하였다. 시험은 패커장치의 그라우팅액 누출 방지 기능 확인을 위한 내수밀성시험용 수압시험과 패커 손상 후의 내수밀성시험용 수압시험을 실시하였는데, 환경신기술 제47호의 팽창패커튜브장치(0.7 kg/cm<sup>2</sup>)보다 6.4배나 큰 4.5 kg/cm<sup>2</sup>의 내압성을 갖고 있는 것으로 나타났다.

압축패커장치의 본체 재질은 내부식성을 갖는 스테인레스강 304 재질을 사용하여 내구성을 높였으며, 운반과 설치과정에서 표면의 긁힘과 파열 등 약간의 손상이 발생하더라도 기본적인 기능확보에는 전혀 영향이 없다.

압축패커의 실리콘 고무튜브의 형태는 도너츠 형태, 또는 원통형태 등 현장 여건에 따라 다양한 크기와 형태로 적용할 수 있어 작업편의성 제고가 가능하다. 또한, 압축패커는 운반과 설치과정에서 굽힘과 외부 파손 등 약간의 손상이 발생했다 할지라도 기본적인 기능 확보에는 전혀 영향을 받지 않는다.

**시공의 편의성과 안전성**

2008년 4월~2009년 8월까지 예천군 신월리 등 4개소에 압축패커장치를 지하수공내에 설치한 결과 팽창패커튜브장치를 설치할 때보다 작업공정이 간단하고 단순하였으며, 팽창패커튜브처럼 팽창압력 조정 등 복잡한 기능이 없어 삽입과정에 특별한 기술력이 필요 없었으므로, 시공공정을 이해하는 정도의 인지와 이해력을 갖는 기능인일 경우 시공이 가능하였다. 즉, 압축패커장치는 안전잠금장치의 해제와 케이싱의 압축조작이 단순하여 타 장치보다 시공편의성이 매우 높았다.

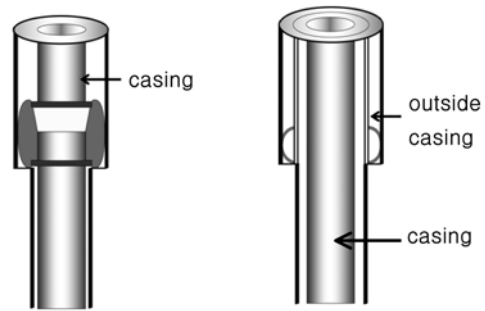
특히 이 장치는 안전핀을 제거하여야만 압축과정이 실행되기 때문에 나공상태의 지하수공에 삽입하더라도 손상과 장애 없이 삽입 설치가 용이하며, 설치과정에서 압축패커가 어느 정도 손상되더라도 차폐기능이 상실되지 않으므로 시공 안전성이 높다. 또한 설치와 조작이 간단하여 압축패커장치 설치 깊이를 확공구간 뿐만 아니라 내부 우물자재 설치구간에서도 임의로 조정할 수 있으며 정확한 깊이에 압축패커를 설치할 수 있다.

**경제성**

팽창패커튜브를 사용하는 환경신기술 제47호 장치는, 팽창패커튜브를 삽입설치하거나 팽창을 위해 압축가스를 주입하는 과정에서 튜브 파손이 발생할 때 재작업의 편의성을 위해, 우물자재설치와는 별도로 이중케이싱을 설치하게 된다(Fig. 5, B). 또한 환경신기술 제47호 장치는 그라우팅을 시공하기 위해 케이싱을 삽입하고 그라우팅을 시행하는 구간에 대해 우물자재를 Ø200mm를 설치하는 경우 임반선 1m까지 Ø350mm로 굴착해야 한다(Fig. 6, B).

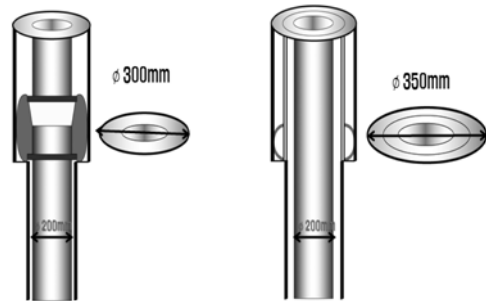
그러나 압축패커장치는 패커의 손상여부에 관계없이 차폐가 가능하며, 우물자재에 직접 패커를 설치하여 삽입함으로써 단일케이싱으로 시공이 가능하므로 시공이 간편하다(Fig. 5, A). 또한 압축패커장치를 설치할 경우 Ø300mm로 굴착 가능하므로 시공비도 절약할 수 있다(Fig. 6, A).

이와 같이 압축패커장치는 시공의 편의성, 단일케이싱을



(A)Compressed packer (B)Expansion packer(No.47)

**Fig. 5.** Comparison of outside casing for grouting between compressed packer and expansion packer.



(A)Compressed packer (B)Expansion packer(No.47)

**Fig. 6.** Comparison of the grouting hole diameter between compressed packer and expansion packer.

**Table 4.** Comparison of construction cost

Classification	Construction cost (1,000 won)
Tremie Method	24,486
Bradenhead Method	34,486
Expansion packer(No.47)	19,059
Compressed packer device	15,855

사용함에 따른 자재비의 절감, 그라우팅 구간 확공경 축소로 시공비의 절감 등에 의해, 그라우팅 공법의 35~62% 이하, 환경신기술 제47호 장치인 팽창패커튜브 공법의 87% 이하로 시공이 가능하다(Table. 4). 또한 시공의 간편성으로 단위 시간당 다량 시공에 의한 시공단가의 절감과 기술자 임금 절감 등의 비용까지도 포함할 경우 경제성은 매우 높다 하겠다.

**결 론**

본 연구에서 개발한 압축패커장치는 오염지하수의 암반대수층 유입을 방지하거나 오염된 기설관정을 안전하게

복구하여 사용할 수 있도록 개발한 장치로서 경제성과 시공성, 사용 편의성이 우수한 장치이다. 본 연구에서 개발된 장치의 특징을 요약하면 다음과 같다.

1. 압축패커장치를 설치한 후 시멘트를 1m 깊이로 주입하여 시멘트가 양생되기 전까지 관정과 암벽사이에 물이 23.3m 이내로 채워졌을 경우에는 수압에 의하여 패커의 안정성을 확보할 수 있다.
2. 본 장치는 환경신기술 제47호의 팽창패커튜브장치보다 6.4배나 큰 4.5 kg/cm<sup>2</sup>의 내압성을 갖고 있어 지하수 누출이 없도록 수밀성을 갖추고 있다.
3. 본 장치는 안전잠금장치의 해제와 케이싱의 압축조작이 단순하여 시공이 간편하다.
4. 본 장치는 단일케이싱을 설치하며 그라우팅을 위한 확공은 300 mm로 굴착 가능하므로 시공비를 절감할 수 있다.
5. 압축패커의 재질은 실리콘 고무를 사용하여 신장율이 590%나 되며, 지하수의 수온에 대한 영향을 받지 않고, Pb, Cd, 페놀 등의 유해성분이 기준치 이하거나 불검출되어 우수한 환경성을 가지고 있다.
6. 본 장치는 시공비가 그라우팅 공법의 35-62% 이하, 환경신기술 제 47호인 팽창패커튜브 공법의 87% 이하로 시공이 가능한 경제적인 방법이다.
7. 본 장치는 관련 법령규정에 적합한 제품이다.

## 사 사

본 논문은 환경부의 “토양·지하수 오염방지기술개발사업-NTBT 융합공정을 이용한 오염 토양·지하수 복원기술 개발”의 연구비 지원을 받아 수행된 연구입니다.

## 참고문헌

- 성익환, 1999, 특집 지반 환경 : 대도시 지역 지하수 오염 방지 및 치유 개선 대책, 8(16).  
 조희남, 2007, 특허 제10-0845973호(지하수심정의 상층 오염지하수 유입방지를 위한 지표하부보호벽 그라우팅 팩카장치 및 그라우팅 방법) 특허등록명세서.  
 제주특별자치도, 2004, 제주도 지하수개발·이용시설 설치 및 관리기준, 제3조, 별표1, 별표3.  
 지하수의 수질보전등에 관한 규칙, 제2조 별표1.  
 환경부, 농림수산식품부, 2008, 소규모수도시설 운영관리 방안, 8-12.

---

2009년 10월 8일 원고접수, 2009년 10월 30일 게재승인

### 조희남

광운대학교 환경공학과  
 139-701, 서울시 노원구 월계동 447-1 비마관 321  
 Tel: 02-940-5183  
 e-mail: ggpgu@hanmail.net

### 최상일

광운대학교 환경공학과  
 139-701, 서울시 노원구 월계동 447-1 비마관 321  
 Tel: 02-940-5183  
 e-mail: sichoi@kw.ac.kr